Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

# PROJECTE FI DE CARRERA

**TÍTOL:** CALIBRATGES EN METROLOGIA

**AUTOR:** JORDI SURROCA I TORRENTS

**TITULACIÓ:** ENGINYERIA TÈCNICA DE TELECOMUNICACIONS

**DIRECTOR:** JORGE GARCÍA MATEOS

**DEPARTAMENT:** TEORIA DEL SENYAL I COMUNICACIONS

**DATA:** JUNY DEL 2007

**TÍTOL:** CALIBRATGES EN METROLOGIA

**COGNOMS:** SURROCA I TORRENTS **NOM:** JORDI

**TITULACIÓ:** ENG. TÈCNICA DE TELECOMUNICACIONS

**ESPECIALITAT:** SISTEMES ELECTRÒNICS **PLA:** 95

**DIRECTOR:** JORGE GARCÍA MATEOS

**DEPARTAMENT:** TEORIA DEL SENYAL I COMUNICACIÓ

**QUALIFICACIÓ DEL PFC**

**TRIBUNAL**

**PRESIDENT** **SECRETARI** **VOCAL**

**DATA DE LECTURA:**

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

**PROJECTE FI DE CARRERA**

**RESUM (màxim 50 línies)**

El plantejament bàsic del projecte és el de crear una eina útil i versàtil per tal d'agilitzar els treballs de calibratge. Un calibratge no deixa de ser una tasca manual que realitza un operari, per tant, es pretén crear una ajuda informàtica que s'encarregui del processament de les dades i dels càlculs que fins llavors s'havien hagut de realitzar a mà, per l'operari. Finalment, es busca i s'aconsegueix incorporar-lo en el funcionament normal d'una empresa en harmonia amb la resta de programes i eines de càlcul ja existents en el seu dia a dia, tot això, evidentment, utilitzant les eines que la pròpia empresa proporciona.

A banda, també es planteja la possibilitat de millorar aquesta eina informàtica mitjançant Visual Basic i finalment es duu a terme.

**Paraules clau (màxim 10):**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Metrologia | calibratge | patró | mesura |
| incertesa | precisió | grau | qualitat |
| traçabilitat | | | |

c

# Índex


1 Introducció: Objectius i justificació ..... 8

2 Les mesures i les unitats ..... 10
2.1 La metrologia ..... 12
2.2 Els calibratges ..... 15
2.2.1 Els patrons ..... 16
2.2.2 Incerteses ..... 18
2.2.3 El Laboratori ..... 20

3 Pautes de procediment ..... 21

4 El Peu de rei ..... 22
4.1 Descripció i funcionament ..... 22
4.2 Fulls de càlcul ..... 27
4.2.1 Presa de decisions ..... 29
4.2.2 Mesures d'exteriors ..... 33
4.2.3 Mesures interiors ..... 39
4.2.4 Mesures de profunditat ..... 42
4.2.5 Resultats finals ..... 43
4.2.6 Dades estables ..... 44

5 El Micròmetre ..... 46
5.1 Descripció i funcionament ..... 46
5.2 Fulls de càlcul ..... 49
5.2.1 Presa de decisions ..... 50
5.2.2 Mesures d'exteriors ..... 51
5.2.3 Resultats finals ..... 45
5.2.4 Dades estables ..... 54

6 El Comparador ..... 56

6.1 Descripció i funcionament ..... 56
6.2 Fulls de càlcul ..... 58
6.2.1 Presa de decisions ..... 58
6.2.2 Mesures parcials d'exactitud i repetibilitat ..... 59
6.2.3 Resultats finals ..... 62
6.2.4 Dades estables ..... 63

7 Problemàtica ..... 64

8 Millora: Aplicació en Vbasic ..... 65
8.1 Plantejament inicial ..... 65
8.2 Punts a millorar respecte la versió anterior ..... 66
8.3 Estructura ..... 67
8.4 Formularis ..... 68
8.4.1 Entrada de paràmetres – friInicial ..... 69
8.4.2 Presa de decisions – friDades ..... 70
8.4.3 Presa de mesures – friMesures ..... 75
8.4.4 Resultats Parcials – friRParcials ..... 78
8.4.5 Resultats Finals – friRFinals ..... 87

9 Conclusions i perspectives ..... 91

10 Línies de millora: Programari Lliure ..... 92
10.1 GNU/Linux ..... 94
10.2 OpenOffice.org i OpenDocument ..... 96
10.3 Gambas ..... 97

Bibliografia ..... 98

# 1 Introducció: Objectius i justificació

El plantejament bàsic del projecte és el de crear una eina útil i versàtil per tal d'agilitzar els treballs de calibratge. Un calibratge no deixa de ser una tasca manual que realitza un operari, per tant, es pretén crear una ajuda informàtica que s'encarregui del processament de les dades i dels càlculs que fins llavors s'havien hagut de realitzar a mà, per l'operari. Finalment, es busca i s'aconsegueix incorporar-lo en el funcionament normal d'una empresa en harmonia amb la resta de programes i eines de càlcul ja existents en el seu dia a dia, tot això, evidentment, utilitzant les eines que la pròpia empresa proporciona.

L'objectiu a assolir, en un principi, serà d'aprenentatge a l'empresa. D'una banda, sobre les eines i els programes que s'hi utilitzen i de l'altra, sobretot, de la tasca concreta que s'hi desenvolupa. Això serà un pas previ fonamental per tal de marcar, amb claredat, les necessitats que aquests programes hauran de satisfer. A partir d'aquest punt, ja serem capaços de fixar-nos unes pautes per a desenvolupar i executar el projecte.

Així doncs, un cop analitzades les necessitats existents, s'ha de concretar en quins casos pràctics haurà de ser aplicat el nostre programa. Fonamentalment, el seu àmbit d'ús es centrarà en els calibratges de diversos dispositius de mesures dimensionals. Tal i com s'explica més extensament en apartats successius, un procés de calibratge és una tasca en la que hi intervé un operari i que acostuma a ser un procediment manual en el que cal recollir tot un segut de dades i a continuació, extreure'n certs resultats, mitjançant un seguit d'operacions de càlcul matemàtic. A part d'això, també hi ha passos previs en els que es prenen decisions sobre els elements que intervindran el el calibratge. Així doncs, per començar, establirem com a una funció del programa, la de facilitar aquest procés, ajudant a la selecció dels paràmetres inicials, facilitant la presa de dades i finalment, realitzant els càlculs pertinents. Així mateix, també es pretén tenir una eina que automatitzi la transformació de dades d'entrada en resultats i gestioni el posterior protocol de presentació.

Abans de procedir, però, caldrà plantejar-se un aspecte prou important que és el que fa referència a les eines que s'utilitzaran. Fonamentalment, haurem de tenir en compte que sigui accessible per a qualsevol operari o tècnic que pugui ésser delegat a ampliar o millorar l'eina de càlcul, per tant, fent ús dels programes i les eines que habitualment utilitza l'empresa. En aquest cas, s'ha procedit a realitzar un sistema de taules de càlcul amb Excel. El motiu principal per a prendre aquesta decisió ha estat de l'empresa, que ja treballava amb aquesta eina i per tant, va creure convenient utilitzar-la.

Per al projecte, si bé hi ha una part important realitzada amb Excel, també s'ha dut a terme una millora del programa mitjançant Visual Basic, les raons per les que s'ha fet així s'exposen més endavant.

Una vegada hem establert amb quines eines durem a terme la nostra tasca i, una mica per sobre,  quins objectius cal assolir, hem de plantejar-nos, més concretament, la gamma de calibratges amb la que treballarem.

Fonamentalment ens centrarem en tres processos, d'una banda, el del peu de rei, en segon lloc, el del micròmetre d'exteriors i finalment, el comparador.

A partir d'aquí, el següent pas ja serà d'aprenentatge de cadascun dels processos de calibratge, aquest és un pas fonamental per tal de poder trobar i jutjar els punts forts i els punts dèbils que haurà de tenir el futur programa. Al mateix temps, també hi pot haver una recerca d'informació referent a totes les possibilitats que ens ofereixen les eines que hem escollit, per a dur a bon port el nostre programa.

## 2 Les mesures i les unitats

Entenem per mesura, com el que realitzem quan fem una comparació entre allò que no sabem i una referència que sí que és coneguda, doncs bé, aquesta comparació tant simple és en la que es fonamenta la Metrologia. En tant que ciència de les mesures, té un camp d'aplicació molt ampli, ens en podem fer una idea remuntant-nos als seus inicis on l'home primitiu es deixava guiar per mesures subjectives de l'estil ràpid/lent, feixuc/lleuger o fred/calent. Aquestes apreciacions personals que tenien una utilitat individual, al llarg del temps es varen poder contrastar i evolucionar fins a definir-ne unes referències, això va acabar portant a la generalització del concepte i a la definició dels tipus de mesures i de les seves unitats.
Aquest camí fins a arribar a una definició concisa de les unitats oficials que representaven a cada tipus de mesura no va ser fàcil, antigament a cada regió o país se n'utilitzaven unes de diferents i fins i tot, unitats que rebien el mateix nom no coincidien d'una regió a una altra.

En mesures de pes, per exemple podem parlar de les lliures. Aquesta mesura de pes utilitzada a casa nostra es dividia en 12 unces, equivalents a 33.33 grams cadascuna, és a dir, que una lliura equivalia a 400 grams. Aquesta variació de la unitat de mesura en funció de la localització geogràfica feia, però, que 400 grams fos el valor que s'adoptava al principat, però que a les illes, fos de 407 grams i al País Valencià, de 355 grams.
Un altre exemple relacionat amb mesures derivades del volum és la de la "*carga".* Aquesta unitat, emprada encara en entorns vitivinícoles, equivalia a una quantitat determinada de litres i variava entre poblacions que distaven pocs quilòmetres, la referència es serien uns 128 litres. A banda de cargues també s'empraven, pipes, porrons, equivalents a la 128ª part d'una carga o els quartans, equivalents a 8 porrons.

Queda clara la gran riquesa d'unitats que existien i que encara avui se segueixen utilitzant per a cada tipus de mesura, com també queda clara, la gran importància que ha suposat, per a l'ésser humà, la quantificació de les mesures que prenia.

Aquesta llarga evolució ha fet que mica en mica anéssim convergint en unes unitats estàndards. Així com en temps passats, pesàvem aliments, sacs, bestiar o mesuràvem parets i taulons de fusta, en l'actualitat a més a més cal mesurar peces destinades a l'aeronàutica o pesar components químics.

Mantenint les unitats de sempre ha calgut decidir quines es generalitzaven a nivell internacional i definir-ne el seu valor per tal de crear un Sistema Internacional de Mesures,

aquest s'anomena generalment per la seva forma abreujada, S.I.

Les unitats S.I les estableix el *Bureau International des Poids et Mesures* ("Oficina Internacional de Pesos i Mesures"). Aquest sistema compta amb 7 unitats fonamentals i tot un seguit d'unitats derivades.

Tot seguit s'exposen les mesures bàsiques i les seves unitats

| **Magnitud** | **Símbol** | **Unitat** |
|---|---|---|
| Longitud | m | metre |
| Massa | kg | quilo |
| Temps | s | segon |
| Corrent elèctrica | A | amper |
| Temperatura termodinàmica | K | kelvin |
| Quantitat de substància | mol | mol |
| Intensitat lluminosa | cd | candela |

## 2.1 La Metrologia

La metrologia, com el seu nom indica, es basa en l'estudi de les mesures. Actualment, partint d'un sistema de mesures establert i extès a nivell internacional, la metrologia es dedica a l'estudi dels processos de mesura i a definir els procediments que cal seguir en aquests processos.

La metrologia moderna es pot caracteritzar en tres vessants, la de la metrologia científica, la metrologia industrial i la metrologia legal. La que a nosaltres ens ocupa, la darrera, és definida per la *Organització Internacional de la Metrologia Legal (OIML)* com *"la totalitat dels processos legislatius, administratius i tècnics establerts per autoritats públiques i posades en vigor, pel seu compte, amb la finalitat d'especificar i assegurar la qualitat i credibilitat apropiades de les mesures, relacionades amb els controls oficials, el comerç, la salut i la seguretat".*

D'aquesta manera la metrologia passa a ésser una eina fonamental en molts àmbits en un món cada dia més mecanitzat i que requereix més precisió en els processos de fabricació i posterior verificació.

Per tal d'aconseguir una compatibilitat internacional el que es fa és adoptar les unitats definides pel sistema internacional (SI) basat en el sistema mètric decimal. D'aquesta manera s'aconsegueix una uniformitat que facilita l'entesa i intercanvi entre països.

Alguns conceptes clau, tot i que no per això senzills són,

**Magnitud:** Atribut d'un fenomen un cos o una substància, que és susceptible de distingir-se qualitativament i de determinar-se quantitativament.

**Magnitud de base:** Una de les magnituds que, en un sistema de magnituds, s'admeten per conveni com a funcionalment independents de les altres.

**Dimensió d'una magnitud:** Expressió que representa una magnitud d'un sistema de magnituds com al producte de potències de factors que representen les magnituds de base d'aquest sistema.

**Magnitud de dimensió zero o a dimensional**: Es dona quan l'expressió dimensional d'una magnitud en funció de les dimensions de les magnituds de base presenta exponents

que es redueixen tots a zero.

**Unitat:** Una magnitud particular, definida i adoptada per conveni, amb la qual es comparen magnituds de la mateixa naturalesa per tal d'expressar-les quantitativament en relació a aquesta primera.

**Unitat de base:** Unitat de mesura d'una magnitud de base en un sistema donat de magnituds.

**Valor:** Expressió quantitativa d'una magnitud en particular, generalment sota la forma d'una unitat de mesura multiplicada per un número.

**Mesura:** Conjunt d'operacions que tenen com a finalitat determinar el valor d'una magnitud.

**Mesurant:** Magnitud sotmesa a mesura.

**Repetibilitat:** Grau de concordança entre resultats de mesures successives d'un mateix mesurant, dutes a terme sota les mateixes condicions de mesura.

**Reproductibilitat:** Grau de concordança entre els resultats de les mesures d'un mateix mesurant, dutes a terme variant les condicions de mesura.

**Incertesa:** Paràmetre associat al resultat de la mesura que caracteritza la dispersió dels valors que, amb fonament, poden ser atribuïts al mesurant.

**Patró:** Material de referència o aparell de mesura, destinat a definir, realitzar, conservar o reproduir una unitat o un o varis valors d'una magnitud per servir de referència.

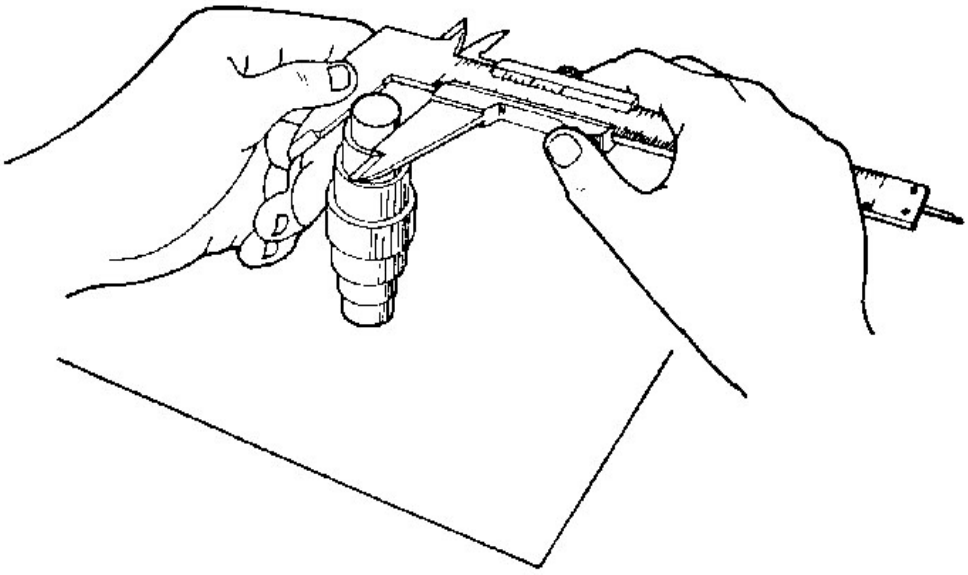
**Patró primari:** Patró que es designa o es recomana per presentar les més altes qualitats metrològiques i el valor del qual s'estableix sense fer referència a altres patrons de la mateixa magnitud.

**Patró secundari:** Patró amb un valor establert per comparació amb un de primari de la mateixa magnitud.

**Patró de referència:** Generalment és un patró de la més alta qualitat metrològica del que es deriven les mesures preses en un lloc o organització.

La metrologia, dona cobertura a un gran ventall de mesures com ara de longitud, massa, corrents, o de temperatura. En aquest projecte, però, la tasca es centrarà en les mesures de longitud, ja que aquest és l'àmbit de treball del departament on es durà a terme la tasca principal. Si bé, també s'adquiriran coneixements bàsics sobre altres àmbits de la metrologia aplicada, la base es recolzarà en el pilar fonamental de les mesures de longitud.

Partint de la premisa bàsica que la unitat de mesura emprada en les mesures de longitud és el metre, ens és fàcil enumerar una colla de situacions pràctiques en les que ens serà aplicable la metrologia.



Abans de tot, però, caldrà entendre que el que pretenem en la metrologia legal no és altra cosa que mesurar un producte o aparell d'un client amb la finalitat de garantir que aquest no depassi uns valors màxims d'incertesa, o el que és el mateix, no superi el que podríem anomenar interval de confiança que se li dona a les mesures que farem amb aquell aparell.

D'aquesta manera es determina la validesa del producte o aparell en qüestió tenint en compte l'aplicació que se l'hi ha de donar, per entendre'ns, no és el mateix que la seva finalitat sigui per a un ús a nivell domèstic que en l'automoció o l'aeronàutica.

La metrologia doncs, es aplicable en camps com la geodèsia, la construcció i manteniment de camins i carreteres o la industria manufacturera de tot tipus, en particular els electrodomèstics, l'automoció, la instrumentació científica i mèdica i en general tots els procediments que requereixin una unió entre peces precís o mesures exactes del producte final que arriba al consumidor.

## 2.2 Els Calibratges

Un calibratge no és més que un seguit de mesures, és a dir, el fet d'establir una correspondència entre unes magnituds escollides com a patrons i unes altres magnituds a avaluar. Tot això tenint en compte que, en tot cas, s'ha de poder establir una traçabilitat des de les nostres mesures fins a les més fiables, és a dir, cap a les unitats del sistema internacional (SI) corresponents. Per entendre-ho fàcilment, els patrons que serviran de referència per fer la mesura (un bloc metàl·lic, per exemple) s'agrupen per la seva qualitat, és a dir, que per cada calibratge necessitarem un grau de qualitat diferent. A més qualitat dels patrons, els calibratges seran més precisos.

La finalitat de tot això en metrologia legal és la de confeccionar un certificat que verifiqui que l'aparell sota mesura queda dins els marges de tolerància determinats.

*De patrons n'hi ha de molts tipus, com ara els blocs metàl·lics.*

### 2.2.1 Els patrons

Un principi bàsic de tot calibratge, la traçabilitat, es fonamenta en la possibilitat d'establir una cadena des de les nostres mesures, passant per patrons o referències de major nivell fins a arribar al sistema internacional (SI), és a dir, que en tot calibratge d'un instrument o patró en caldrà un altre de major precisió. D'aquí en resulta una composició piramidal en la que trobem una cúspide amb les unitats del sistema internacional (S.I) per tant, la traçabilitat serà en sentit ascendent.

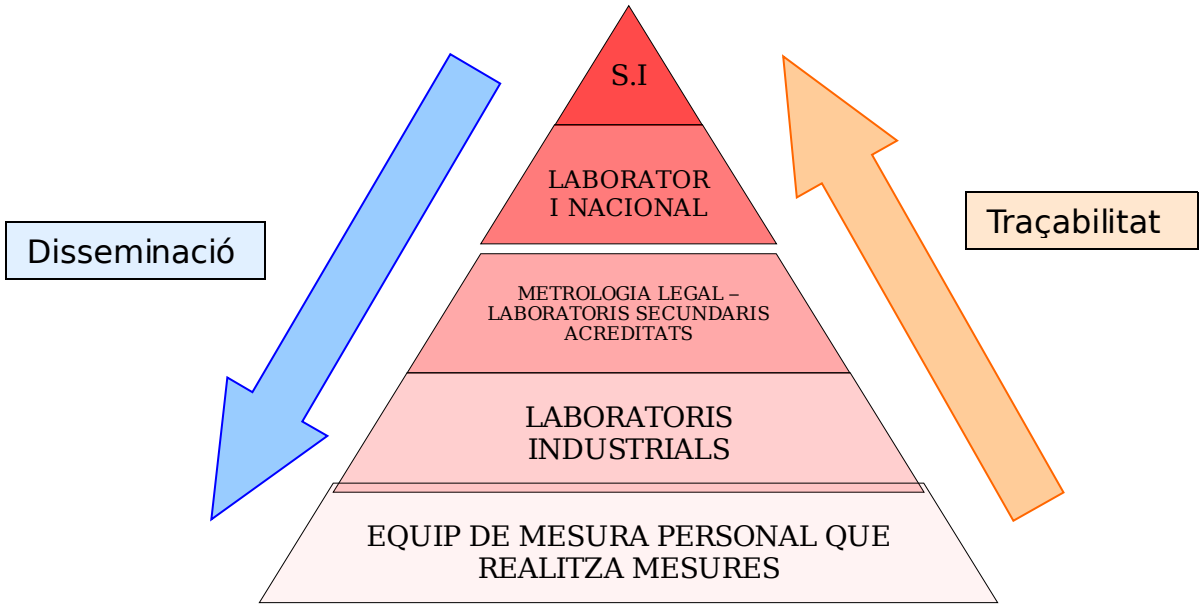
Quan es recorre la piràmide en el sentit contrari, es a dir, de dalt cap a baix, parlarem de disseminació. Aquesta construcció conforma el pla de calibratge i validació.

A més alt nivell, per exemple, per a dur a terme la calibratge dels patrons nacionals, el que es fa és comparar la longitud que és mesurada amb la longitud d'ona d'una radiació lluminosa amb una freqüència definida amb exactitud. La referència és, doncs, la longitud d'ona produïda per la radiació d'un làser estabilitzat. A mida que baixem esglaons de la piràmide els processos de calibratge aniran perdent complexitat ja que anirem augmentant els nostres llindars tolerables d'incertesa.

De patrons, en tractarem de diversos nivells de qualitat. Aquestes qualitats es classifiquen en graus. Els més emprats en ordre de major a menor qualitat, son els de graus 0, 1 i 2. Per tant, un patró de grau 0 ens proporcionarà unes mesures més precises, que no pas un que sigui de grau 2.

En aquest aspecte, cal fer esment de l'existència de dues propietats, aplicades a les mesures i en molts d'altres camps, que sovint porten a confusió. Aquestes són, d'una banda, la precisió i de l'altra, l'exactitud. Quan parlem per exemple, d'un instrument que és molt precís, ens estarem referint a la seva resolució i per tant, a la seva capacitat d'afinar una mesura i de donar-nos un resultat molt més ajustat a la mesura real, en el ben entès que sempre hi haurà fonts que pertorbin la nostra mesura.

Quan ens referim a un instrument exacte, el que volem dir, és que presenta una escala de mesura menys precisa i per tant, ens mostra uns valors més arrodonits i en conseqüència, que disten més de la realitat.


S.I
LABORATOR
I NACIONAL
METROLOGIA LEGAL –
LABORATORIS SECUNDARIS
ACREDITATS
LABORATORIS
INDUSTRIALS
EQUIP DE MESURA PERSONAL QUE
REALITZA MESURES
Disseminació
Traçabilitat

## 2.2.2 Incerteses

L' incertesa, no deixa de ser un marge d'error que se li atribueix a una mesura i que acostuma a representar el cas més desfavorable. Donat que és impossible controlar totes les variables d'error que poden intervenir-hi, cal donar uns valors el més aproximats possibles.

En el cas dels blocs patró considerarem dos fonts d'incertesa que ens poden introduir un error en la mesura. D'una banda, un error donat per la mateixa naturalesa del patró i les seves imperfeccions i en segón lloc, la incertesa atribuïda als efectes de desgast en el seu ús.

La primera segueix la taula següent:

| Long. Nominal | | Desviacions al nominal i diferències de longitud màximes admissibles (mm) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Patrons grau K | | Patrons grau 00 | | Patrons grau 0 | | Patrons grau 1 | | Patrons grau 2 | |
| Més de | Fins a | Desv. | Dif. | Desv. | Dif. | Desv. | Dif. | Desv. | Dif. | Desv. | Dif. |
| 0,5 | 10 | 0,2 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,12 | 0,1 | 0,2 | 0,16 | 0,45 | 0,3 |
| 10 | 25 | 0,3 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,1 | 0,3 | 0,16 | 0,6 | 0,3 |
| 25 | 50 | 0,4 | 0,06 | 0,1 | 0,06 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,18 | 0,8 | 0,3 |
| 50 | 75 | 0,5 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,25 | 0,12 | 0,5 | 0,18 | 1 | 0,35 |
| 75 | 100 | 0,6 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,3 | 0,12 | 0,6 | 0,2 | 1,2 | 0,35 |
| 100 | 150 | 0,8 | 0,08 | 0,2 | 0,08 | 0,4 | 0,14 | 0,8 | 0,2 | 1,6 | 0,4 |
| 150 | 200 | 1 | 0,09 | 0,25 | 0,09 | 0,5 | 0,16 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 |
| 200 | 250 | 1,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,16 | 1,2 | 0,25 | 2,4 | 0,45 |
| 250 | 300 | 1,4 | 0,1 | 0,35 | 0,1 | 0,7 | 0,18 | 1,4 | 0,25 | 2,8 | 0,5 |
| 300 | 400 | 1,8 | 0,12 | 0,45 | 0,12 | 0,9 | 0,2 | 1,8 | 0,3 | 3,6 | 0,5 |
| 400 | 500 | 2,2 | 0,14 | 0,5 | 0,14 | 1,1 | 0,25 | 2,2 | 0,35 | 4,4 | 0,6 |
| 500 | 600 | 2,6 | 0,16 | 0,6 | 0,16 | 1,3 | 0,25 | 2,6 | 0,4 | 5 | 0,7 |
| 600 | 700 | 3 | 0,18 | 0,7 | 0,18 | 1,5 | 0,3 | 3 | 0,45 | 6 | 0,7 |
| 700 | 800 | 3,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 1,7 | 0,3 | 3,4 | 0,5 | 6,5 | 0,8 |
| 800 | 900 | 3,8 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | 1,9 | 0,35 | 3,8 | 0,5 | 7,5 | 0,9 |
| 900 | 1000 | 4,2 | 0,25 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 | 4,2 | 0,6 | 8 | 1 |

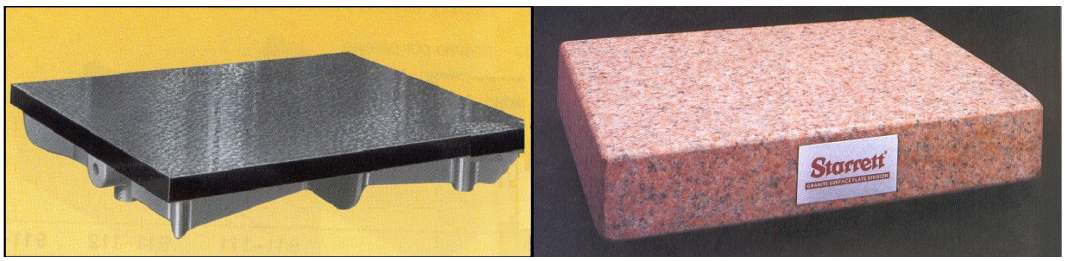
Haurem de buscar a la taula els valors corresponents al nostre patró tenint en compte el seu grau de qualitat i la seva longitud.
La segona causa d'incertesa s'anomena deriva per temps i segueix les equacions següents. La longitud del patró en qüestió es troba multiplicant al segon terme. El resultat d'aquesta operació serà la deriva que experimentarà el nostre bloc patró transcorregut el període d'un any.

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

En el cas d'utilitzar anells de precisió també haurem de seguir el mateix procediment amb les equacions següents:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Incertesa dels anells = | 0,45µm | + | 0,0016 L/mm |

Una incertesa a tenir en compte en mesures de profunditat és la de la taula sobre la qual fem les mesures. Les que trobem als laboratoris de calibratge, s'anomenen taules de planitud i tenen un error de planitud associat que ve donat pel mateix fabricant.




*Taules de planitud. Poden ser d'acer o bé de granit.*

### 2.2.3 El Laboratori

El lloc on es realitzen les mesures és el laboratori de calibratge. Aquest espai no pot ser un espai qualsevol, ha de satisfer un seguit d'exigències:

En primer lloc mantenir una temperatura constant, la temperatura es fixa en 20 ºC podent presentar un marge d'oscil·lació de aproximadament 1ºC.

En segon lloc, un grau higromètric correcte, la humitat relativa haurà de mantenir-se per sota del 55%, per tant serà aconsellable la instal·lació d'un higròmetre.

Mantenir-se aïllat de vibracions o oscil·lacions, això s'aconseguirà utilitzant materials aïllants entre els aparells i els suports (taules, terra, etc).

I per últim, caldrà tenir espai suficient i generós, presentar bona il·luminació i una correcta neteja.

## 3 Pautes de procediment

Per tal d'executar correctament la confecció dels nostres tres programes, abans haurem de plantejar-ne la seva estructura.

D'entrada veiem que el més extens dels tres que hem plantejat (peu de rei, micròmetre i comparador), serà el del peu de rei. Això es dona ja que, dels tres aparells amb els que treballarem, el peu de rei és el que permet fer un ventall més ampli de mesures i per tant el que presenta un calibratge més extens i amb més variants.

Ens trobem amb tres tipus de mesures, les exteriors, les interiors i les de profunditat, en canvi, en el calibratge del micròmetre o del comparador, només se'n realitzen d'un tipus. Una bona forma de començar, doncs, és pel peu de rei, ja que un cop tinguem aquest enllestit, els altres dos es poden extreure directament (amb matisos, això sí) del primer.

Un altre punt interessant serà el de definir en quants passos volem que s'executi el calibratge. Això serà fonamental per a evitar parts amb un excés d'informació o de dades a entrar. Bàsicament, la seva estructura es basarà en una part inicial en la que hi haurà la presa de decisions sobre el tipus de calibratge que es vol fer, o els patrons que s'utilitzaran. En un segon lloc, l'entrada de dades a partir de les mesures directes preses del calibratge. En tercer terme, els fulls de resultats i càlculs previs i càlculs finals sobre el calibratge. En quart lloc, el full preparat amb els resultats finals que es presentaran al que serà el document o certificat sobre el calibratge i per últim, trobarem un seguit de fulls amb taules, dades constants, etc, on s'hi allotjaran les dades estables, fixes i útils per a cada calibratge.

En el cas del peu de rei, hi haurà tres fases, un per a cada tipus de mesura. En síntesi, la seva estructura, constarà, de la primera fase: [presa de decisions - entrada de dades - resultats parcials] de les mesures d'exteriors. La segona fase: [presa de decisions - entrada de dades - resultats parcials] de les mesures interiors. La tercera fase: [presa de decisions - entrada de dades - resultats parcials] de les mesures de profunditat. I tot seguit els resultats finals i les dades estables.

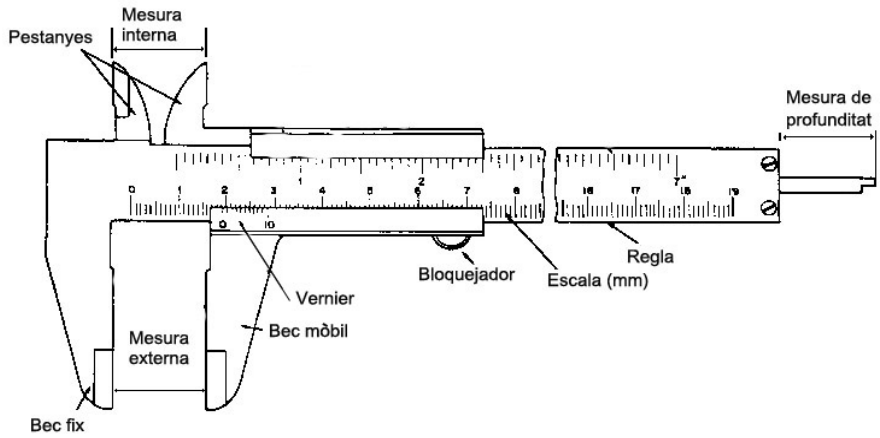
# 4 El Peu de rei

## 4.1 Descripció i funcionament

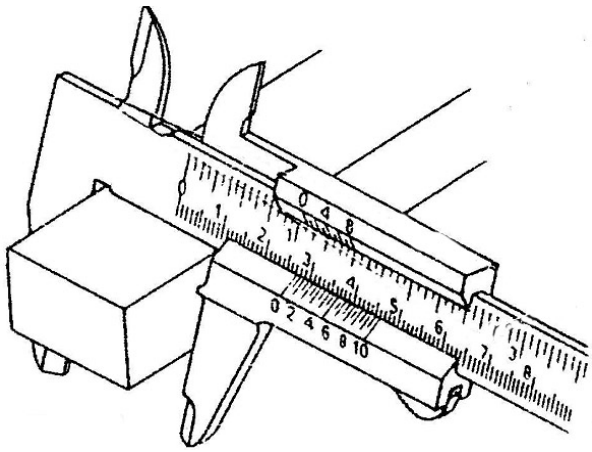
El peu de rei és, en essencia, una eina per a realitzar mesures i que consta, bàsicament, d'una part fixa i una altra de mòbil, totes dues acabades en forma de bec. El bec mòbil es desplaça a mode de cursor al llarg del que podríem anomenar l'esquelet central del peu de rei o la regla, on s'hi troba gravada una escala de mesura en mil·límetres i/o polzades. D'aquesta manera mesurem distàncies exteriors. També consta d'unes pestanyes que fan la funció contrària que els becs, mesuren distàncies interiors. Per últim trobem el sistema per a mesures de profunditat. Tant l'un com l'altre es mouen solidaris al cursor. Al cursor mateix hi trobem gravada una escala anomenada de *Vernier* o *Nonio*. Aquesta escala ens permet aproximar més les mesures, a dècimes de mil·límetre, per exemple.

El bloquejador és un sistema de seguretat per tal que no se'ns desplaci el cursor de manera indesitjada, es a dir que mentre no el pressionem la mesura es mantindrà fixa.

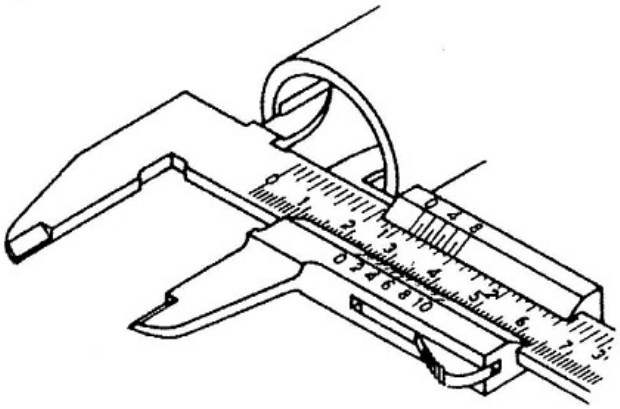
És un instrument que presenta unes superfícies planes i polides, normalment fet d'acer inoxidable.



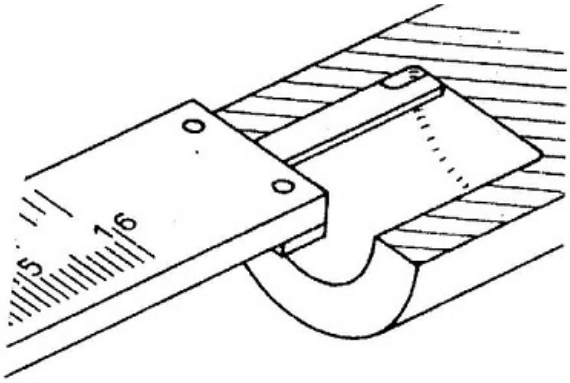

Aquest aparell ens permet fer tres tipus de mesures, les d'exteriors, interiors i profunditat. La més comú, la mesura externa, és la que situa els dos becs de l'instrument abraçant les cares externes de la peça.



En el cas de les mesures internes, el que fem és ajustar, les dues pestanyes, des de dins cap a fora de les parets de l'objecte a mesurar

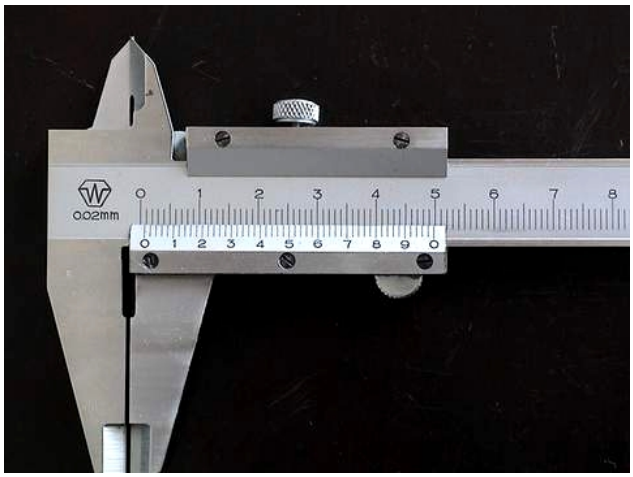


Com a mesures de profunditat entendrem aquelles que per motius d'accessibilitat no ens permeten utilitzar les altres tècniques, són aquelles que mesuren concavitats o obertures, per exemple. La realitzarem situant la cara que marca el final de la regla del peu de rei i desplaçant el bec i per tant, desplaçant, solidàriament el dispositiu per a la mesura de profunditats.



Peus de rei en trobem de dos tipus, el tradicional amb un sistema de presa de mesures mecànic com hem vist i el peu de rei digital que mostra la mesura directament per una pantalla LCD de tipus set segments. Per a cada aplicació caldrà sospesar quin dels dos és més adient, també cal tenir en compte la precisió que ens cal, és a dir, si amb una escala de mil·límetres ja en tenim prou o ens cal anar a dècimes o centèsimes de mil·límetre.

L'escala de Vernier o Nonio no és més que una escala secundària que permet precisar més enllà de la unitat gravada en l'escala principal, dit d'una altra manera, ens permet calcular fraccions de l'escala major.

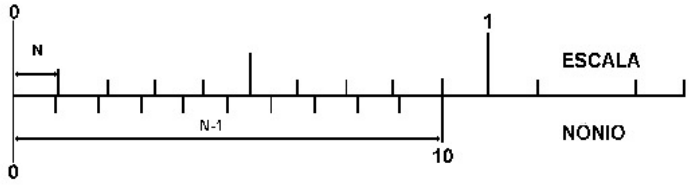



*Escala de Vernier o de Nonio, present en un peu de rei.*

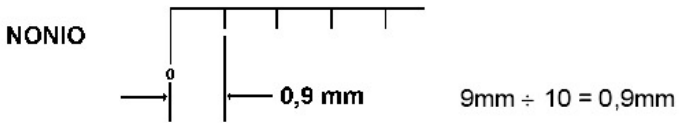
El nom que rep l'escala varia en funció de qui se'n consideri l'inventor, Vernier fa referència al matemàtic francès Pierre Vernier al que se li atribueix la invenció, d'altra banda, el terme d'escala Nonio es refereix al matemàtic portuguès Pedro Nunes i del seu cognom se'n

deriva el terme llatinitzat Nonio. Ambdós noms fan referència a la mateixa escala.

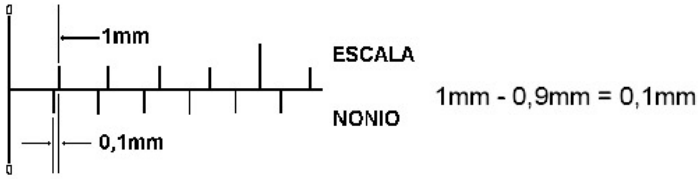
La teoria de funcionament d'aquesta escala consisteix en agafar 9 mm de l'escala principal i dividir-los en 10 porcions.




D'aquesta manera, sabent que la longitud total de l'escala Nonio són 9mm podem deduir que cada divisió d'aquesta serà de 0,9mm

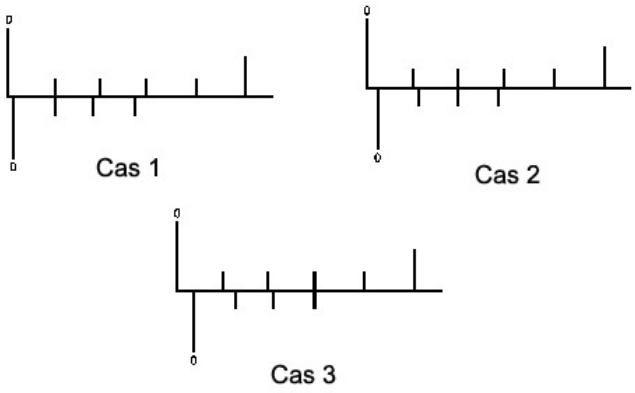



Si situem les l'escala Nonio en coincidència amb el valor inicial de l'escala principal, doncs, podrem dir que la següent divisió serà 0,1mm menor.



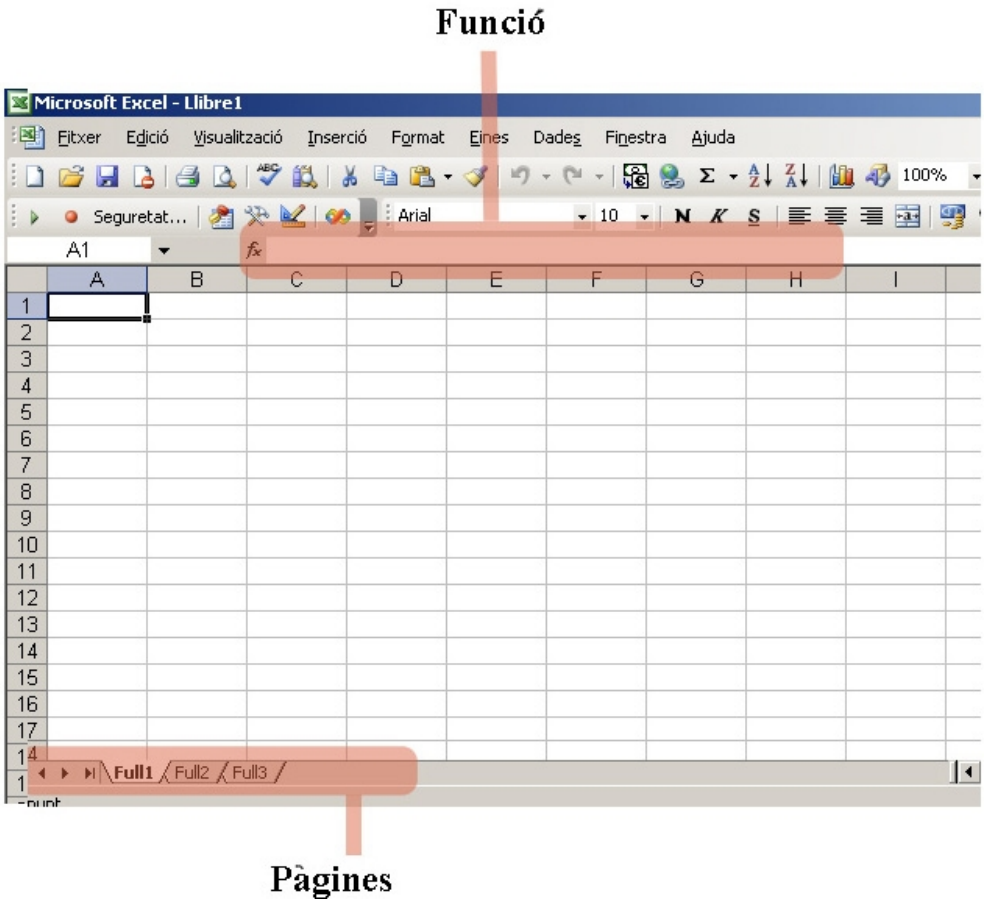

Aquesta diferència de 0,1mm serà l'aproximació màxima que ens donarà l' instrument. Cal observar que aquesta separació d'una dècima de mil·límetre es va acumulant i així doncs, a la següent mesura serà de 0,2mm i  a la següent de 0,3mm etc

D'aquesta manera, si fem coincidir el primer valor de l'escala Nonio amb la de l'escala fixa el peu de rei estarà obert 0,1mm (cas 1), si és en el segon valor ho estarà 0,2mm (cas 2) en el tercer ho estarà 0,3mm (cas 3) i així successivament.


Cas 1
Cas 2
Cas 3

## 4.2 Fulls de càlcul

Per tal de seguir la confecció del programa d'una manera entenedora seguirem l'esquema que hem plantejat en l'apartat anterior. Abans de tot veurem quatre trets bàsics sobre el funcionament d'excel.

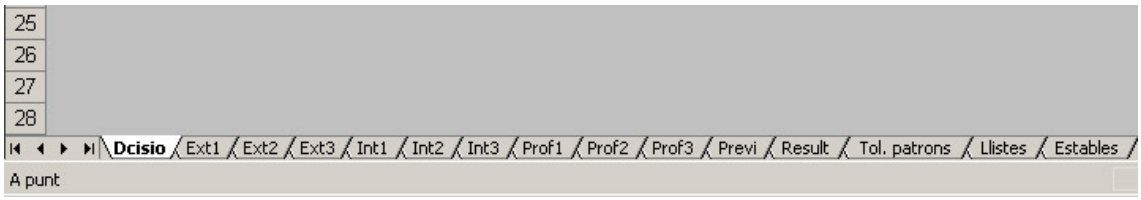



Quan ens situem sobre una casella qualsevol, el camp *fx* indicarà l'equació que té associada. Aquesta funció sempre començarà amb un signe "=" seguit de l'operació.

Per exemple, si volem que a la casella A1 hi aparegui el resultat de sumar el contingut de la casella B1 més la casella B2, ens situarem sobre A1 i al camp fx hi escriurem "=B1+B2". Les operacions podran ser entre caselles de la mateixa pàgina, entre rangs de caselles o fins i tot entre caselles de pàgines diferents. El nombre de pàgines, així com el seu nom, el podrem variar al nostre gust. Aquest sistema de pàgines ens permet realitzar operacions entre elles, el seu format serà el següent:

Si volem que a la casella A1 del Full 1 hi aparegui el resultat de multiplicar la casella C1 del Full 1 per la casella C1 del Full dos haurem d'escriure "=C1*Full2!C1" o sigui que la crida a una dada d'un altre full el fem amb la seqüència NomFull!Casella.

En el cas del nostre programa de càlcul disposarem de les següents pàgines:



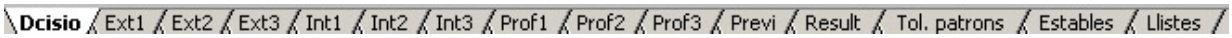

És interessant escurçar al màxim els noms de les pàgines ja que d' aquesta manera ens estalviarem feina a l'hora d'escriure les operacions.

Tot seguit s'exposa un breu esquema amb els punts que es tractaran a continuació i els fulls de càlcul que corresponen a cada apartat

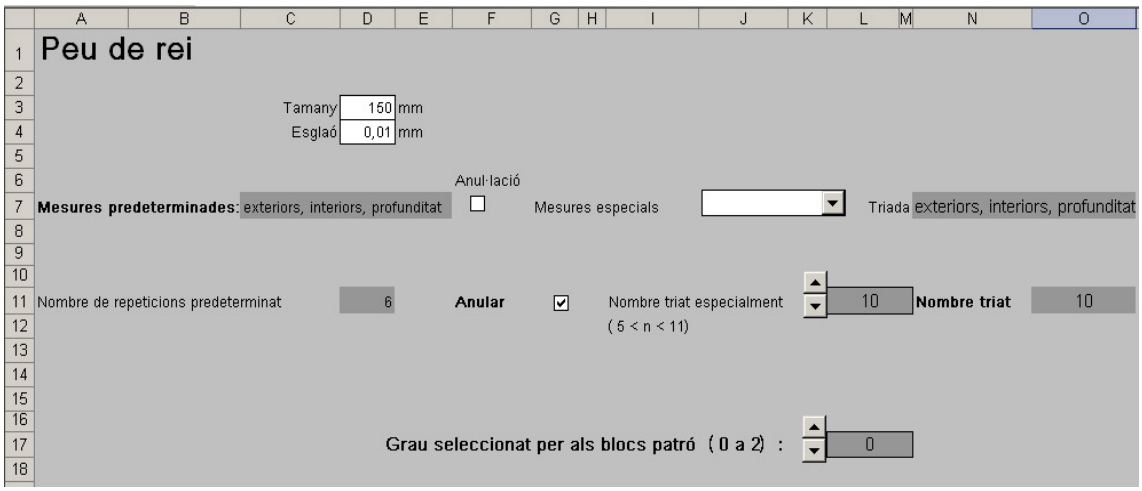
| | |
|---|---|
| Presa de decisions | - *Dcisio* |
| Mesures d'exteriors | - *Ext1, Ext2, Ext3* |
| Mesures Interiors | - *Int2, Int2, Int3* |
| Mesures de profunditat | - *Prof1, Prof2, Prof3* |
| Resultats finals | - *Previ, Result.* |
| Dades estables | - *Tol. patrons, Llistes, Estables* |

### 4.2.1 Presa de decisions

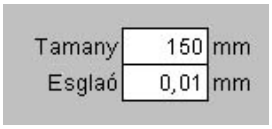
A cada apartat que tractem s'hi adjuntarà aquesta tira per tal de saber en quina pàgina ens trobem.



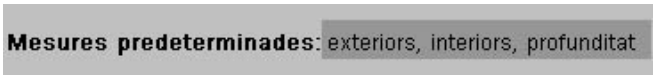

Aquest serà el format del primer full (Dcisio)



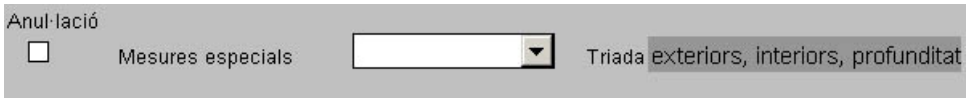

Caldran dues caselles d'entrada, per a destinar a l'entrada dels paràmetres referents al tamany i l'esglaó del peu de rei. L'esglaó fa referència a la seva resolució i el tamany a l'abast màxim de l'aparell.



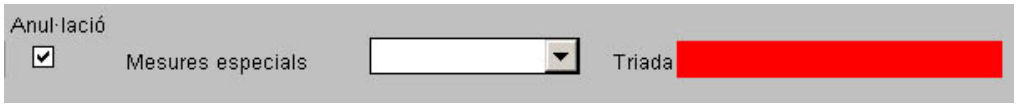

Tal i com es detalla en el procediment de calibratge, a l'annex I, la configuració per defecte, per a un calibratge d'un peu de rei consta de tres sèries de mesures. Mesures exteriors, mesures interiors i de profunditat.




Haurem de generar un sistema que permeti variar la configuració que ve per defecte. Això ho farem amb un botó d'anul·lació i una pestanya desplegable que permeti fer el canvi, si no toquem res, ha d'aparèixer això:

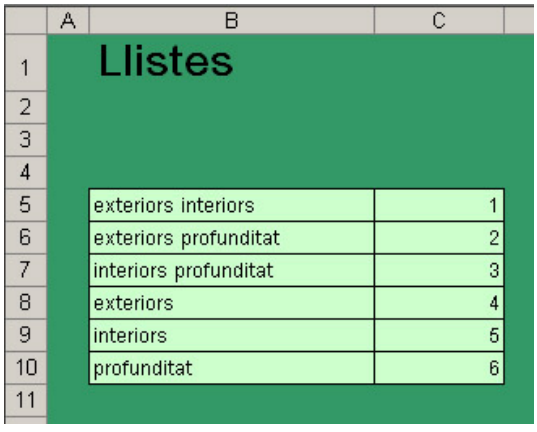



Com veiem, en el camp “triada” hi apareix l’opció inicial, ara bé, quan pressionem el botó d’anul·lació automàticament canvia com es veu a continuació

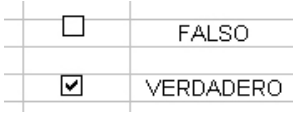



El camp “triada” es posa vermell indicant que hem anul·lat l’opció predefinida i no n’hem especificat cap altra, per poder prosseguir hem d’escollir-ne una.

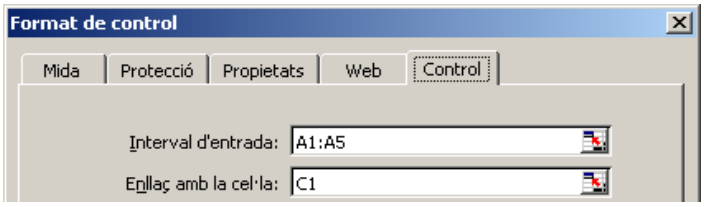
La llista de possibles calibratges la tindrem en una pàgina a part de manera que podrem canviar-ne el contingut, la llista serà la següent.



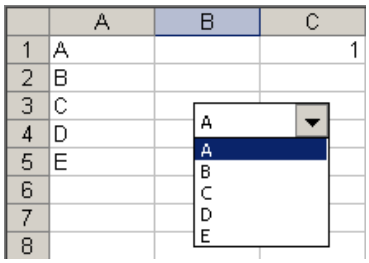

El funcionament de la caixeta ☑ és molt senzill, clicant dues vegades a sobre seu ens apareix el menú d’opcions i li assignem una casella de referència. La casella que triem serà la que experimentarà en canvi de “vertader” a “fals” quan la pressionem.



La pestanya desplegable té un funcionament similar, obrirem el menú d'opcions clicant dues vegades i ens demanarà un rang de caselles on hi tindrem els nostres diferents valors, en aquest cas li diem que estaran entre A1 i A5 (A1:A5) i un enllaç que ens indicarà a la posició que ens trobem, si hi posem els següents valors

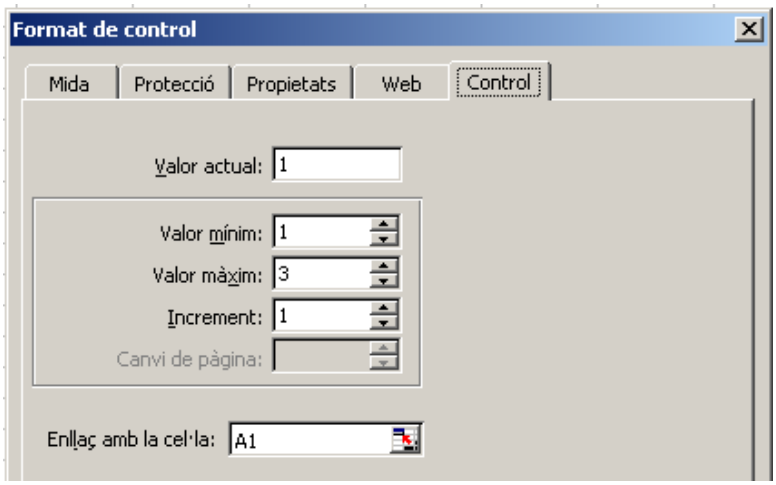



Podrem comprovar que la llista que hem posat des de A1 fins a A5 és la que ens apareix al desplegable. La casella C1 és una referència de la posició a la que ens trobem, en aquest cas la A és la posició 1, la B la posició 2 i així successivament.

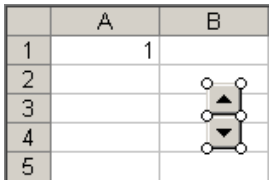



Seguim el mateix procediment que per a l'apartat anterior plantejant un nombre predeterminat de repeticions i permetent a l'usuari la variació d'aquest valor

Els botons d' incrementar - decrementar tenen un funcionament similar als que hem vist, li definim un valor inicial, un valor final i l' increment que desitgem, per últim la casella de referència



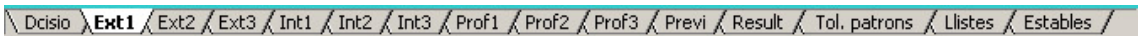

Quedaria de la següent manera:

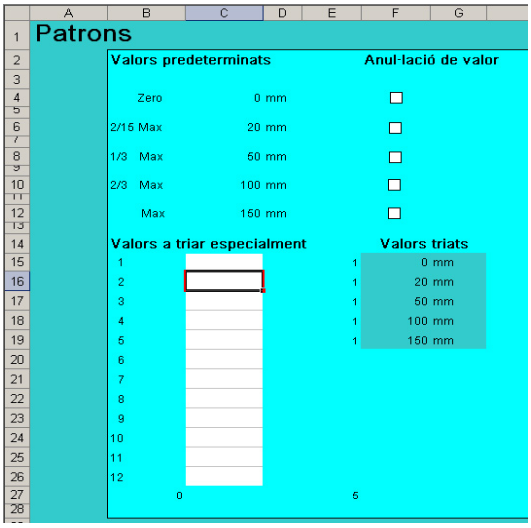



Pel que fa al grau de qualitat dels blocs patró, permetem a l'usuari que variï aquest paràmetre amb una casella d' increment - decrement que vagi de 0 fins a 2.

### 4.2.2 Mesures d'exteriors

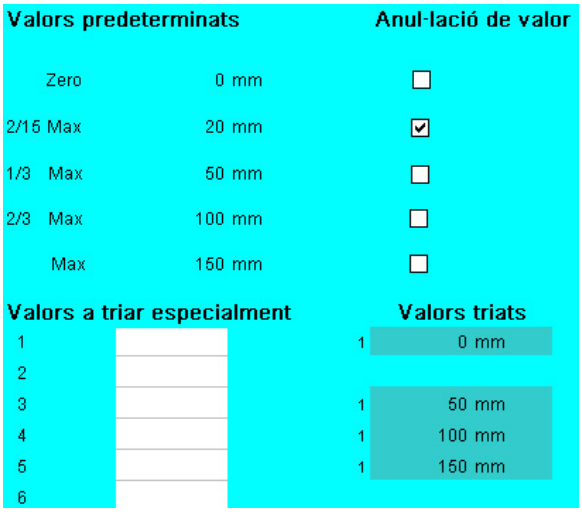
*Ext1: Tria de blocs Patró*



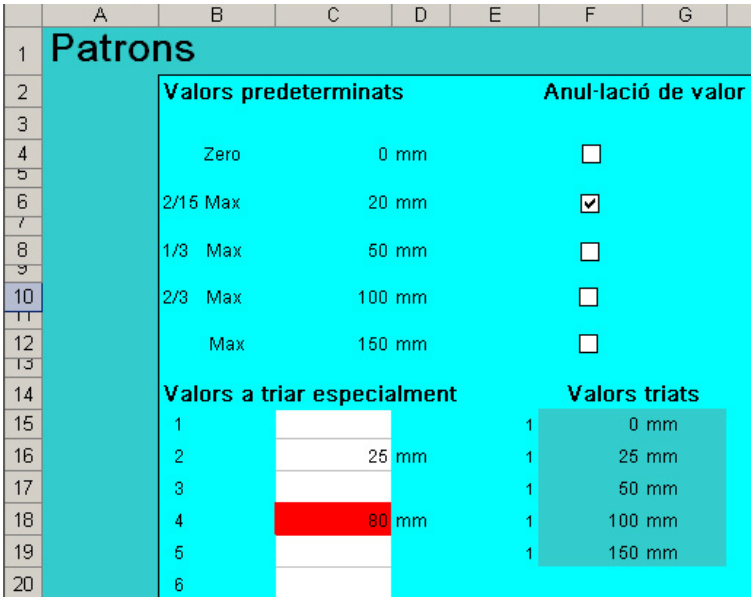

Per començar, cal que predeterminem uns múltiples de la longitud total que hem introduït al camp “tamany” de la pàgina anterior, aquests ens dividiran tota l’escala del peu de rei. El nombre de patrons en aquest cas, seran 5 sempre, amb la possibilitat d’afegir-ne fins arribar als 12.

Podem veure que al camp “Valors triats” apareixen els patrons predeterminats, per tal de canviar-ne el valor haurem de pressionar el botó d’anulació.

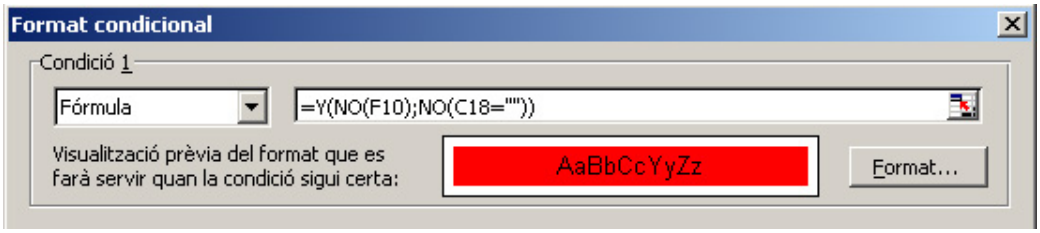



El seu camp corresponent a “valors triats” desapareix i tenim la possibilitat de posar-n’hi un altre en l’espai corresponent a “valors a triar especialment”. Hem de contemplar el cas en

que es posi un valor a triar especialment sense haver anul·lat el valor predeterminat abans, si això és dona, no es farà cas del valor i la casella es tornarà vermella alertant de l'error.

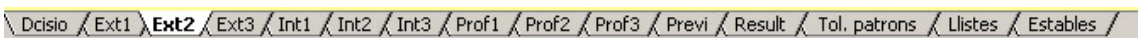



Per tal que una casella variï el seu format en funció d'uns paràmetres cal accedir al menú de format condicional (Format >> Format condicional) i un cop dins definim el format que volem que prengui i tot seguit la condició que s'ha de complir, en aquest cas, es compleix que la casella F10 associada al botó (cert, fals) està a la posició "fals", i que a la casella C18 hi ha alguna cosa. Per tant, es compleix si F10 està negada NO(F10) i si C18 no està en blanc NO(C18=""). L'expressió queda de la següent manera:



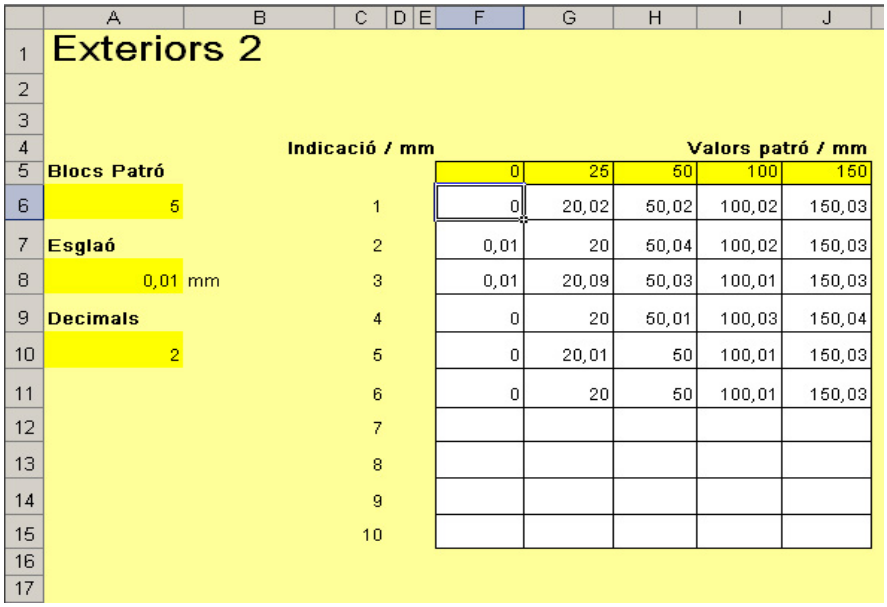

Aquesta és la manera de fer-ho, a les dues condicions els hi fem una AND lògica per tal que hagin de ser les dues condicions les que es compleixin. El format condicional ens permet establir més d'una condició, ho veurem més endavant.

*Ext2: Anotació de mesures*



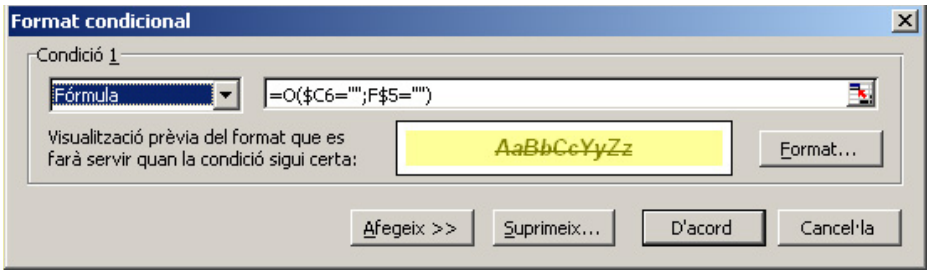

Per anotar les mesures només ens caldrà una taula que canviï el seu nombre de files i de

columnes depenent dels blocs patró i les repeticions que haguem escollit

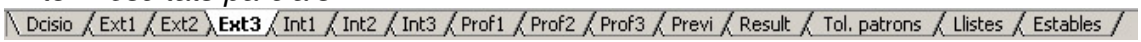


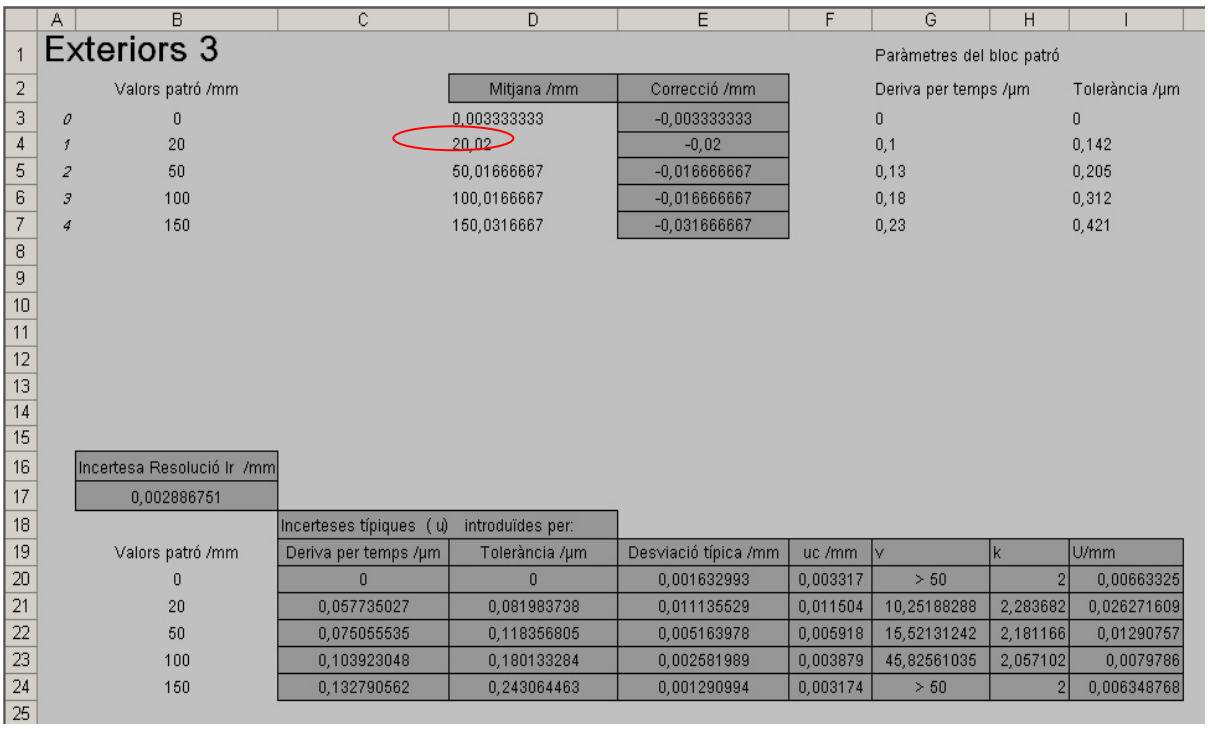
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Exteriors 2 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | Indicació / mm | | | Valors patró / mm | | | | |
| 5 | Blocs Patró | | | | | 0 | 25 | 50 | 100 | 150 |
| 6 | 5 | | 1 | | | 0 | 20,02 | 50,02 | 100,02 | 150,03 |
| 7 | Esglaó | | 2 | | | 0,01 | 20 | 50,04 | 100,02 | 150,03 |
| 8 | 0,01 | mm | 3 | | | 0,01 | 20,09 | 50,03 | 100,01 | 150,03 |
| 9 | Decimals | | 4 | | | 0 | 20 | 50,01 | 100,03 | 150,04 |
| 10 | 2 | | 5 | | | 0 | 20,01 | 50 | 100,01 | 150,03 |
| 11 | | | 6 | | | 0 | 20 | 50 | 100,01 | 150,03 |
| 12 | | | 7 | | | | | | | |
| 13 | | | 8 | | | | | | | |
| 14 | | | 9 | | | | | | | |
| 15 | | | 10 | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |

La capçalera de cada columna és directament el valor que s'ha definit en el camp "Valors triats" de la pàgina anterior, per tant, quan hi hagi valor definit haurà d'aparèixer i quan no n'hi hagi s'haurà de mantenir tota la columna oculta. El mateix passa amb les fileres i el nombre de repeticions que hem definit en el primer apartat. Farem ús del format condicional per tal que aquestes quedin ocultes, agafarem com a referència la mida del patró i el nombre de repetició, per exemple, el cas de la casella F6, la condició perquè quedi oculta, serà que, o F5 o bé, C6 estiguin en blanc. Això quedaria de la següent manera.




*Ext3: Resultats parcials*





**Exteriors 3**

Paràmetres del bloc patró

| | Valors patró /mm | Mitjana /mm | Correcció /mm | Deriva per temps /µm | Tolerància /µm |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0,003333333 | -0,003333333 | 0 | 0 |
| 1 | 20 | 20,02 | -0,02 | 0,1 | 0,142 |
| 2 | 50 | 50,01666667 | -0,016666667 | 0,13 | 0,205 |
| 3 | 100 | 100,0166667 | -0,016666667 | 0,18 | 0,312 |
| 4 | 150 | 150,0316667 | -0,031666667 | 0,23 | 0,421 |

| Incertesa Resolució Ir /mm |
|---|
| 0,002886751 |

Incerteses típiques ( u) introduïdes per:

| Valors patró /mm | Deriva per temps /µm | Tolerància /µm | Desviació típica /mm | uc /mm | v | k | U/mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0,001632993 | 0,003317 | > 50 | 2 | 0,00663325 |
| 20 | 0,057735027 | 0,081983738 | 0,011135529 | 0,011504 | 10,25188288 | 2,283682 | 0,026271609 |
| 50 | 0,075055535 | 0,118356805 | 0,005163978 | 0,005918 | 15,52131242 | 2,181166 | 0,01290757 |
| 100 | 0,103923048 | 0,180133284 | 0,002581989 | 0,003879 | 45,82561035 | 2,057102 | 0,0079786 |
| 150 | 0,132790562 | 0,243064463 | 0,001290994 | 0,003174 | > 50 | 2 | 0,006348768 |

Estructurem els resultats de les mesures exteriors:

La mitjana la farem sobre els valors entrats en el full Ext2, per exemple, per a fer la mitjana de les mesures del bloc patró de 20mm, a la casella D4 hi anirà, "=PROMEDIO(Ext2!G6:Ext2!G15)".

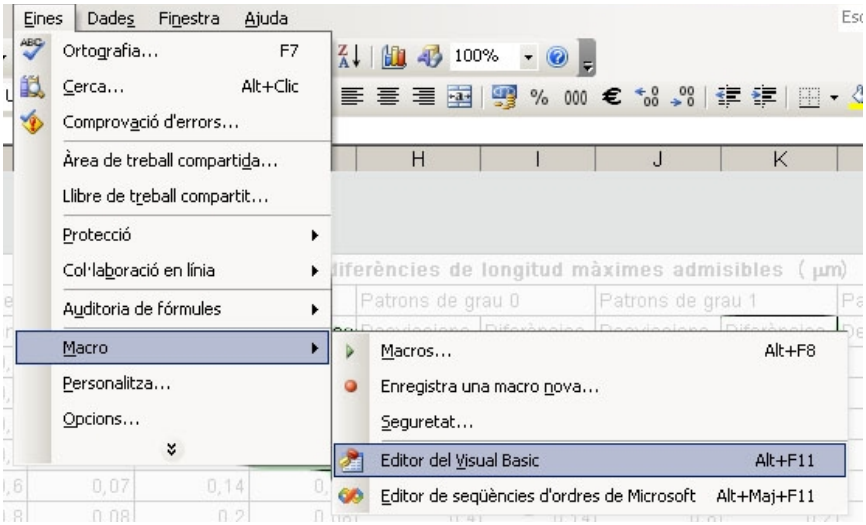
La deriva per temps i la tolerància es troba a partir de la taula i les equacions que hi ha al Full "Tol.patrons" que veurem més endavant i a partir d'aquests la seva contribució a la incertesa.

La incertesa introduïda per la resolució surt directament d'operar la resolució que hem definit al primer Full, concretament a "Dcisio!D3".

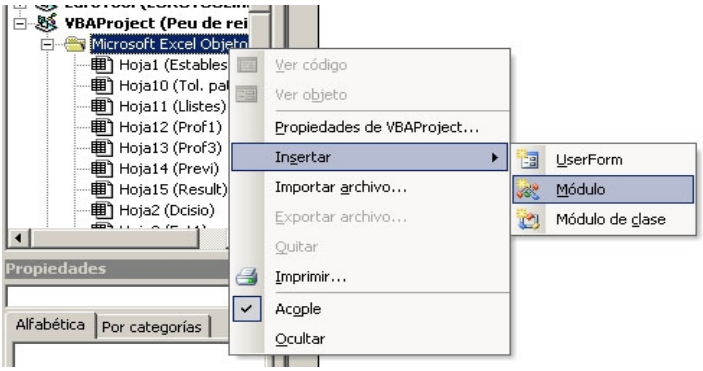
La desviació típica és un càlcul directe que ens permet fer l'excel amb la funció "=DESVEST(rang de valors)"

Els graus efectius de llibertat i la constant Student les calculem per mitjà d'una macro senzilla amb visual basic, tot seguit se n'explica el seu funcionament:

Accedim a l'editor de Visual basic que incorpora l' excel mitjançant la barra del menú d'opcions




Un cop dins l'editor ens caldrà generar un mòdul on crearem les funcions mitjançant codi de Visual basic, creem el mòdul doncs.




Un cop tenim això, ja podem passar a introduir les nostres funcions. Passarem a analitzar el codi de la funció kstudent.

```
Function kstudent(grausllib, Optional probab = 95.45)
    probabil = 1 - probab / 100
    kstudent = Application.WorksheetFunction.TInv(probabil, grausllib)
End Function
```

Per al càlcul fem servir la classe WorksheetFunction referent a l'objecte Application, aquesta classe proporciona una sèrie de mètodes que ens permeten realitzar nombroses funcions de càlcul, com ara funcions matemàtiques o estadístiques. En el nostre cas fem servir TInv que ens retorna la inversa de la distribució Student que busquem.

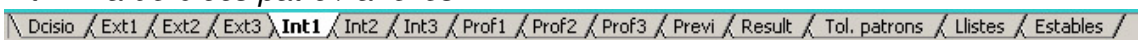
Tot seguit tenim la funció que ens calcula els graus efectius de llibertat mitjançant l'equació

de Welch-Satterthwaite, el codi és el següent:

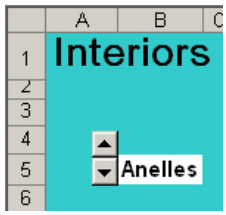
```
Function grausws2(incert, desvest, graus, sens)
    infinit = 3E+38
    If desvest = 0 Then
        grausf = infinit
    Else
        grausef = incert ^ 4 / (sens ^ 4 * desvest ^ 4) * graus
    End If
    grausws2 = grausf
End Function
```

### 4.2.3 Mesures interiors

*int1: Tria de blocs patró / anelles*



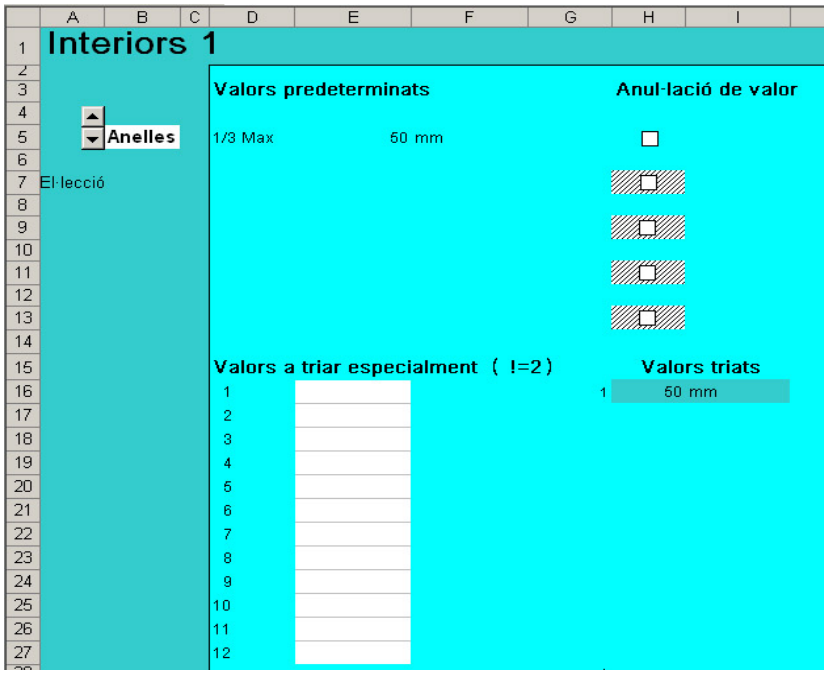

Passem a mesures interiors començant per un desplegable que ens permeti fer la tria entre blocs patró i anelles




A partir d'aquesta decisió tractarem el format dels resultats que veurem en successius apartats ja que, tal i com hem vist, el càlcul no serà el mateix en un cas que en l'altre.

Recordem que, segons el procediment i atenent-nos al tipus de calibratge que hem escollit, tan sols ha de ser possible escollir un bloc/anella.

Bàsicament, aquesta pàgina, segueix la plantilla de la d'exteriors i presenta canvis en funció del tipus de calibratge que fem tal i com s'explica en el punt 1.2 del procediment de calibratge.



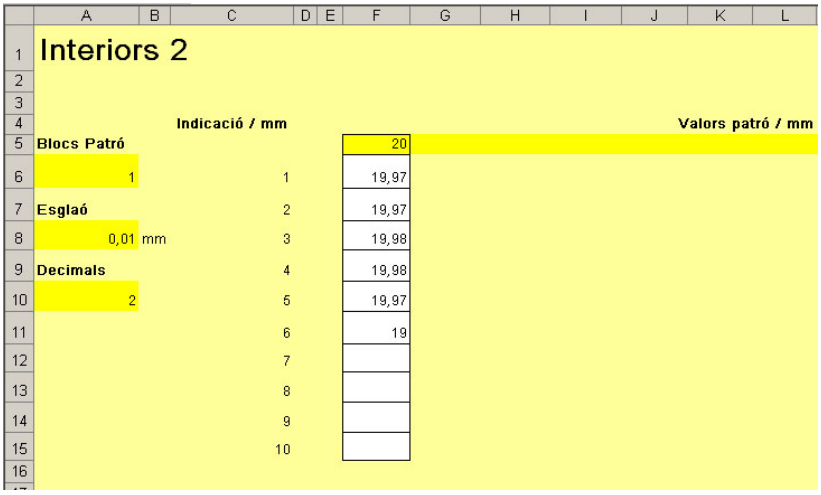

El cas que hem triat nosaltres: Exteriors, Interiors, Profunditat, assigna 5 blocs patró per a Exteriors, 1 bloc per a Interiors i un altre per a Profunditat. Així doncs, apareixerà un sol bloc

patró amb un valor proposat que podrà ser canviat.

*Int2: Anotació de les mesures*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | **Int2** | Int3 | Prof1 | Prof2 | Prof3 | Previ | Result | Tol. patrons | Llistes | Estables

Crearem una taula igual que “Ext2” jugant amb el format condicional de les caselles.



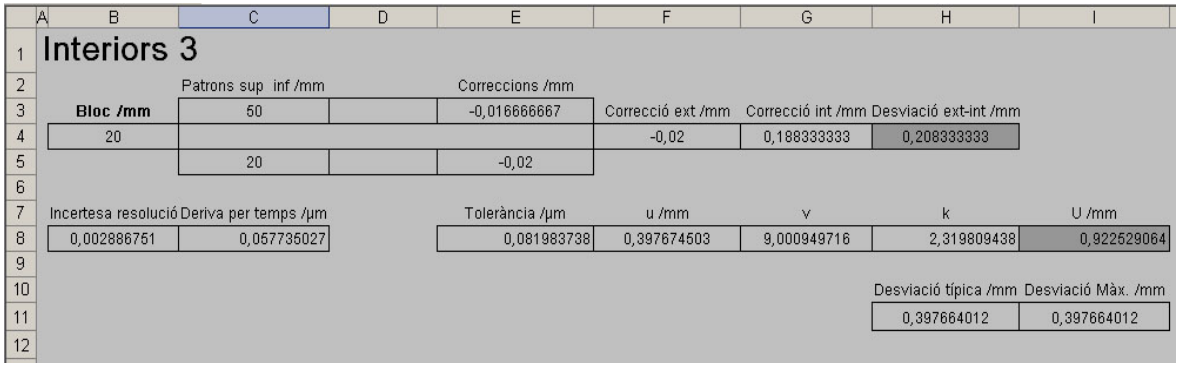
Interiors 2

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Indicació / mm | | Valors patró / mm |
| Blocs Patró | | | 20 | |
| | 1 | 1 | 19,97 | |
| Esglaó | | 2 | 19,97 | |
| | 0,01 mm | 3 | 19,98 | |
| Decimals | | 4 | 19,98 | |
| | 2 | 5 | 19,97 | |
| | | 6 | 19 | |
| | | 7 | | |
| | | 8 | | |
| | | 9 | | |
| | | 10 | | |

*Int3: Resultats parcials*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | **Int3** | Prof1 | Prof2 | Prof3 | Previ | Result | Tol. patrons | Estables | Llistes

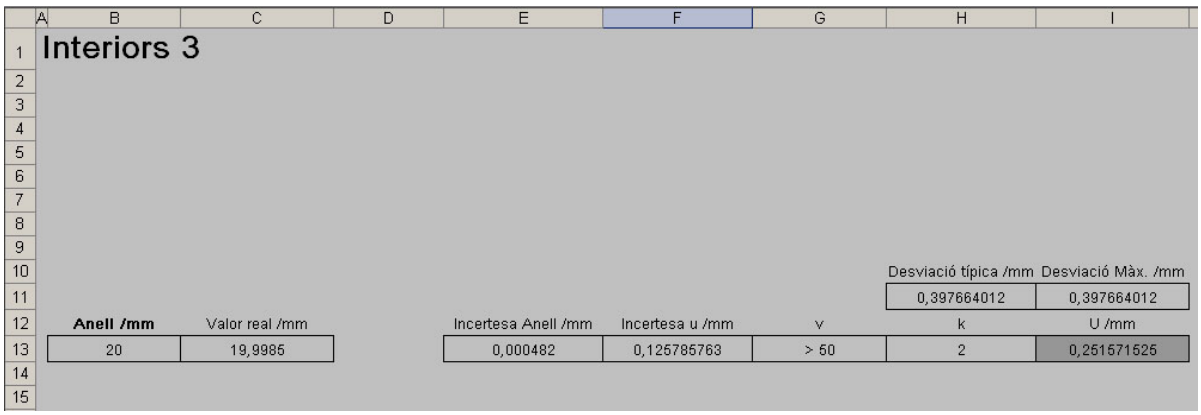
Seguint el procediment de càlcul realitzem una pàgina que presenti un format o altre en funció de si hem triat anells o blocs patró. En el cas de blocs patró calcularem la seva correcció comparant-la amb la que hem trobat en les mesures exteriors. L’aspecte que tindrà el full en el cas de fer servir blocs patró serà el següent.



Interiors 3

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Patrons sup inf /mm | | Correccions /mm | | | | |
| Bloc /mm | 50 | | -0,016666667 | Correcció ext /mm | Correcció int /mm | Desviació ext-int /mm | |
| 20 | | | | -0,02 | 0,188333333 | 0,208333333 | |
| | 20 | | -0,02 | | | | |
| | | | | | | | |
| Incertesa resolució | Deriva per temps /µm | | Tolerància /µm | u /mm | v | k | U /mm |
| 0,002886751 | 0,057735027 | | 0,081983738 | 0,397674503 | 9,000949716 | 2,319809438 | 0,922529064 |
| | | | | | | | |
| | | | | | | Desviació típica /mm | Desviació Màx. /mm |
| | | | | | | 0,397664012 | 0,397664012 |

I en el cas d’utilitzar anelles patró tindrem la composició següent



Interiors 3

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | Desviació típica /mm | Desviació Màx. /mm |
| | | | | | | 0,397664012 | 0,397664012 |
| **Anell /mm** | Valor real /mm | | Incertesa Anell /mm | Incertesa u /mm | v | k | U /mm |
| 20 | 19,9985 | | 0,000482 | 0,125785763 | > 50 | 2 | 0,251571525 |

En aquest cas, anem a buscar la incertesa deguda a l'anella, directament, al Full "estables", on hi trobem una taula d'anelles amb el valor d'incertesa associat.

Cal parar atenció en la creació d'aquesta pàgina ja que pot presentar més d'un format com hem vist. Per tal de fer-ho s'ha treballat en caselles diferents per cada cas, es pot comprovar com, les caselles utilitzades en el primer cas queden ocultes i se n'utilitzen unes altres. Això és així per tal de no complicar els formats condicionals i les equacions de les caselles, corrent el perill de superar les limitacions que excel evidencia.

### 4.2.4 Mesures de profunditat

*Prof1: Tria de blocs patró*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | **Prof1** | Prof2 | Prof3 | Previ | Result | Tol. patrons | Estables | Llistes

Realitzarem un full amb el mateix format que el d'interiors però sense la part dedicada a les anelles. Haurà de limitar el nombre de blocs patró a un i donar la possibilitat de canviar-ne el valor.

*Prof2: Introducció de les mesures*

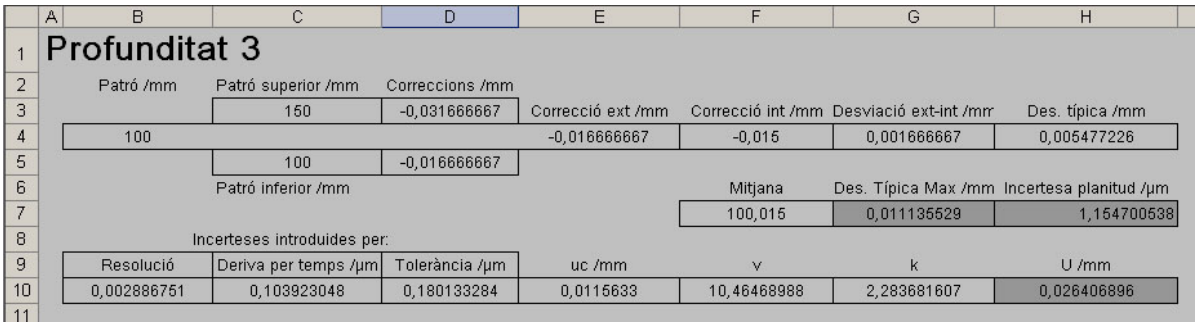
Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | Prof1 | **Prof2** | Prof3 | Previ | Result | Tol. patrons | Estables | Llistes

Un format idèntic que el que hem vist a les mesures d'interiors. Constarà d'una taula dinàmica amb caselles amb un format condicional que dependrà dels blocs patró que s'emprin i el nombre de repeticions que haguem seleccionat.

*Prof3: Resultats parcials profunditat*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | Prof1 | Prof2 | **Prof3** | Previ | Result | Tol. patrons | Estables | Llistes

Realitzarem els càlculs tal i com hem definit en el procediment. Com a dades destacables, podem parlar de la incertesa deguda a la platitud de la taula de mesura que apareix, com un nou terme d'error, que anem a cercar directament al full de dades estables "Estables". Aquesta dada es manté fixada sempre al Full de dades estables ja que es considera que la taula on fem les mesures és sempre la mateixa i presenta el mateix error.



| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | Profunditat 3 | | | | | | |
| 2 | | Patró /mm | Patró superior /mm | Correccions /mm | | | | |
| 3 | | | 150 | -0,031666667 | Correcció ext /mm | Correcció int /mm | Desviació ext-int /mm | Des. típica /mm |
| 4 | | 100 | | | -0,016666667 | -0,015 | 0,001666667 | 0,005477226 |
| 5 | | | 100 | -0,016666667 | | | | |
| 6 | | | Patró inferior /mm | | | Mitjana | Des. Típica Max /mm | Incertesa planitud /µm |
| 7 | | | | | | 100,015 | 0,011135529 | 1,154700538 |
| 8 | | | Incerteses introduides per: | | | | | |
| 9 | | Resolució | Deriva per temps /µm | Tolerància /µm | uc /mm | v | k | U /mm |
| 10 | | 0,002886751 | 0,103923048 | 0,180133284 | 0,0115633 | 10,46468988 | 2,283681607 | 0,026406896 |
| 11 | | | | | | | | |

### 4.2.5 Resultats finals

*Resul: Mostra els resultats finals*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | Prof1 | Prof2 | Prof3 | Previ | **Result** | Tol. patrons | Estables | Llistes

Un cop haguem fet tots els passos en el calibratge ara caldrà posar ordre als resultats i destriar-ne els que poden ser d'interès. Com que hi ha forces variables a tenir en compte s'ha cregut convenient fer ús d'un full entremig "previ" que ens servirà per a condicionar la pàgina final dels resultats. Hem de tenir en compte que pot variar la configuració del calibratge, per exemple, o que el nombre de blocs patró que es fan servir pot ser alterat.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | RESULTATS | | | | | | | |
| 2 | Càlculs exteriors | | | | | | | |
| 3 | | | Indicació $l_{iy}$ / mm | | | | | |
| 4 | | Valor patró i /mm | | 0 | 20 | 50 | 100 | 150 |
| 5 | | | | // | // | // | // | // |
| 6 | | | 1 | 0 | 20,02 | 50,02 | 100,02 | 150,03 |
| 7 | | | 2 | 0,01 | 20 | 50,04 | 100,02 | 150,03 |
| 8 | | Núm. d'iteració | 3 | 0,01 | 20,09 | 50,03 | 100,01 | 150,03 |
| 9 | | | 4 | 0 | 20 | 50,01 | 100,03 | 150,04 |
| 10 | | | 5 | 0 | 20,01 | 50 | 100,01 | 150,03 |
| 11 | | | 6 | 0 | 20 | 50 | 100,01 | 150,03 |
| 12 | | Mitjana Xci /mm | | 0,00333 | 20,02 | 50,0167 | 100,017 | 150,0317 |
| 13 | | Correcció Cci /mm | | -0,0033 | -0,02 | -0,0167 | -0,01667 | -0,03167 |
| 14 | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | |
| 16 | | Incertesa U /mm | | 0,04 | | | | |
| 17 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | |
| 21 | Càlculs interiors | | | | | | | |
| 22 | | | | | | Núm. d'iteració | | |
| 23 | | Valor anell /mm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 24 | | 20 | 19,97 | 19,97 | 19,98 | 19,98 | 19,97 | 19 |
| 25 | | | | | | | | |
| 26 | | Incertesa U /mm | 0,32 | | | | | |
| 27 | | | | | | | | |
| 28 | Càlculs profunditat | | | | | | | |
| 29 | | | | | | Núm. d'Iteració | | |
| 30 | | Valor patró /mm | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 31 | | 100 | 100,01 | 100,02 | 100,02 | 100,01 | 100,01 | 100,02 |
| 32 | | | | | | | | |
| 33 | | Incertesa U /mm | 0,04 | | | | | |
| 34 | | | | | | | | |

El que ens interessarà serà la mitjana que hem obtingut a cada tanda de mesures, així com la seva correcció, i finalment, la incertesa màxima (el cas més desfavorable) que haguem obtingut en el conjunt de totes les series de mesures.

### 4.2.6 Dades estables

En aquests fulls aglutinarem tota la informació que com hem anat veient, ens serà necessària per fer el calibratge

*Tol.patrons: Incerteses dels blocs patró*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | Prof1 | Prof2 | Prof3 | Previ | Result | **Tol. patrons** | Estables | Llistes

En aquest full és on vindrem a buscar els valors d'incerteses i derives per temps dels blocs patró. Per dur-ho a terme farem servir l'ordre "BUSCARV(Valor,Columna1,Columna2)". Per exemple, en el cas d'un bloc patró d'un grau de qualitat 0 i de 50mm el que haurem de fer és trobar la fila que li correspon al bloc patró de 50mm i trobar la desviació i la diferència corresponent de la següent manera:
La desviació =BUSCARV(50;B7:B22;H7:H22)
La diferència =BUSCARV(50;B7:B22;I7:I22)

**Blocs Patró**

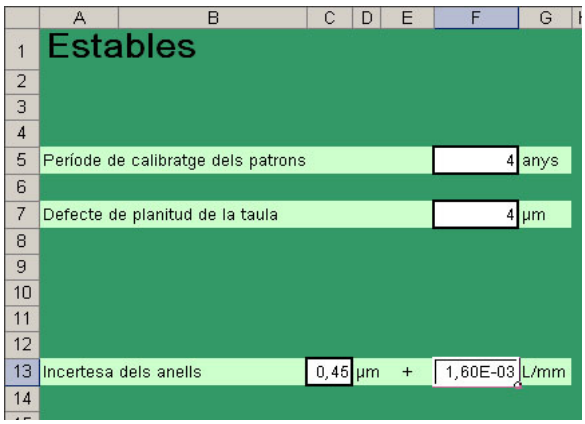
| Longitud Nominal | | Desviacions al nominal i diferències de longitud màximes admisibles ( µm) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Patrons de grau K | | Patrons de grau 00 | | Patrons de grau 0 | | Patrons de grau 1 | | Patrons de grau 2 | |
| Més de | Fins a | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències |
| 0,5 | 10 | 0,2 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,12 | 0,1 | 0,2 | 0,16 | 0,45 | 0,3 |
| 10 | 25 | 0,3 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,1 | 0,3 | 0,16 | 0,6 | 0,3 |
| 25 | 50 | 0,4 | 0,06 | 0,1 | 0,06 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,18 | 0,8 | 0,3 |
| 50 | 75 | 0,5 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,25 | 0,12 | 0,5 | 0,18 | 1 | 0,35 |
| 75 | 100 | 0,6 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,3 | 0,12 | 0,6 | 0,2 | 1,2 | 0,35 |
| 100 | 150 | 0,8 | 0,08 | 0,2 | 0,08 | 0,4 | 0,14 | 0,8 | 0,2 | 1,6 | 0,4 |
| 150 | 200 | 1 | 0,09 | 0,25 | 0,09 | 0,5 | 0,16 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 |
| 200 | 250 | 1,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,16 | 1,2 | 0,25 | 2,4 | 0,45 |
| 250 | 300 | 1,4 | 0,1 | 0,35 | 0,1 | 0,7 | 0,18 | 1,4 | 0,25 | 2,8 | 0,5 |
| 300 | 400 | 1,8 | 0,12 | 0,45 | 0,12 | 0,9 | 0,2 | 1,8 | 0,3 | 3,6 | 0,5 |
| 400 | 500 | 2,2 | 0,14 | 0,5 | 0,14 | 1,1 | 0,25 | 2,2 | 0,35 | 4,4 | 0,6 |
| 500 | 600 | 2,6 | 0,16 | 0,6 | 0,16 | 1,3 | 0,25 | 2,6 | 0,4 | 5 | 0,7 |
| 600 | 700 | 3 | 0,18 | 0,7 | 0,18 | 1,5 | 0,3 | 3 | 0,45 | 6 | 0,7 |
| 700 | 800 | 3,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 1,7 | 0,3 | 3,4 | 0,5 | 6,5 | 0,8 |
| 800 | 900 | 3,8 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | 1,9 | 0,35 | 3,8 | 0,5 | 7,5 | 0,9 |
| 900 | 1000 | 4,2 | 0,25 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 | 4,2 | 0,6 | 8 | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Deriva grau K, 0 | 0,02 µm | + | 0,00025 l/mm |
| Deriva grau 1, 2 | 0,05 µm | + | 0,0005 l/mm |

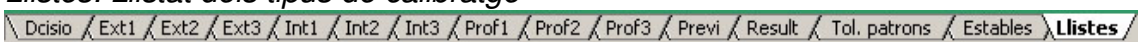
*Estables: Paràmetres estables*

Dcisio | Ext1 | Ext2 | Ext3 | Int1 | Int2 | Int3 | Prof1 | Prof2 | Prof3 | Previ | Result | Tol. patrons | **Estables** | Llistes

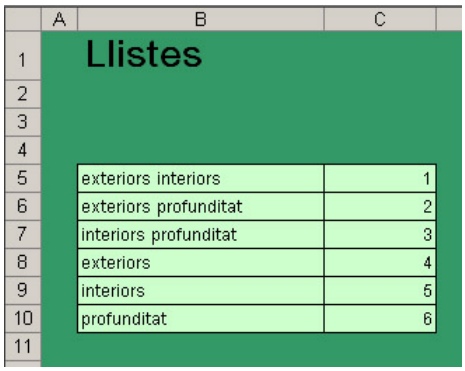
Els valors estables que ens seran d'utilitat els fixarem en aquesta pàgina, en concret, el període de calibratge dels patrons, a partir multiplicarem la seva deriva per temps(recordem que la deriva calculada era per un any, per tant, l'hauríem de multiplicar per 4), el defecte de planitud de la taula de mesures, per a les mesures de profunditat i per últim, l'equació que ens dona la incertesa dels anells en funció de la seva longitud.




*Llistes: Llistat dels tipus de calibratge*




Per últim tenim la llista de calibratges que ens apareix al menú desplegable inicial que trobem al full “dcisio”



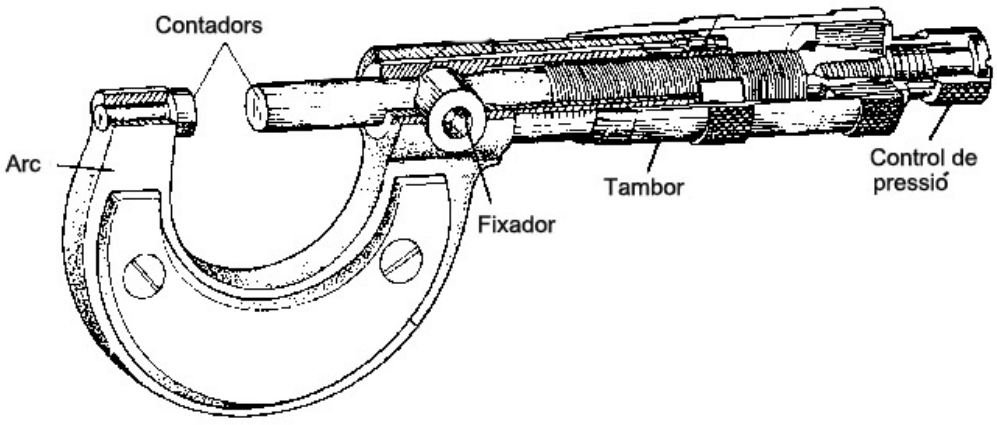
# 5 El Micròmetre

## 5.1 Descripció i funcionament

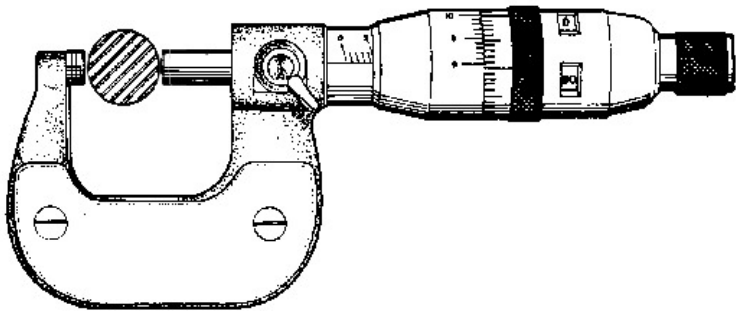
Utilitzem el micròmetre, en detriment del peu de rei, sobretot quan ens calen mesures més rigoroses i requerim de major precisió. El concepte és el mateix, en el cas del micròmetre el que fem és girar una rosca que controla el desplaçament del cilindre mòbil que ajusta les cares dels comptadors.

El micròmetre consta d'un arc de metall que incorpora un protector antitèrmic per tal de pal·liar els efectes de dilatació o contracció donats per possibles canvis de temperatura. El cilindre mòbil d'acer i les cares (comptadors) paral·leles i planes fetes de metall dur d'alta resistència al desgast. El fixador que permet bloquejar la mesura. Al contorn del micròmetre hi trobem l'escala gravada, també pot incloure una escala de Vernier.

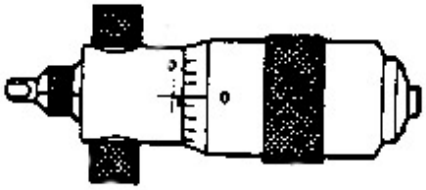
A diferència del peu de rei, en aquest cas ens caldrà un micròmetre diferent per a cada tipus de mesura, és a dir, un per a mesures exteriors un per a interiors i un altre per a profunditats, tots ells diferents.



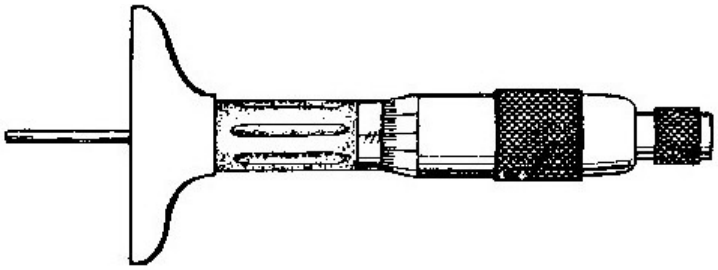

Amb el micròmetre d'exteriors el que farem serà col·locar la peça entre els cilindres de mesura i fer girar la rosca fins que les cares de mesura topin amb l'objecte en qüestió i llegirem la mesura.



En mesures interiors s'utilitzarà un altre micròmetre destinat específicament a aquesta finalitat. Seguirem el mateix procediment fent voltar la rosca però en aquest cas els cilindres aniran sortint cap enfora del micròmetre i toparan amb les cares internes de la peça que mesurem.



El darrer cas, el de la mesura d'una profunditat, farem el mateix que en els altres dos situant el peu del micròmetre en el punt inicial de mesura i allargant el cilindre de mesura per mitjà de la rosca, fins al punt final de la mesura, tot seguit, prendrem les dades que ens indiqui.



En funció de la utilitat que li haguem de donar, trobarem diferents tipus de micròmetres. A continuació se n'exposen dos exemples.

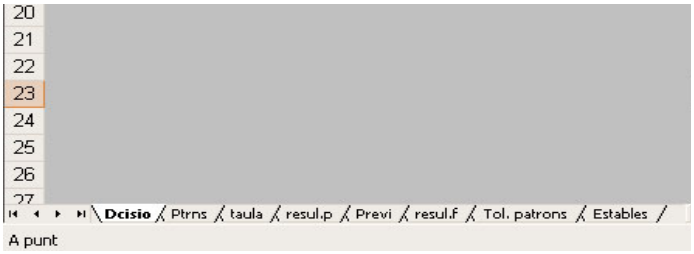
*Un micròmetre mecànic*

*Un micròmetre digital.*

## 5.2 Fulls de càlcul

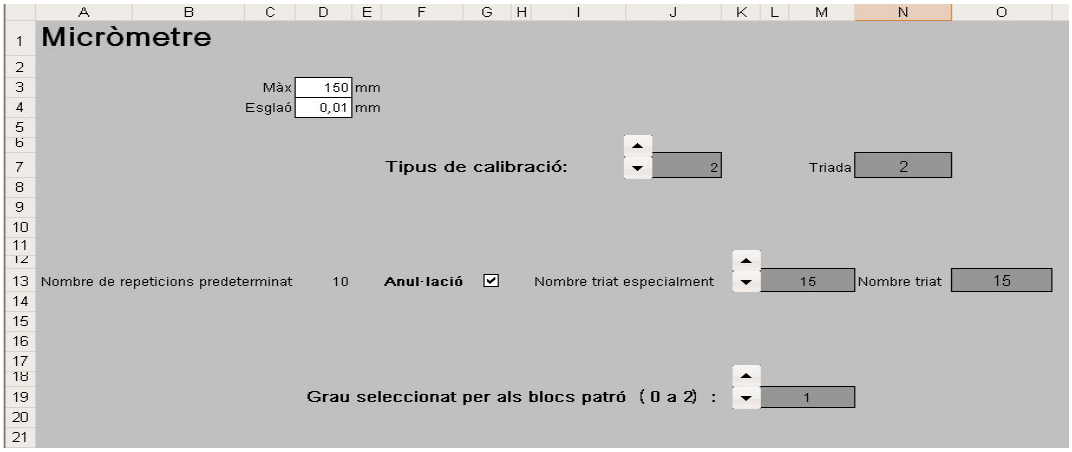
Per al calibratge d'un micròmetre d'exteriors caldrà que abans pensem com distribuirem el procediment que hem definit en les diferents fulles d'excel.
Per començar hi haurà un Full inicial (Dcisio) on prendrem les decisions inicials del calibratge. En segon lloc, la pàgina que gestionarà els blocs patró (mida i quantitat)(Ptrns). Tot seguit, la taula dinàmica on anotarem les mides que anem prenent amb l'equip de mesura(taula).

En tercer lloc els resultats parcials (resul.p), seguit dels resultats finals (Previ, resul.f). I per finalitzar, un full amb les taules de toleràncies dels blocs patró (Tol.patrons) i les dades estables del calibratge que es considerin interessants (Estables).



## 5.2.1 Presa de decisions

*Dcisio: Presa de decisions*




Habilitarem dues cel·les per tal de definir quin és l'abast màxim del micròmetre i la seva resolució i col·locarem un botó que permeti escollir entre tipus 1 i tipus 2.

En el camp "nombre triat" haurem de crear una funció que tingui en compte tres possibilitats. Quan el tipus de calibratge sigui 1, ha de mostrar per pantalla "10", en el cas que sigui de tipus 2, s'ha de mostrar un "1" i tots aquests casos queden cancel·lats en el cas que la casella d'anul·lació estigui habilitada ("true") perquè en aquest cas ha de presentar el valor que consti al camp "Nombre triat especialment".
Per això utilitzarem la funció condicional "SI" que presenta la forma:

SI(condició;acció si condició és certa; acció si condició és falsa)

En un principi podríem escriure a O13 el següent:

=SI(N7=1;1;10)

D'aquesta manera tindríem dues de les tres condicions, per tal de considerar les tres condicions realitzarem un altre condicional:

=SI(NO(G13);SI(N7=1;1;10);K13)

D'aquesta manera incloem les tres condicions. Inclourem un altre contador que vagi de 0

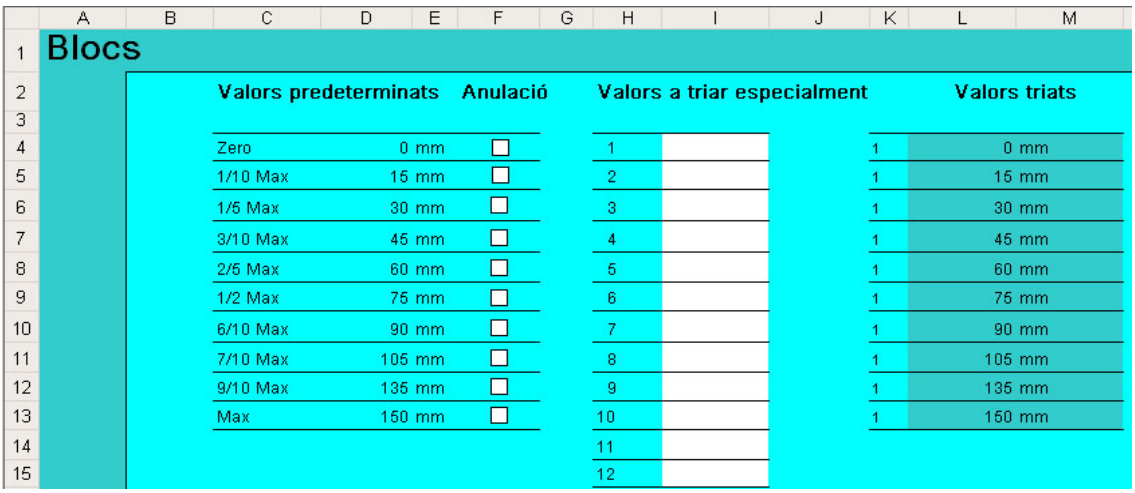
fins a 2 per a definir el grau de qualitat dels nostres patrons.

### 5.2.2 Mesures d'exteriors

*Ptrns: Tria dels blocs patró*

Dcisio | **Ptrns** | taula | resul.p | Previ | resul.f | Tol. patrons | Estables

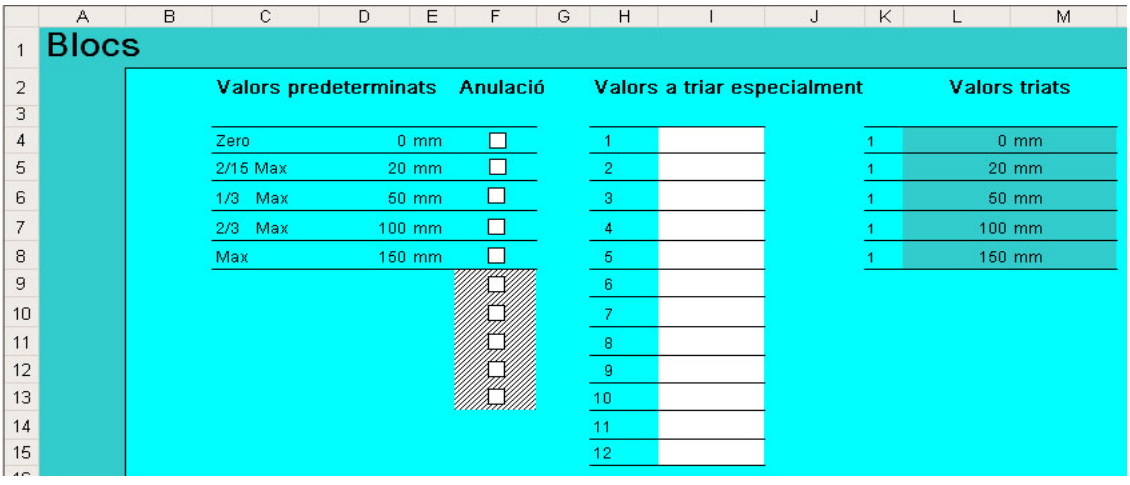
Tal i com hem vist hi haurà dues variants d'aquest full, una per cada tipus de calibratge
En el tipus 1:



**Blocs**

| Valors predeterminats | | Anulació | Valors a triar especialment | | Valors triats | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zero | 0 mm | ☐ | 1 | | 1 | 0 mm |
| 1/10 Max | 15 mm | ☐ | 2 | | 1 | 15 mm |
| 1/5 Max | 30 mm | ☐ | 3 | | 1 | 30 mm |
| 3/10 Max | 45 mm | ☐ | 4 | | 1 | 45 mm |
| 2/5 Max | 60 mm | ☐ | 5 | | 1 | 60 mm |
| 1/2 Max | 75 mm | ☐ | 6 | | 1 | 75 mm |
| 6/10 Max | 90 mm | ☐ | 7 | | 1 | 90 mm |
| 7/10 Max | 105 mm | ☐ | 8 | | 1 | 105 mm |
| 9/10 Max | 135 mm | ☐ | 9 | | 1 | 135 mm |
| Max | 150 mm | ☐ | 10 | | 1 | 150 mm |
| | | | 11 | | | |
| | | | 12 | | | |

I en el tipus 2:



**Blocs**

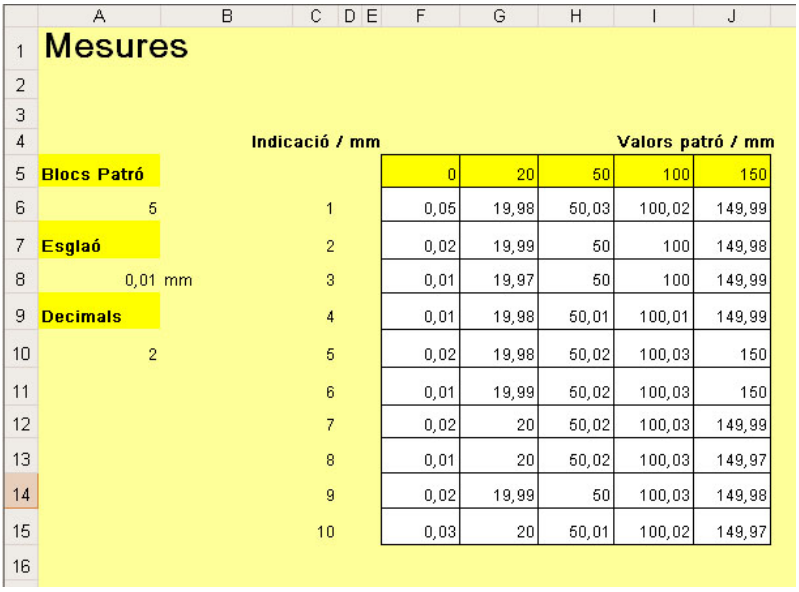
| Valors predeterminats | | Anulació | Valors a triar especialment | | Valors triats | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Zero | 0 mm | ☐ | 1 | | 1 | 0 mm |
| 2/15 Max | 20 mm | ☐ | 2 | | 1 | 20 mm |
| 1/3 Max | 50 mm | ☐ | 3 | | 1 | 50 mm |
| 2/3 Max | 100 mm | ☐ | 4 | | 1 | 100 mm |
| Max | 150 mm | ☐ | 5 | | 1 | 150 mm |
| | | ☐ | 6 | | | |
| | | ☐ | 7 | | | |
| | | ☐ | 8 | | | |
| | | ☐ | 9 | | | |
| | | ☐ | 10 | | | |
| | | | 11 | | | |
| | | | 12 | | | |

En tots dos casos es permet l'opció de substituir els valors dels blocs patró que no estiguin disponibles al laboratori així com la possibilitat d'afegir o treure'n.

*Taula: Anotació de les mesures*

Dcisio | Ptrns | **taula** | resul.p | Previ | resul.f | Tol. patrons | Estables

Crearem una taula que variï el seu format en funció del tipus de calibratge que estiguem utilitzant, en el calibratge de tipus 1, per defecte, constarà de 10 columnes i d'una sola filera. Si el calibratge que hem triat és de tipus 2 tindrem 5 columnes i 10 fileres.



**Mesures**

| | | | Indicació / mm | Valors patró / mm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Blocs Patró** | | | 0 | 20 | 50 | 100 | 150 |
| | 5 | | 1 | 0,05 | 19,98 | 50,03 | 100,02 | 149,99 |
| | **Esglaó** | | 2 | 0,02 | 19,99 | 50 | 100 | 149,98 |
| | 0,01 | mm | 3 | 0,01 | 19,97 | 50 | 100 | 149,99 |
| | **Decimals** | | 4 | 0,01 | 19,98 | 50,01 | 100,01 | 149,99 |
| | 2 | | 5 | 0,02 | 19,98 | 50,02 | 100,03 | 150 |
| | | | 6 | 0,01 | 19,99 | 50,02 | 100,03 | 150 |
| | | | 7 | 0,02 | 20 | 50,02 | 100,03 | 149,99 |
| | | | 8 | 0,01 | 20 | 50,02 | 100,03 | 149,97 |
| | | | 9 | 0,02 | 19,99 | 50 | 100,03 | 149,98 |
| | | | 10 | 0,03 | 20 | 50,01 | 100,02 | 149,97 |

*resulp: Resultats parcials*

Dcisio | Ptrns | taula | **resul.p** | Previ | resul.f | Tol. patrons | Estables

Per a cada tongada de mesures hem de calcular la mitjana dels resultats i la seva correcció, així com els errors que introdueixen els blocs patró, estem parlant de la deriva per temps i la tolerància que trobarem a partir de la taula i les equacions que anirem a cercar al full anomenat "Tol.patrons".

Un cop trobats aquests resultats per a cada bloc patró ja estarem en disposició de calcular les contribucions a la incertesa i finalment la incertesa total. En aquesta hi entren en joc les incerteses parcials degudes al bloc patró (és a dir, deriva per temps més tolerància), a la resolució pròpia del micròmetre a calibrar i evidentment, la incertesa aportada per les mesures que hem pres, o el que és el mateix, deguda a la desviació típica de les mesures.

Finalment, per trobar la incertesa expandida apliquem el coeficient d'Student que trobem a través de conèixer els graus efectius de llibertat amb l'equació de Welch-Satterthwaite. Aquests dos últims càlculs els realitzem amb les macros de visual basic a les que s'ha fet referència en l'apartat de càlculs del peu de rei.

# Resultats

Paràmetres del bloc patró

| | Valors patró /mm | Mitjana /mm | Correcció /mm | Deriva per temps /µm | Tolerància /µm |
|---|---|---|---|---|---|
| *0* | 0 | 0,02 | -0,02 | 0 | 0 |
| *1* | 20 | 19,988 | 0,012 | 0,18 | 0,3032 |
| *2* | 50 | 50,013 | -0,013 | 0,225 | 0,409 |
| *3* | 100 | 100,02 | -0,02 | 0,3 | 0,62 |
| *4* | 150 | 149,986 | 0,014 | 0,375 | 0,83 |

| Incertesa Resolució Ir /mm |
|---|
| 0,002886751 |

| | Incerteses típiques ( u) introduïdes per: | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Valors patró /mm | Deriva per temps /µm | Tolerància /µm | Desviació típica /mm | uc /mm | v | k | U/mm |
| 0 | 0 | 0 | 0,003944053 | 0,0048876 | 21,22576531 | 2,126313 | 0,010392625 |
| 20 | 0,103923048 | 0,175052602 | 0,003265986 | 0,0043637 | 28,680373 | 2,093328 | 0,009134551 |
| 50 | 0,129903811 | 0,23613626 | 0,003349959 | 0,0044304 | 27,53247963 | 2,096945 | 0,009290246 |
| 100 | 0,173205081 | 0,357957167 | 0,003944053 | 0,0049038 | 21,50770477 | 2,126313 | 0,010426965 |
| 150 | 0,216506351 | 0,479200723 | 0,003399346 | 0,0044906 | 27,40781488 | 2,096945 | 0,00941652 |

### 5.2.3 Resultats finals

*resul.f: Mostra els resultats finals*

\ Dcisio / Ptrns / taula / resul.p / Previ \ **resul.f** / Tol. patrons / Estables /

Un cop obtinguts els resultats parcials hem de presentar els resultats més importants en una nova pàgina. Això ho fem a través d'un full intermig que ens permet condicionar millor les dades.

Presentarem una taula amb els valors presos en cada un dels patrons, la seva mitjana i també la correcció. Serà interessant cercar el major valor d'incertesa en el full de mesures parcials per tal de presentar finalment el valor més elevat, és a dir, el cas més desfavorable. D'aquesta manera ens assegurarem que tota la resta de càlculs d'incertesa queden per sota.

| | A | B | C | D | E | F | G | H |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | RESULTATS | | | | | | | |
| 2 | Càlculs exteriors | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | Indicació $l_{iy}$ / mm | | | | |
| 6 | | Valors patró $i$ /mm | | 0 | 20 | 50 | 100 | 150 |
| 7 | | | | // | // | // | // | // |
| 8 | | | 1 | 0,05 | 19,98 | 50,03 | 100,02 | 149,99 |
| 9 | | | 2 | 0,02 | 19,99 | 50 | 100 | 149,98 |
| 10 | | | 3 | 0,01 | 19,97 | 50 | 100 | 149,99 |
| 11 | | | 4 | 0,01 | 19,98 | 50,01 | 100,01 | 149,99 |
| 12 | | Núm. d'iteració | 5 | 0,02 | 19,98 | 50,02 | 100,03 | 150 |
| 13 | | | 6 | 0,01 | 19,99 | 50,02 | 100,03 | 150 |
| 14 | | | 7 | 0,02 | 20 | 50,02 | 100,03 | 149,99 |
| 15 | | | 8 | 0,01 | 20 | 50,02 | 100,03 | 149,97 |
| 16 | | | 9 | 0,02 | 19,99 | 50 | 100,03 | 149,98 |
| 17 | | | 10 | 0,03 | 20 | 50,01 | 100,02 | 149,97 |
| 18 | | Mitjana Xci /mm | | 0,02 | 19,988 | 50,013 | 100,02 | 149,986 |
| 19 | | Correcció Cci /mm | | -0,02 | 0,01 | -0,01 | -0,02 | 0,01 |
| 20 | | | | | | | | |
| 21 | | Incertesa U /mm | | **0,01** | | | | |

### 5.2.4 Dades estables

*Tol.patrons: Incerteses dels blocs patró*

Dcisio / Ptrns / taula / resul.p / Previ / resul.f / **Tol. patrons** / Estables /

Aqui hi trobem la taula per al càlcul de la tolerància del bloc patró i l'equació que segueix la deriva per temps.

## Blocs Patró

| Longitud Nominal | | Desviacions al nominal i diferències de longitud màximes admisibles ( µm) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Patrons de grau K | | Patrons de grau 00 | | Patrons de grau 0 | | Patrons de grau 1 | | Patrons de grau 2 | |
| Més de | Fins a | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències | Desviacions | Diferències |
| 0,5 | 10 | 0,2 | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,12 | 0,1 | 0,2 | 0,16 | 0,45 | 0,3 |
| 10 | 25 | 0,3 | 0,05 | 0,07 | 0,05 | 0,14 | 0,1 | 0,3 | 0,16 | 0,6 | 0,3 |
| 25 | 50 | 0,4 | 0,06 | 0,1 | 0,06 | 0,2 | 0,1 | 0,4 | 0,18 | 0,8 | 0,3 |
| 50 | 75 | 0,5 | 0,06 | 0,12 | 0,06 | 0,25 | 0,12 | 0,5 | 0,18 | 1 | 0,35 |
| 75 | 100 | 0,6 | 0,07 | 0,14 | 0,07 | 0,3 | 0,12 | 0,6 | 0,2 | 1,2 | 0,35 |
| 100 | 150 | 0,8 | 0,08 | 0,2 | 0,08 | 0,4 | 0,14 | 0,8 | 0,2 | 1,6 | 0,4 |
| 150 | 200 | 1 | 0,09 | 0,25 | 0,09 | 0,5 | 0,16 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 |
| 200 | 250 | 1,2 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,6 | 0,16 | 1,2 | 0,25 | 2,4 | 0,45 |
| 250 | 300 | 1,4 | 0,1 | 0,35 | 0,1 | 0,7 | 0,18 | 1,4 | 0,25 | 2,8 | 0,5 |
| 300 | 400 | 1,8 | 0,12 | 0,45 | 0,12 | 0,9 | 0,2 | 1,8 | 0,3 | 3,6 | 0,5 |
| 400 | 500 | 2,2 | 0,14 | 0,5 | 0,14 | 1,1 | 0,25 | 2,2 | 0,35 | 4,4 | 0,6 |
| 500 | 600 | 2,6 | 0,16 | 0,6 | 0,16 | 1,3 | 0,25 | 2,6 | 0,4 | 5 | 0,7 |
| 600 | 700 | 3 | 0,18 | 0,7 | 0,18 | 1,5 | 0,3 | 3 | 0,45 | 6 | 0,7 |
| 700 | 800 | 3,4 | 0,2 | 0,8 | 0,2 | 1,7 | 0,3 | 3,4 | 0,5 | 6,5 | 0,8 |
| 800 | 900 | 3,8 | 0,2 | 0,9 | 0,2 | 1,9 | 0,35 | 3,8 | 0,5 | 7,5 | 0,9 |
| 900 | 1000 | 4,2 | 0,25 | 1 | 0,25 | 2 | 0,4 | 4,2 | 0,6 | 8 | 1 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Deriva grau K, 0 | 0,02 µm | + | 0,00025 l/mm |
| Deriva grau 1, 2 | 0,05 µm | + | 0,0005 l/mm |

*Estables: dades estables*

Dcisio / Ptrns / taula / resul.p / Previ / resul.f / Tol. patrons / **Estables** /

Finalment, el període de calibratge dels patrons que ens determinarà el factor pel que hem de multiplicar la deriva per temps i en acabat el defecte de planitud de la taula de mesures, en el cas que sigui una dada rellevant.

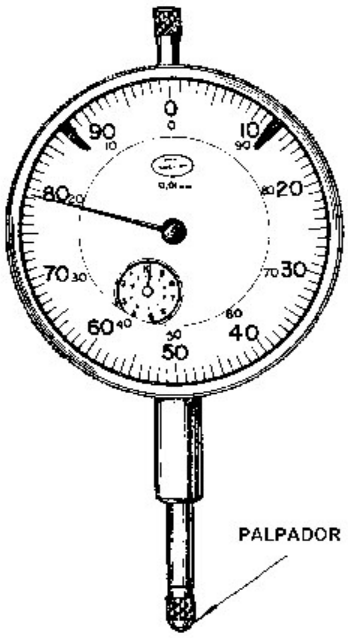
## Estables

| | | | |
|---|---|---|---|
| Període de calibratge dels patrons | 3 | anys | |
| Defecte de planitud de la taula | 4 | µm | |

# 6 El comparador

## 6.1 Descripció i funcionament

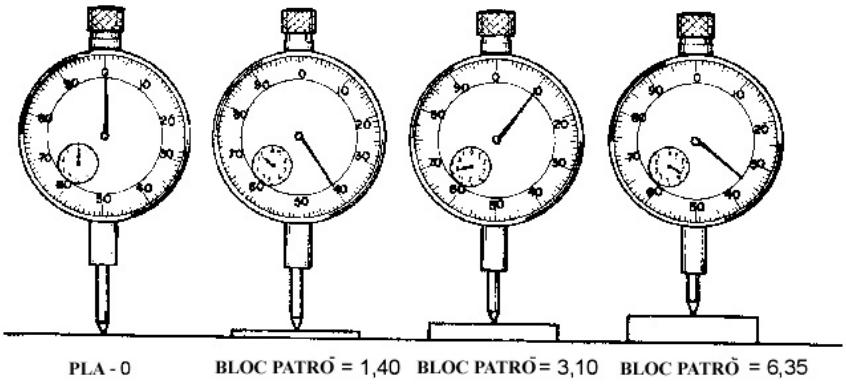
El comparador és un instrument de precisió que presenta una gran sensibilitat. És emprat tant en la verificació de mesures, superfícies planes, concentricitat o paral·lelisme com en la presa de mesures de lectura directa.




Està format per una caixa metàl·lica de forma circular on s'hi troba allotjat un marcador circular amb una agulla. El travessa un eix acabat en un dels seus extrems per un palpador de metall dur. A l'interior hi trobem uns engranatges que transmeten el moviment del palpador.

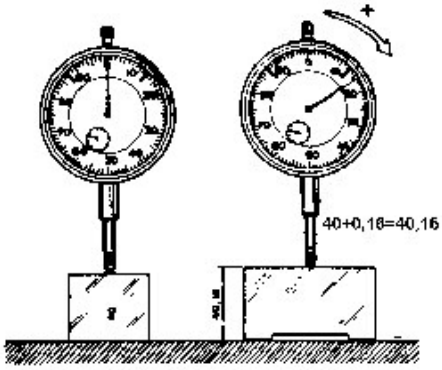
La punta del palpador es posa en contacte amb la peça, això provoca un moviment axial de tot l'eix com si fos un pistó i aquest moviment es transmet als engranatges interns del comparador que a la vegada amplifiquen el moviment i fan girar l'agulla.

El moviment de l'agulla ens marca el desplaçament que a patit el palpador

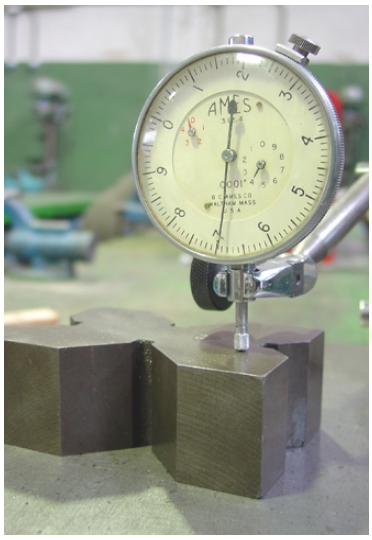



Els valors son indicats per mitjà de dos punters de mides diferents. El punter gran, que està col·locat al centre del mostrador està dividit en 100 parts, indica valors de centèssima en centèssima de mil·límetre i cada volta complerta significa que el palpador s'ha mogut un mil·límetre. El punter petit, habitualment descentrat, marca de mil·límetre en mil·límetre i una volta completa equival a la capacitat total de l'aparell.

Les comparacions ens poden servir per a determinar la mesura de les peces mitjançant blocs patró metàl·lics com els que s'empren en peus de rei o micròmetres.



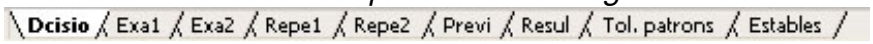

*Un exemple de càlcul d'una peça mitjançant una comparació amb un bloc patró.*

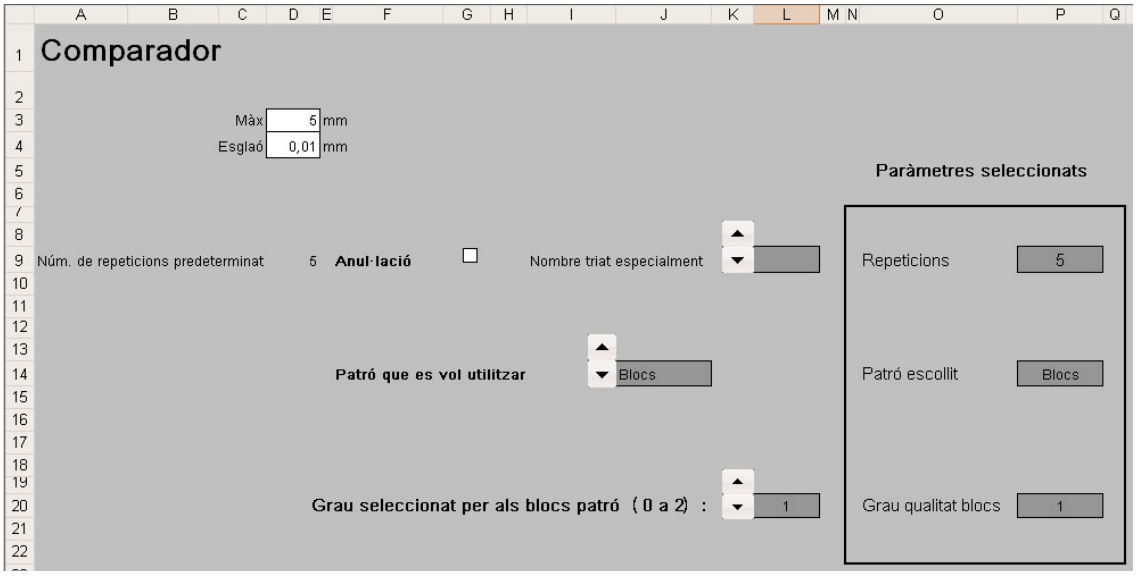


## 6.2 Fulls de càlcul

### 6.2.1 Presa de decisions

*Dcisio: Decisions sobre l'aparell i el calibratge*




Habilitarem dues caselles per tal d'entrar els valors d'abast màxim i de resolució del comparador.

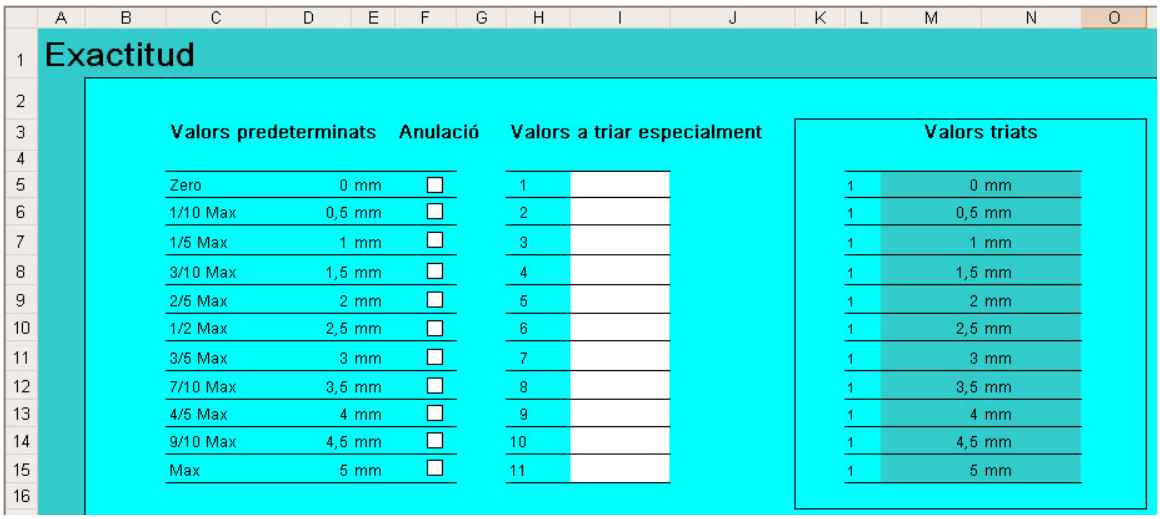
Tot seguir s'ha de proposar un nombre determinat de repeticions per al càlcul de repetibilitat. La nostra suggerència serà de 5 repeticions però haurem de permetre variar aquest valor. Ho farem per mitjà d'una casella de selecció que permeti anul·lar el valor predefinit i d'un botó de control de número per tal d'incrementar aquesta xifra. Haurem de tenir en compte també tots els formats condicionals que hi ha associats i que han d'indicar quan hi hagi el botó d'anul·lació pressionat i no s'hagi triat el nombre de repeticions.

A continuació un apartat per a decidir si utilitzem blocs patró o bé el banc de mesures, en aquest segon cas, el pas següent queda inhabilitat. També una tria del grau de qualitat dels blocs patró mitjançant un botó de control de número.

### 6.2.2 Mesures parcials d'exactitud i repetibilitat

*Exa1: Tria de blocs patró*

Dcisio | **Exa1** | Exa2 | Repe1 | Repe2 | Previ | Resul | Tol. patrons | Estables

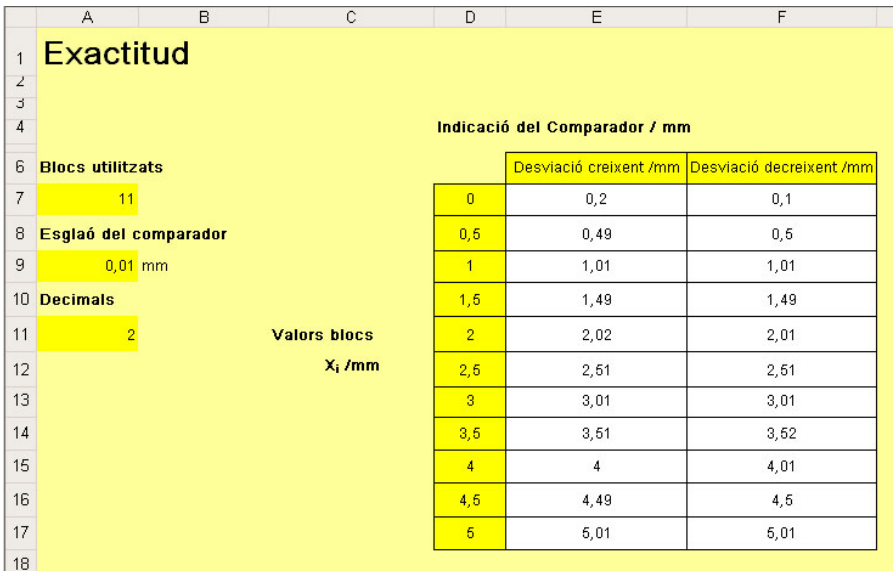



Presentarem un seguit de mides que s'adaptin a l'abast màxim del comparador que hem indicat al començament. En cas que es consideri que no són les mides de blocs patró adients es podrà variar el seu valor, així com disminuir-ne el nombre. Per defecte en son 11.
Mitjançant botons de control anul·larem o habilitarem un bloc patró.
En el cas que no utilitzem blocs i haguem escollit un banc de mesures igualment gestionarem els valors on realitzarem les mesures en aquets apartat.

*Exa2: Presa de dades*

Dcisio | Exa1 | **Exa2** | Repe1 | Repe2 | Previ | Resul | Tol. patrons | Estables

Passarem a realitzar les dues proves d'exactitud i per això caldrà una taula com la que es mostra a continuació que presentarà sempre dues columnes i un nombre de files que variarà en funció de les repeticions que haguem escollit.

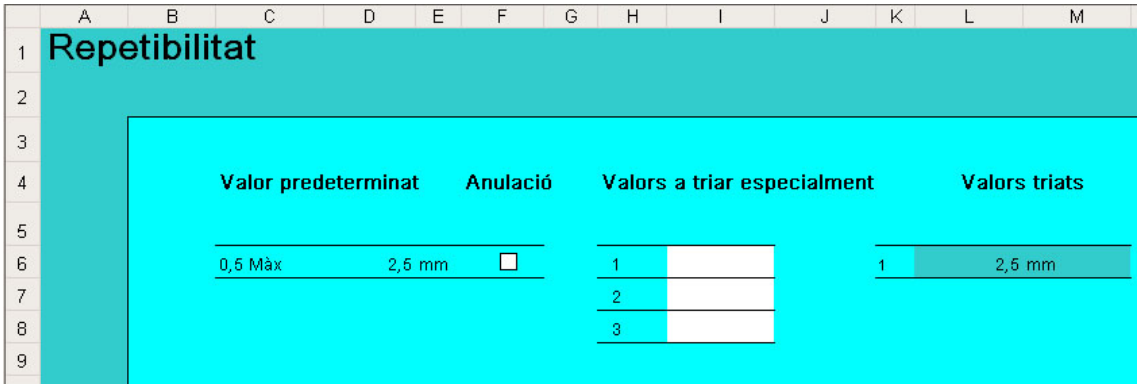


Exactitud

| Blocs utilitzats | | Indicació del Comparador / mm | | |
|---|---|---|---|---|
| 11 | | | Desviació creixent /mm | Desviació decreixent /mm |
| Esglaó del comparador | | 0 | 0,2 | 0,1 |
| 0,01 mm | | 0,5 | 0,49 | 0,5 |
| Decimals | | 1 | 1,01 | 1,01 |
| | | 1,5 | 1,49 | 1,49 |
| 2 | Valors blocs | 2 | 2,02 | 2,01 |
| | $X_i$ /mm | 2,5 | 2,51 | 2,51 |
| | | 3 | 3,01 | 3,01 |
| | | 3,5 | 3,51 | 3,52 |
| | | 4 | 4 | 4,01 |
| | | 4,5 | 4,49 | 4,5 |
| | | 5 | 5,01 | 5,01 |

*Repe1: Tria de blocs patró*

Dcisio | Exa1 | Exa2 | **Repe1** | Repe2 | Previ | Resul | Tol. patrons | Estables



Repetibilitat

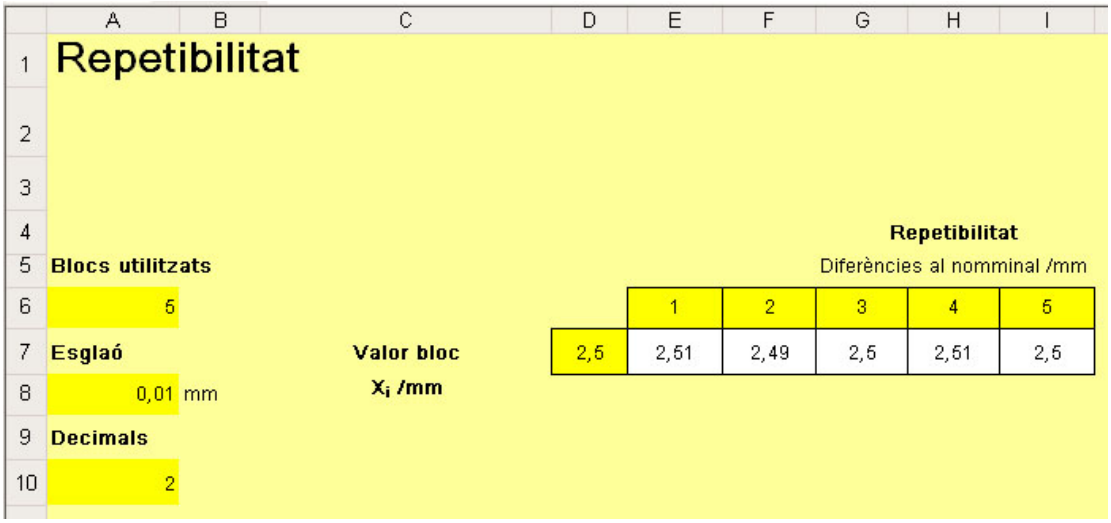
| Valor predeterminat | | Anulació | Valors a triar especialment | | Valors triats | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,5 Màx | 2,5 mm | ☐ | 1 | | 1 | 2,5 mm |
| | | | 2 | | | |
| | | | 3 | | | |

Per defecte , tal i com hem vist, apareixerà un sol bloc patró sobre el qual aplicarem les repeticions posteriorment. El programa, però, dona la possibilitat d'incorporar-ne fins a tres en el cas que sigui necessari.

*Repe2: Anotació de mesures*

Dcisio | Exa1 | Exa2 | Repe1 | **Repe2** | Previ | Resul | Tol. patrons | Estables

En aquest cas la taula per defecte presentarà una sola filera i tantes columnes com repeticions haguem seleccionat.



**Repetibilitat**

| | |
|---|---|
| **Blocs utilitzats** | 5 |
| **Esglaó** | 0,01 mm |
| **Decimals** | 2 |

| **Valor bloc** $X_i$ /mm | Repetibilitat: Diferències al nomminal /mm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 2,5 | 2,51 | 2,49 | 2,5 | 2,51 | 2,5 |

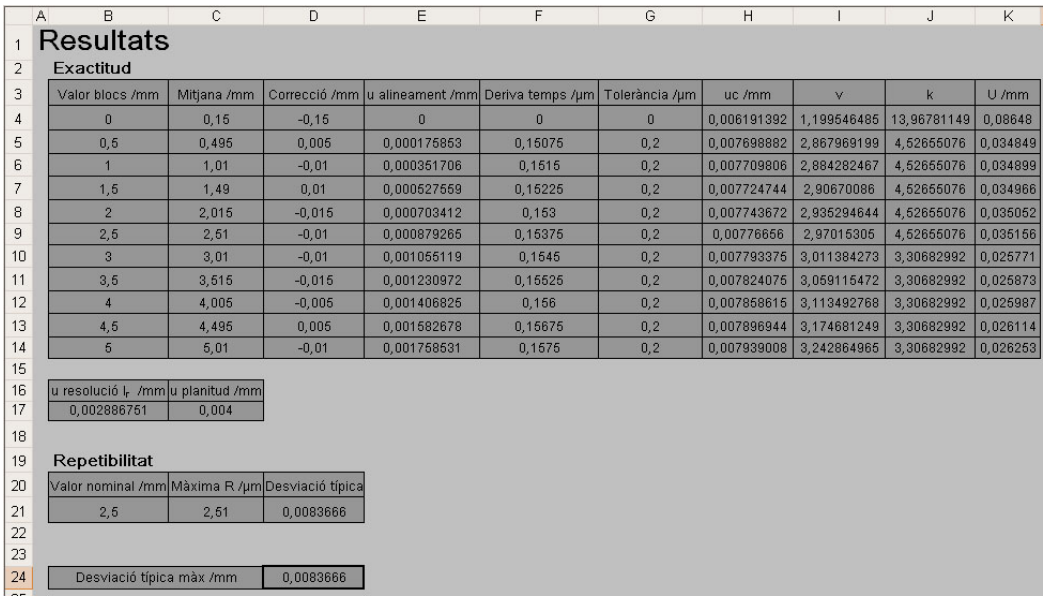
*Previ: Prèvia dels resultats finals*

Dcisio | Exa1 | Exa2 | Repe1 | Repe2 | **Previ** | Resul | Tol. patrons | Estables

Expressarem resultats tant per a les mesures d'exactitud com per a les de repetibilitat. En les d'exactitud hi constarà, la mitjana dels dos valors que hem pres en cada bloc patró (ascendent i descendent) i la seva correcció.

En les mesures amb el comparador hi intervenen noves fonts d'error, s'han de tenir en compte, tant el defecte de planitud de la taula com l'angle de desalineament, ambdós introduïts a causa de la forma com prenem les mesures amb el comparador.

Així doncs, el que voldrem obtenir finalment, serà la incertesa associada a cada mesura d'exactitud que hem fet, i la desviació típica que presenta la prova de repetibilitat.



**Resultats**

Exactitud

| Valor blocs /mm | Mitjana /mm | Correcció /mm | u alineament /mm | Deriva temps /µm | Tolerància /µm | uc /mm | v | k | U /mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,15 | -0,15 | 0 | 0 | 0 | 0,006191392 | 1,199546485 | 13,96781149 | 0,08648 |
| 0,5 | 0,495 | 0,005 | 0,000175853 | 0,15075 | 0,2 | 0,007698882 | 2,867969199 | 4,52655076 | 0,034849 |
| 1 | 1,01 | -0,01 | 0,000351706 | 0,1515 | 0,2 | 0,007709806 | 2,884282467 | 4,52655076 | 0,034899 |
| 1,5 | 1,49 | 0,01 | 0,000527559 | 0,15225 | 0,2 | 0,007724744 | 2,90670086 | 4,52655076 | 0,034966 |
| 2 | 2,015 | -0,015 | 0,000703412 | 0,153 | 0,2 | 0,007743672 | 2,935294644 | 4,52655076 | 0,035052 |
| 2,5 | 2,51 | -0,01 | 0,000879265 | 0,15375 | 0,2 | 0,00776656 | 2,97015305 | 4,52655076 | 0,035156 |
| 3 | 3,01 | -0,01 | 0,001055119 | 0,1545 | 0,2 | 0,007793375 | 3,011384273 | 3,30682992 | 0,025771 |
| 3,5 | 3,515 | -0,015 | 0,001230972 | 0,15525 | 0,2 | 0,007824075 | 3,059115472 | 3,30682992 | 0,025873 |
| 4 | 4,005 | -0,005 | 0,001406825 | 0,156 | 0,2 | 0,007858615 | 3,113492768 | 3,30682992 | 0,025987 |
| 4,5 | 4,495 | 0,005 | 0,001582678 | 0,15675 | 0,2 | 0,007896944 | 3,174681249 | 3,30682992 | 0,026114 |
| 5 | 5,01 | -0,01 | 0,001758531 | 0,1575 | 0,2 | 0,007939008 | 3,242864965 | 3,30682992 | 0,026253 |

| u resolució $I_r$ /mm | u planitud /mm |
|---|---|
| 0,002886751 | 0,004 |

Repetibilitat

| Valor nominal /mm | Màxima R /µm | Desviació típica |
|---|---|---|
| 2,5 | 2,51 | 0,0083666 |

| Desviació típica màx /mm | 0,0083666 |
|---|---|

### 6.2.3 Resultats finals

Dcisio | Exa1 | Exa2 | Repe1 | Repe2 | Previ | **Resul** | Tol. patrons | Estables

Presentarem la taula “Exa2” amb els valors mesurats en la desviació creixent i la decreixent i la taula que acabem de veure de repetibilitat. Finalment calcularem quin ha estat el cas que ha presentat una major incertesa i la presentarem al full de resultats

| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | | | | | |
| 2 | RESULTATS | | | | |
| 4 | Exactitud | | | | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | | **Indicació del Comparador / mm** | |
| 7 | | | | | |
| 8 | | | **Valors blocs** | **Desviació** | **Desviació** |
| 9 | | | **Xi /mm** | **creixent /mm** | **decreixent /mm** |
| 10 | | | 0 | 0,2 | 0,1 |
| 11 | | | 0,5 | 0,49 | 0,5 |
| 12 | | | 1 | 1,01 | 1,01 |
| 13 | | | 1,5 | 1,49 | 1,49 |
| 14 | | | 2 | 2,02 | 2,01 |
| 15 | | | 2,5 | 2,51 | 2,51 |
| 16 | | | 3 | 3,01 | 3,01 |
| 17 | | | 3,5 | 3,51 | 3,52 |
| 18 | | | 4 | 4 | 4,01 |
| 19 | | | 4,5 | 4,49 | 4,5 |
| 20 | | | 5 | 5,01 | 5,01 |
| 21 | | | | | |
| 22 | | | | | |
| 23 | | | | | |
| 24 | | | | | |
| 25 | Repetibilitat | | | | |
| 26 | | | | | |
| 27 | | | | **Indicació del Comparador / mm** | |
| 28 | | | | | |
| 29 | | | **Valors blocs** | **Màxima R** | **Desviació típica** |
| 30 | | | **Xi /mm** | **/µm** | **/mm** |
| 31 | | | 2,5 | 2,51 | 0,0083666 |
| 32 | | | | | |
| 33 | | | | | |
| 34 | | | **Desviació típica màx /mm** | | 0,0083666 |
| 35 | | | | | |
| 37 | | | | | |
| 38 | | | | | |
| 39 | | | Màxima incertesa *U* /mm | | **0,09** |

### 6.2.4 Dades estables

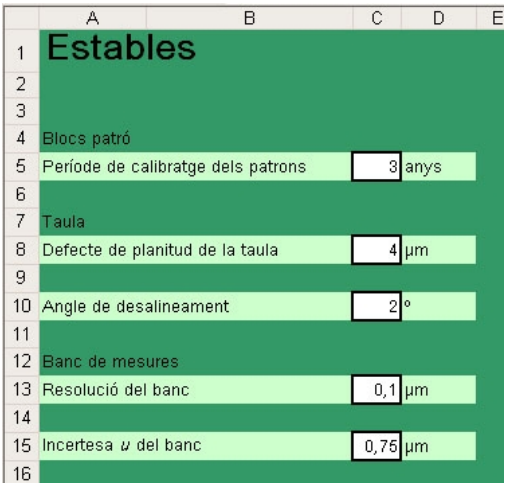
*Tol.patrons: Incerteses dels patrons*

Dcisio | Exa1 | Exa2 | Repe1 | Repe2 | Previ | Resul | **Tol. patrons** | Estables

Adjuntarem al final la taula per al càlcul de les toleràncies i les derives per temps dels blocs patró i a continuació un full dedicat a les dades estables referents als blocs patró (període de calibratge), a la taula de planitud (defecte de planitud i angle de desalineament) i al banc de mesures (resolució i incertesa).

*Estables: Paràmetres estables*

Dcisio | Exa1 | Exa2 | Repe1 | Repe2 | Previ | Resul | Tol. patrons | **Estables**



| | A | B | C | D | E |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Estables | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | Blocs patró | | | | |
| 5 | | Període de calibratge dels patrons | 3 | anys | |
| 6 | | | | | |
| 7 | Taula | | | | |
| 8 | | Defecte de planitud de la taula | 4 | µm | |
| 9 | | | | | |
| 10 | | Angle de desalineament | 2 | º | |
| 11 | | | | | |
| 12 | Banc de mesures | | | | |
| 13 | | Resolució del banc | 0,1 | µm | |
| 14 | | | | | |
| 15 | | Incertesa *u* del banc | 0,75 | µm | |
| 16 | | | | | |

# 7 Problemàtica

Fet el plantejament inicial, queda clar que com en tot procés, aniran apareixent problemes o dubtes que no s'havien tingut en compte des de bon començament, ja sigui perquè s'han escapat del plantejament inicial, o bé a causa del desconeixement sobre certs punts. Sigui com sigui, és bo anar anotant els problemes i les dificultats que van sorgint al llarg de tot el procés i si s'hi escau, les mesures que s'han pres per a reconduir la seva elaboració.

Arribats a cert punt, va quedar clar que caldria utilitzar certes operacions que s'escapaven una mica de les que oferia l'excel pròpiament. Aquestes operacions realitzaven càlculs com ara distribucions estadístiques o graus de llibertat.

Donada la situació es va creure que el més adient seria aprofitar la possibilitat que ofereix el mateix programa per a treballar amb macros de VisualBasic. Això permetia solucionar el problema inicial d'una forma senzilla i integrant totes les equacions auxiliars en el propi programa.

D'altra banda, el fet de descobrir aquesta possibilitat va obrir, més endavant, la realització del programa de calibratge íntegrament amb Vbasic. Per començar, quedaven clares les limitacions d'excel, sobretot a l'hora de gestionar taules dinàmiques ja que calia tractar a cada cel·la com a una entitat individual i això impedia treballar amb total llibertat, les variacions de fileres i/o columnes.

A banda, no deixava de ser un arxiu *.xsl que no permetia gestionar-lo com un programa, si no que era un arxiu d'excel, amb les seves limitacions. En el cas del Vbasic, teniem més llibertat a l'hora de generar un fitxer executable amb una presentació més correcta i més robusta.

# 8 Millora: Aplicació amb Vbasic

## 8.1 Plantejament inicial

A grans trets el que s'ha planificat es basa en dur a terme una aplicació executable mitjançant l'eina de programació VBasic. Degut a les limitacions que presenta excel s'ha optat per a realitzar aquesta millora.

El programa seguirà un guió similar al que s'ha vist anteriorment per al micròmetre d'exteriors, amb algunes diferències.

## 8.2 Punts a millorar respecte la versió anterior

Per començar, s'ha procurat que representi una millora en la **facilitat d'ús** de cara al tècnic que hagi d'operar amb ell. Així com amb excel quedava molt limitada la possibilitat d' encaminar l'usuari, fent aparèixer avisos d'error o alertant que algun camp important havia quedat buit, en VBasic es pot jugar amb les caixes de diàleg i privar a l'usuari de seguir avançant per l'aplicació si abans no ha fet tots els passos previs que pertoquen. D'aquesta manera s'evita fàcilment que un possible descuit per part del tècnic pugui suposar una lectura dels resultats errònia. Això és molt important de cara a garantir que apareguin uns resultats correctes i fiables al final del calibratge.

Un altre punt que s'ha millorat és el de **dades estables**. En aquest apartat és en el que en guardaven tota una sèrie de valors i d'equacions necessàries per al calibratge i que eren les mateixes per a tots els calibratges, no obstant això, calia deixar oberta la possibilitat de variar-ne el resultat ja que una actualització del procediment o una variació en el plantejament del calibratge podia fer que els valors es veiessin alterats.
En aquesta ocasió, en lloc d'aparèixer en un full d'excel s'ha optat per incloure'ls en un document de text addicional i que no cal obrir ni editar en cap moment, excepte el dia que es decideixi variar les dades estables. D'aquesta manera s'aconsegueix alliberar del programa en sí, que s'utilitzarà en el dia a dia, informació excessiva o que cal revisar tan sols en comptades ocasions.

Un altre punt en el que s'ha incidit és en l'apartat d'**impressió**. S'ha creat una plantilla que configura la pàgina a partir de les dades que s'han introduït. A l'hora d'imprimir tan sols cal prémer un botó i el mateix programa ja recopilarà els camps d'informació que cal allotjar a la pàgina de resultats i els imprimirà.

Per tal de presentar un resultat en format paper s'ha decidit crear un **formulari inicial** en el que s'introduiran dades del client, el tècnic, el dispositiu etc per tal de imprimir també una pàgina amb aquesta informació a banda dels resultats del calibratge.

## 8.3 Estructura

Estructuralment és molt similar a la versió anterior. Presenta una sèrie de pàgines que van apareixent una rere l'altra, en aquest cas, en lloc de ser fulls d'excel es tracta de finestres de windows. Per això crearem formularis de VBasic, un per cada finestra que vulguem que tingui el programa.
Definirem, doncs, 5 formularis principals, els seus noms tindran un prefix que els identifica com a formularis (prefix "fri"), seguit del seu nom.
Aquesta regla també s'aplica amb tots els controls, el seu nom ve precedit per un prefix que no és més que una abreviatura del nom que rep en anglès i que l'identifica com a tal. Les caixes de text, per exemple (en anglès text box), reben el prefix "txt" i els botons (en anglès command button), "cmd". Val a dir que aquest és un protocol que se segueix generalment, tot i que, en última instància, sempre queda a les mans del programador
Tot seguit entrarem en matèria sobre els formularis que s'han creat.
En primer lloc caldran un parell de formularis per tal de satisfer els passos previs al calibratge en sí, un, d'entrada de paràmetres i un altre, per a la presa de decisions
En el primer hi haurà una sèrie de camps que caldrà complimentar amb dades, tant del client, com de l'aparell que calibrarem i en el segon, es prendran les decisions sobre tipus de calibratge, mida de blocs patró etcètera.
S'ha procurat que tot el que son paràmetres que cal omplir o decisions que cal prendre es trobin a l'inici del programa, d'aquesta manera, es defineixen millor els blocs de treball i es concentra la tasca més feixuga, als passos inicials.

Tot seguit ja entrem en la presa de mesures amb al micròmetre. Per això es generarà una taula d'unes dimensions que dependran directament del pas anterior de presa de decisions.
A continuació un formulari de resultats parcials en el que no es podrà escriure, tan sols serà de lectura i finalment, el formulari de resultats finals i impressió.

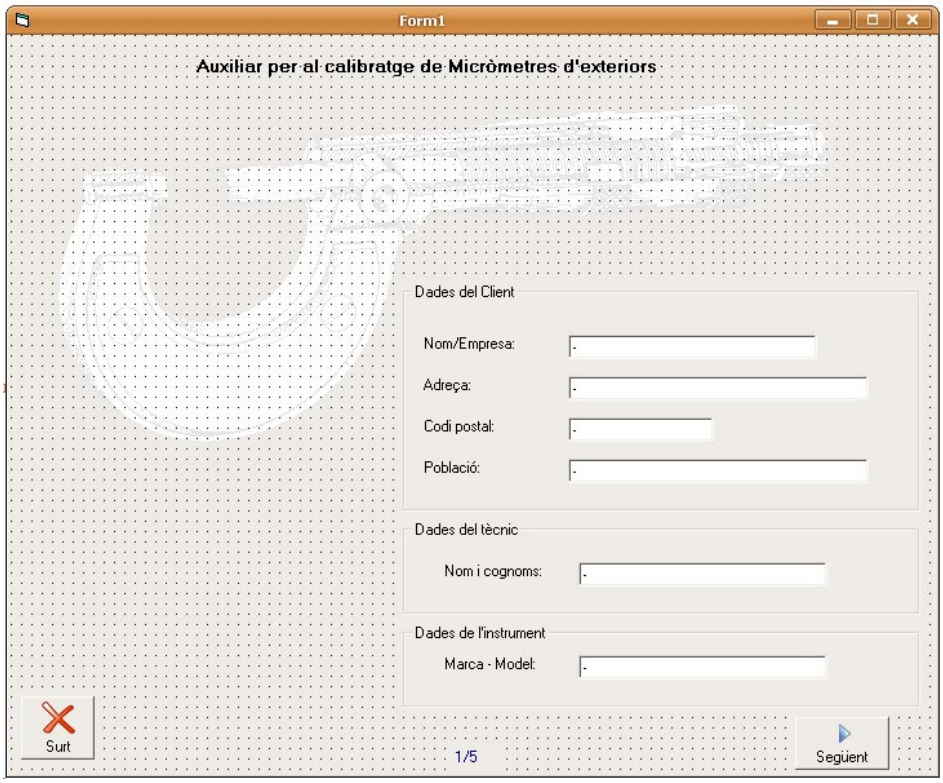
A banda d'aquests 5 formularis en caldran dos més que seran finestres de decisió, necessàries com a mitjà de seguretat a l'hora de prendre les decisions d'imprimir i de crear l'arxiu de text.

## 8.4 Formularis

A continuació podem veure la finestra de projecte del visual basic on hi ha el llistat dels 7 formularis que s'han comentat.

### 8.4.1 Entrada de paràmetres – friInicial

En primer lloc crearem el formulari “friInicial” que serà el que haurà d’aparèixer al executar el programa de calibratge.
Aquest formulari constarà de tres marcs “frames” que ens distingiran tres tipus de dades. Les referents al client, les del tècnic i les de l’instrument que serà sotmès a calibratge. Per a l’entrada de les dades només cal col·locar caixes de text “textBox” i etiquetes a cada una d’elles.
A banda d’això, dos botons, un per passar al següent formulari i un per sortir del programa.
Per tal de facilitar la navegació per dins el programa en cada formulari s’inclourà una etiqueta marcant el número de formulari al que ens trobem dins els 5 formularis totals.



### 8.4.2 Presa de decisions – friDades

Tot seguit apareix la plantilla per a la presa de decisions. Podem dividir el formulari en dues meitats:

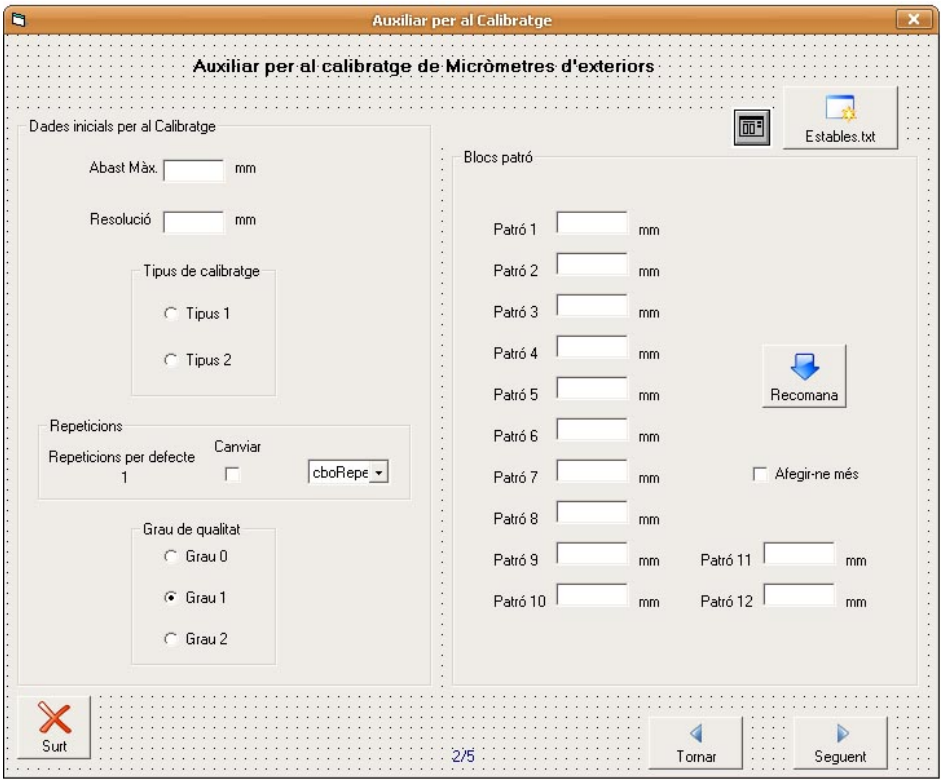
Al quadrant esquerre començarem incloent dues caixes de text per a l'abast màxim del micròmetre i per la seva resolució. A continuació, mitjançant botons de presa de decisió "OptionButton" fem el menú per a triar el tipus de calibratge, de tipus 1 o bé, de tipus 2.
Seguidament, el nombre de repeticions que, d'entrada s'assignarà automàticament en funció de la decisió presa sobre el tipus de calibratge. Recordem que tal i com s'explica en el procediment del micròmetre, en el Tipus 1 el nombre de repeticions es fixa a una i en el cas de Tipus 2, en deu. Tot i això es dona marge per escollir-ne entre una i deu en qualsevol dels dos tipus de calibratge. Això es fa mitjançant una caixa de verificació "ChkBox" i una caixa desplegable "ComboBox" habilitades per aquest fi. Per tal que aparegui el menú desplegable caldrà, abans, activar la caixa de verificació.

A banda, s'inclourà un menú amb tres botons de selecció "OptionButton" com els que s'han emprat en el tipus de calibratge, per tal de decidir el grau de qualitat dels blocs patró

El quadrant esquerre estarà dedicat als blocs patró. Trobarem una primera columna de caixes de text per tal de definir les seves mides. Aquesta columna té una mida variable, depenent del tipus de calibratge que haguem escollit, tipus 1 significa que hi haurà d'haver tots deu patrons i tipus 2 que només n'hi haurà 5. Independentment d'això, sempre se'n podran afegir dos més mitjançant la caixeta de verificació que farà que es pugui arribar a un màxim de 12 blocs patró.

Seguint la filosofia de facilitar a l'usuari la tasca s'ha inclòs un botó destinat a omplir els camps amb els mateixos valors definits al procediment del peu de rei. Aquestes xifres no deixen de ser un suggeriment de les mides que poden tenir els blocs patró per tal de cobrir satisfactòriament tot el marge d'abast del micròmetre.

A la part inferior també cal pensar en els botons per a passar al següent formulari, tornar enrere i sortir.




Abans de passar al següent apartat cal parlar del tractament que es farà de les dades estables.

El plantejament, sorgeix a partir de la necessitat de mantenir emmagatzemades, d'alguna manera, un seguit de dades imprescindibles per al calibratge i que han de poder esser editades, si així es creu convenient, en un moment determinat. Aquestes dades fa referència a les incerteses dels blocs patró i al seu calibratge periòdic.

Després de valorar les diferents possibilitats, i tenint en compte que no es tracta d'un gruix important de dades, s'ha optat per a generar un fitxer de text pla *.txt que emmagatzemi aquestes xifres i que al mateix temps, permeti ser editat i guardat de nou, sempre, respectant el seu format de dades.

A grans trets, l'arxiu constarà d'una capçalera amb informació sobre com s'organitza el seu contingut i sobre com editar-lo i tot seguit, l'ultima línia de text que serà la que llegirà el programa de calibratge

El format de la darrera línia, que és la que ens interessa i la que editarem quan es doni el cas, consta d'11 camps de 10 caràcters cadascun, l'últim caràcter del document ha de ser l'últim caràcter del darrer camp.

Els 6 primers camps corresponen a Constants de Tolerància dels blocs patró (A /mm + B /µm) x3 ordenats de més a menys grau de qualitat Grau0-Grau1-Grau2
Els camps de 7 al 10 son les constants de Derives per Temps (A /mm + B /µm)x2 ordenats de més a menys grau de qualitat Grau 0 - Grau 1,2
L'onzè camp correspon al període de calibratge dels blocs patró expressat en anys.

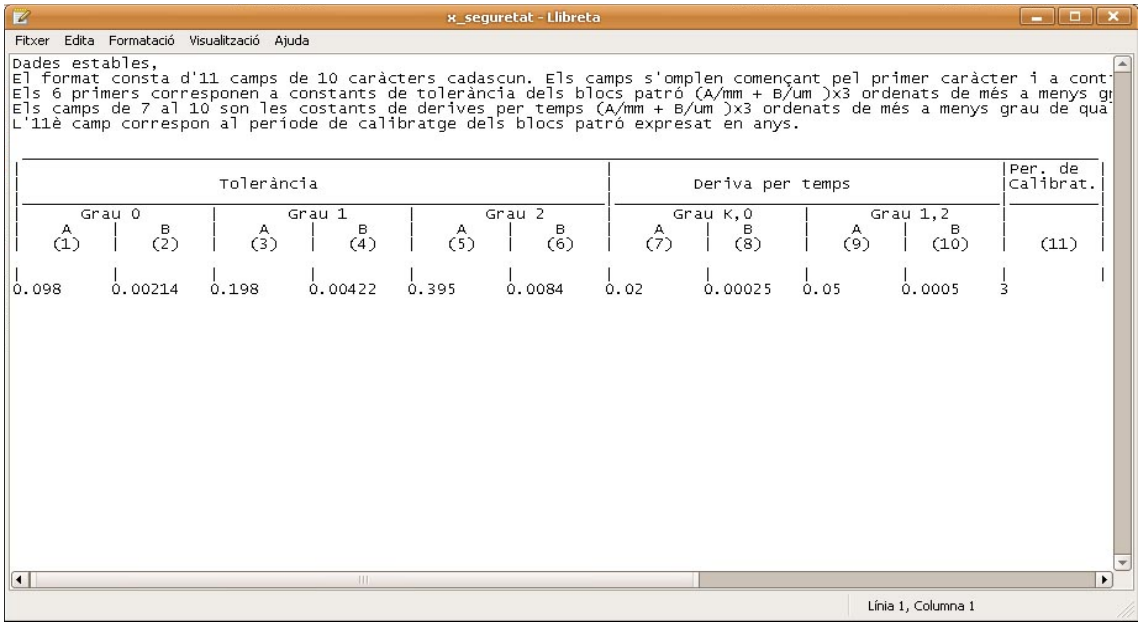
Els valors de derives per temps i toleràncies són els que s'expressen en les equacions següents.

La deriva per temps:

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

La tolerància:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Tolerància grau 0 = | 0,098µm | + | 0.00214 L/mm |
| Tolerància grau 1 = | 0,198µm | + | 0.00422 L/mm |
| Tolerància grau 2 = | 0,395µm | + | 0.0084 L/mm |




Un cop vist com s'hi organitzen les dades cal aclarir com funcionarà exactament la gestió d'aquest fitxer per part del programa.

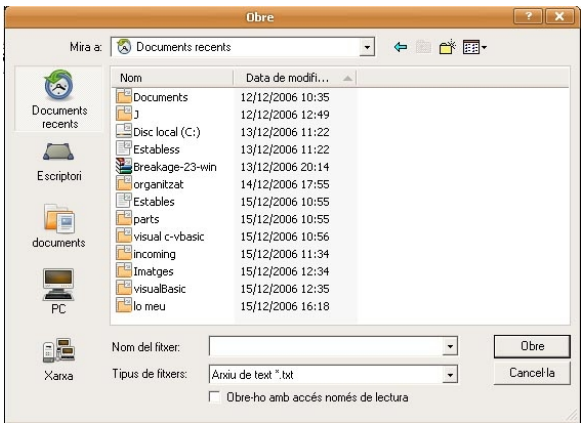
Com hem vist, el segon formulari "friDades" és on prenem les decisions de cara a calibrar,

haurem de verificar també, que l'arxiu de dades estables "estables.txt" existeixi abans de passar al següent formulari.
Tal i com s'ha creat el programa, el funcionament segueix el següent esquema:

El programa suposarà que al directori de treball, és a dir, des d'on estem executant l'aplicació, s'hi troba allotjat també el document de text de dades estables. Si no es dona el cas, quan intentem passar al següent formulari ens apareixerà una finestra en la que se'ns alertarà d'aquest fet i tindrem dues opcions, o bé acceptar, fet que farà que automàticament ell mateix ens generi una còpia de l'arxiu "estables.txt" al directori de treball i puguem continuar, o si es dona el cas puntual que disposem de l'arxiu "estables.txt" en un altre directori i volem que el llegeixi des d'allà, podrem prémer cancel·lar.

Aquesta última opció ens servirà tan sols durant el temps d'execució del programa, un cop el tanquem i el tornem a executar ell anirà a cercar l'arxiu novament al directori de treball. Això significa, doncs, que el programa està ideat per funcionar amb un arxiu de text "estables.txt" que un cop al directori de treball ja no es toqui d'allà. D'aquesta manera no hi ha possibilitat de perdre'l i queda clar on l'hem d'anar a buscar que l'haguem d'editar.

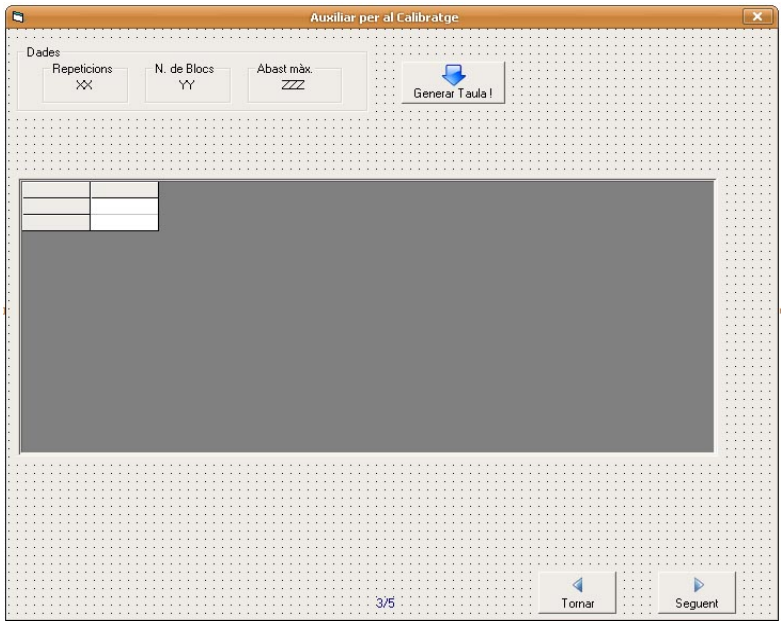
En el cas de voler definir nosaltres mateixos la ruta de l'arxiu de text disposem d'un botó anomenat "estables.txt" a la part superior dreta del formulari. Quan el pressionem ens trobarem amb una finestra de diàleg com la que veiem a continuació.




Per això farem ús del control anomenat “CommonDialog” que ens permet utilitzar i gestionar aquest tipus de finestres de diàleg. Li indicarem on es troba l’arxiu i ja no ens apareixerà cap diàleg quan decidim passar al següent formulari.

### 8.4.3 Presa de mesures – friMesures

En el següent formulari ens trobarem “friMesures” amb una quadre “frame” a la part superior amb dades, que hem introduït a la presa de decisions i que podrem servir, per a verificar que no hem comès cap error.




La part central de la finestra està ocupada per una taula dinàmica o “FlexGrid” com s’anomena en VBasic. Caldrà modificar les seves propietats per tal que sigui una taula que permeti escriure-hi i perquè variï la seva mida en funció del nombre de repeticions i nombre de blocs patró emprats.

A banda de generar el codi necessari per a gestionar la mida de la taula, i tenint en compte que es tractarà d’una taula dinàmica destinada a escriure-hi, haurem d’incloure una part de codi referent a les propietats de la taula, aquestes es carregaran en el moment que aquesta es generi.

D’una banda, cal especificar que succeirà quan ens situem sobre una casella de la taula i pressionem una tecla. Per això modificarem la propietat “Keypress” de la taula dinàmica “MSFlexGrid1”. Haurem de tenir en compte alguns casos particulars, com per exemple, indicar-li que ens esborri l’últim caràcter quan apretem la tecla d’esborrar o que ens salti a la següent cel·la quan pressionem intro. En aquest últim cas, cridem a una funció “avança_cela” que es pot veure a continuació.

```
Private Sub MSFlexGrid1_KeyPress(KeyAscii As Integer)

   'CASOS PROBLEMATICS TECLES PRESSIONADES
   Select Case KeyAscii
      Case 44                              'Si es una coma, posa punt
         KeyAscii = 46
         MSFlexGrid1 = MSFlexGrid1 + Chr(KeyAscii)
      Case 13                              'Tecla ENTER
         Avança_Cela
      Case 8                               'Backspace
         If Len(MSFlexGrid1) Then
           MSFlexGrid1 = Left$(MSFlexGrid1, Len(MSFlexGrid1) - 1)
         End If
      Case 27                              'ESC
         If MSFlexGrid1.Tag > "" Then
           MSFlexGrid1 = MSFlexGrid1.Tag
         End If
      Case Else
         MSFlexGrid1 = MSFlexGrid1 + Chr(KeyAscii)
   End Select
End Sub
```

Donat que, l'ordre lògic que s'ha de seguir al omplir la taula és, columna per columna, el moviment que haurà de seguir serà de dalt a baix, omplint tota la columna i un cop baix, saltar a la primera posició de la següent columna. Per això utilitzarem les propietats de la taula referents a les columnes ("Col", "Cols"), i a les fileres ("Row" i "Rows"). Row i Col ens donen la posició en la que ens trobem durant l'execució del programa, en canvi, Rows i Cols ens indiquen el nombre total de fileres i columnes que te la taula.

```
Private Sub Avança_Cela()
'Ens movem de dalt a baix i d'esquerra a dreta
   With MSFlexGrid1
      .HighLight = flexHighlightNever      'turn off hi-lite
      If .Row < .Rows - 1 Then       'Baixa la columna de dalta baix
         .Row = .Row + 1
      Else
```

```
        If .Col < .Cols - 1 Then
          .Col = .Col + 1              'Salta de columna a la dreta
          .Row = 1                     'Torna a començar per la primera fila
        Else
          .Row = 1
          .Col = 1
        End If
      End If
      If .CellTop + .CellHeight > .Top + .Height Then
        .TopRow = .TopRow + 1              'make sure row is visible
      End If
      .HighLight = flexHighlightAlways     'turn on hi-lite
    End With
End Sub
```

Una altra propietat interessant de la taula dinàmica és “Enter_Cell” que ens permet definir les propietats de la casella quan s’hi faci clic a sobre. En aquest cas, el que es fa és posar la propietat “Tag” en blanc i indicar que la casella es posi de color groc per distingir millor al lloc de la taula on ens trobem.

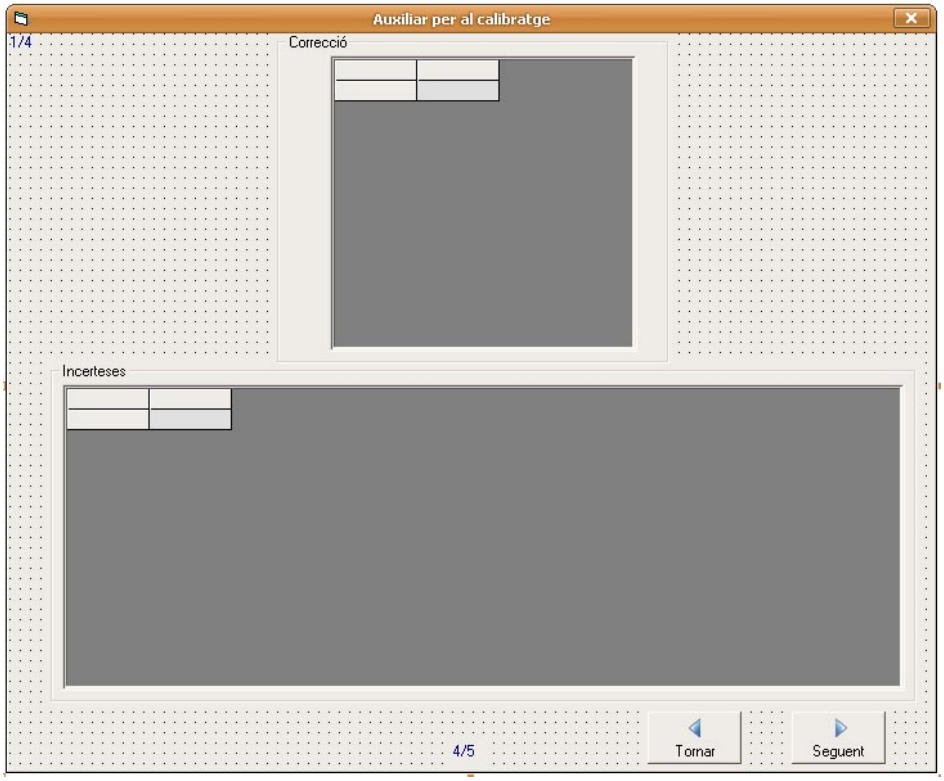
```
Private Sub MSFlexGrid1_EnterCell()
    'Situar-nos sobre una cel·la
    MSFlexGrid1.CellBackColor = &HC0FFFF    'Groc
    MSFlexGrid1.Tag = ""
End Sub
```

És important, doncs, si hem definit un format de cel·la quan ens hi situem, que definim el que ha de passar quan l’abandonem. Simplement, fem que torni al seu color original.

```
Private Sub MSFlexGrid1_LeaveCell()
    'Abandonar cel·la
    MSFlexGrid1.CellBackColor = &H80000005      'Tornem a blanc
End Sub
```

### 8.4.4 Resultats parcials – friParcials

Per al cas dels resultats parcials separarem els resultats en dues taules dinàmiques, per tal de mostrar separadament els resultats referents a mitjanes i correccions de les que conformen les incerteses. El que caldrà doncs, és crear les dues taules “MSFlexGrid2” i “MSFlexGrid3” de mides canviants en funció de la presa de decisions inicial. En tots dos casos, el nombre de columnes serà fix, per tant, haurem de gestionar les fileres.



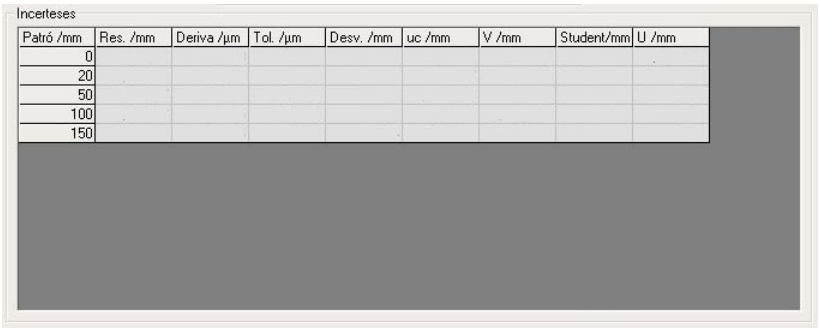

En la primera taula caldrà incorporar-hi tres columnes. La primera, mostrarà els valors de blocs patró que s’han triat al segon formulari “friDades”, la segona columna, la mitjana de les mesures que hem anotat al tercer formulari “friMesures”. Per últim, la tercera columna, que contindrà la correcció, que s’obté directament a partir de la primera i la segona columna que acabem d’esmentar. A continuació es mostra tal i com apareixerà en pantalla.

Aquestes operacions senzilles les realitzarem i les imprimirem per pantalla a la cel·la que pertoqui mitjançant la propietat de les taules dinàmiques ".textMatrix (x, y)". D'aquesta manera, atorguem un valor determinat a la posició: filera x, columna y, de la taula. Ens ajudarem de les etiquetes "lblRepeticio" i "lblNumBlocs" que indiquen el nombre de repeticions i de blocs patró que s'hauran fixat.

```
'MITJANA I CORRECCIÓ -Col 1,2-
   With friRParcials.MSFlexGrid2
   Sum = 0
   For x = 1 To lblNumBlocs
      For i = 1 To lblRepeticio
         Sum = Sum + Val(MSFlexGrid1.TextMatrix(i, x))
      Next
         If .TextMatrix(x, 0) = "" Then
            .TextMatrix(x, 1) = 0
            .TextMatrix(x, 2) = 0
         Else
        .TextMatrix(x, 1) = Round((Sum / lblRepeticio), 2)
        .TextMatrix(x, 2) = Round(.TextMatrix(x, 0) - .TextMatrix(x, 1), 2)
         End If
      Sum = 0
   Next
End With
```

La taula de les incerteses seguirà el mateix desenvolupament. Aquesta, constarà de 9 columnes. La primera per als blocs patró, les quatre següents per a incerteses introduïdes per: la resolució, la tolerància, la deriva per temps i la desviació típica. La sisena, mostra la incertesa total, la setena, els graus efectius de llibertat, la vuitena, la constant de distribució

Student i a la darrera hi haurà el càlcul de la incertesa expandida.




Començarem pel càlcul de la incertesa introduïda per la resolució. Com que és una incertesa que ens introdueix el peu de rei directament, aquesta serà igual per a totes les mesures.
Tan sols serà necessari aplicar la formula definida en el procediment del micròmetre i anotar-la a cada una de les caselles.

```
'INCERTESA RESOLUCIÓ -Col 1-
With friRParcials.MSFlexGrid3
   Dim Deriva As Double
   For x = 1 To lblNumBlocs
      .TextMatrix(x, 1) = Round(Val(friDades.Resol) / Sqr(12), 6)
   Next
End With
```

A continuació necessitem calcular les incerteses que introdueixen els blocs patró, és a dir, la tolerància i la deriva. Per això caldrà una rutina que vagi a buscar els valors allotjats en el fitxer de text adjunt “estables.txt”.

El que farem serà, en primer lloc, obrir el fitxer a partir de la ruta a la que es trobi. En la majoria dels casos, aquesta serà la mateixa ruta on estem executant el programa però pot ser que n’haguem especificat un altre i per això anem a buscar la ruta a “lblRuta” del segon formulari. Un cop tenim això obrim el fitxer tenint la certesa que aquest es troba efectivament en el directori, tot seguit, llegim la última línia del fitxer i cridem a la funció que farà el càlcul concret de les incerteses.

```
'INCERTESA PER DERIVA PER TEMPS I TOLERÀNCIA -Col 2,3-
Dim Cadena As String
```

```
Dim f As Integer
Dim path As String
path = friDades.lblRuta

f = FreeFile

Open path For Input As #f              'Accedim al fitxer d'estables
   Do Until EOF(f)
      Line Input #f, Cadena
      Deriva_Tolerancia (Cadena)       'Cridem a Deriva_Tolerancia ()
   Loop
Close #f
```

Aquesta funció, “Deriva_Tolerancia()”, rep la variable “Cadena” que és un sring en el que hi ha emmagatzemada l’ultima línia del fitxer “estables.txt”. Precisament aquest arxiu està configurat de tal manera que a la darrera línia hi hagi les dades organitzades en camps de 10 caràcters.

Una altra cosa a tenir en compte és el grau de qualitat dels blocs patró. Aquesta decisió que cal prendre en els passos inicials del calibratge i que no havíem utilitzat fins ara, és un punt a tenir en compte. Com hem vist, a l’arxiu de dades estables hi ha unes constants que representen els errors dels blocs patró degudes a la tolerància i la deriva per temps i també s’ha vist que estan organitzades en funció del grau de qualitat d’aquests. Així doncs, haurem de comprovar quina elecció s’ha fet en el formulari pertinent i en funció d’això anar a buscar uns camps o uns altres del fitxer de text.

En resum, doncs, el que fem és, aplicar la formula, definida al procediment, per al càlcul de les contribucions a la incertesa que generen, la deriva per temps i la tolerància, aplicant com a constants, els valors que es troben al document de text “Estables.txt” i tenint en compte, el grau de qualitat amb el que s’està treballant.

```
Private Sub Deriva_Tolerancia(Cadena)
'Deriva i tolerància
'Tolerància = A/µm + B/mm * L/mm
'Deriva per temps = [A/µm + B/mm * L/mm]*t

With friRParcials.MSFlexGrid3
```

```
Dim x As Integer
If friDades.optGrau0.Value = True Then      'Blocs patró de grau 0
        For x = 1 To lblNumBlocs
                .TextMatrix(x, 2) = Round(((Val(Mid(Cadena, 61, 10)) +
                 Val(Mid(Cadena, 71,10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3)) *
                Val(Mid(Cadena, 101, 10)), 6)

                .TextMatrix(x, 3) = Round((Val(Mid(Cadena, 1, 10)) +
                Val(Mid(Cadena, 11, 10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3), 6)
        Next          'Arrodonim i treballem amb "Val" ja que son strings
End If

If friDades.optGrau1.Value = True Then      'Blocs patró de grau 1
        For x = 1 To lblNumBlocs
                .TextMatrix(x, 2) = Round(((Val(Mid(Cadena, 81, 10)) +
                Val(Mid(Cadena, 91, 10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3)) *
        Val(Mid(Cadena, 101, 10)), 6)

                .TextMatrix(x, 3) = Round((Val(Mid(Cadena, 21, 10)) +
                Val(Mid(Cadena, 31, 10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3), 6)
        Next
End If

If friDades.optGrau2.Value = True Then      'Blocs patró de grau 2
        For x = 1 To lblNumBlocs
                .TextMatrix(x, 2) = Round(((Val(Mid(Cadena, 81, 10)) +
                Val(Mid(Cadena, 91, 10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3)) *
                Val(Mid(Cadena, 101, 10)), 6)

                .TextMatrix(x, 3) = Round((Val(Mid(Cadena, 41, 10)) +
                Val(Mid(Cadena, 51, 10)) * Val(.TextMatrix(x, 0))) / Sqr(3), 6)
        Next
End If
End With

End Sub
```

La següent contribució a la incertesa que cal calcular és la de la desviació típica o estàndard. Abans, cal calcular la desviació, mitjançant l'equació que s'ha definit al procediment.

El que fem, és cridar la funció "Desviació" que ens fa aquest càlcul. Aquesta realitza les operacions adients i retorna el valor de desviació que resulta de la sèrie de mesures

```
'INCERTESA DEGUDA A DESVIACIÓ TÍPICA -Col 4-
Dim prt As Double
Dim Y As Integer

With friRParcials.MSFlexGrid3
   Y = lblRepeticio

   For i = 1 To lblNumBlocs
      .TextMatrix(i, 4) = Round((Desviacio(i, prt) / Sqr(Y)), 6)
   Next
```

```
Private Function Desviacio(m As Integer, desvi As Double)
'Desviació típica
With friMesures.MSFlexGrid1

Dim n As Integer
Dim j As Integer
Dim Numerador As Double
Dim Sum As Double
Numerador = 0
Sum = 0
n = lblRepeticio

      If n = 1 Then
            Desviacio = 0
      Else
            For j = 1 To n
                  Sum = Sum + Val(.TextMatrix(j, m))
            Next
```

```
            For j = 1 To n
                Numerador = Numerador + (Val(.TextMatrix(j, m)) - Sum / n) ^ 2
            Next
            Desviacio = Sqr(Numerador / (n - 1))
        End If
Sum = 0
Numerador = 0

End With
End Function
```

Un cop calculades totes les fonts d'incertesa que afecten al resultat final del nostre calibratge, el que farem serà calcular el valor total a partir de l'arrel de la suma dels quadrats, tenint en compte que tots els valors estiguin en les mateixes unitats. Per això s'ha creat la funció "uc" que ens duu a terme aquesta operació.

```
'SUMATORI INCERTESA -Col 5-
   For i = 1 To lblNumBlocs
      .TextMatrix(i, 5) = uc(i, prt)
   Next
```

```
Private Function uc(m As Integer, suma_Incertesa As Double)

With friRParcials.MSFlexGrid3
        uc = Round(Sqr(.TextMatrix(m, 1) ^ 2 + -(.TextMatrix(m, 2) /   1000)    ^    2    +
        (.TextMatrix(m, 3) / 1000) ^ 2 + .TextMatrix(m,   4) ^ 2), 7)
End With

End Function
```

Quan ja hem fet el càlcul numèric de la incertesa deguda a tots i cadascuna de les fonts d'error, hem de passar a calcular la incertesa extesa. Per tal d'arribar al seu càlcul, és necessari que abans trobem els graus efectius de llibertat i la constant de distribució d'Student.

Per als graus de llibertat, tal i com s'expressa en el procediment, cal fer ús de l'equació de

Welch-Satterthwaite. Aplicarem que, quan la desviació típica sigui zero, els graus de llibertat seran >50 i en cas contrari cridarem a la funció “Grausll” que ens implementarà l’equació i ens en retornarà el resultat.

```
'GRAUS DE LLIBERTAT -Col 6-
   Dim infinit As Integer

   For i = 1 To lblNumBlocs

      If .TextMatrix(i, 4) = 0 Then
         .TextMatrix(i, 6) = ">50"
      Else
      .TextMatrix(i, 6) = Round(Grausll(i), 7)
      End If
   Next
```

```
Private Function Grausll(m As Integer)

With friRParcials.MSFlexGrid3

Dim Y As Integer
Y = lblRepeticio

Grausll = .TextMatrix(m, 5) ^ 4 / (.TextMatrix(m, 4) ^ 4) * (Y - 1)

End With
End Function
```

Per tal d’assolir al nostre objectiu de calcular la incertesa extesa, cal superar l’esglaó previ que passa per calcular la costant de distribució Student o distribució T. Donat que, es tracta d’un càlcul amb cert grau de complexitat, s’aprofita una de les opcions que ens permet utilitzar VBasic. Es tracta d’utilitzar la funció matemàtica d’excel “TInv” que realitza el càlcul invers de la distribució Student. Per a poder aprofitar aquest recurs cal, primer de tot, aplicar canvis en les llibreries de referència a les que recorre el nostre projecte. Dirigint-nos al menú de projecte, a l’apartat de referències, caldrà incloure la referència cap a la llibreria d’objectes de MS Excel anomenada “Microsoft Excel Object Library”.

Ara sí, ja podem crear un objecte com a “Excel.Application” i utilitzar el paquet de funcions que ens ofereix la classe “WorksheetFunction”, en el nostre cas, utilitzem “TInv” (Inversa de la distribució T).

```
'STUDENT -Col 7-

'L'objecte Application fa referencia a l'aplicació de
'Microsoft Excel i conté totes les seves col·leccions
'i objectes.

   Dim tpc As Double
   Dim graus As Double

   tpc = 1 - 95.45 / 100

   Dim exl As New Excel.Application

   For i = 1 To lblNumBlocs

      If .TextMatrix(i, 4) = 0 Then
         .TextMatrix(i, 7) = 2
      Else
    graus = .TextMatrix(i, 6)
   .TextMatrix(i, 7) = Round(exl.WorksheetFunction.TInv(tpc, graus), 7)
      End If
   Next
```

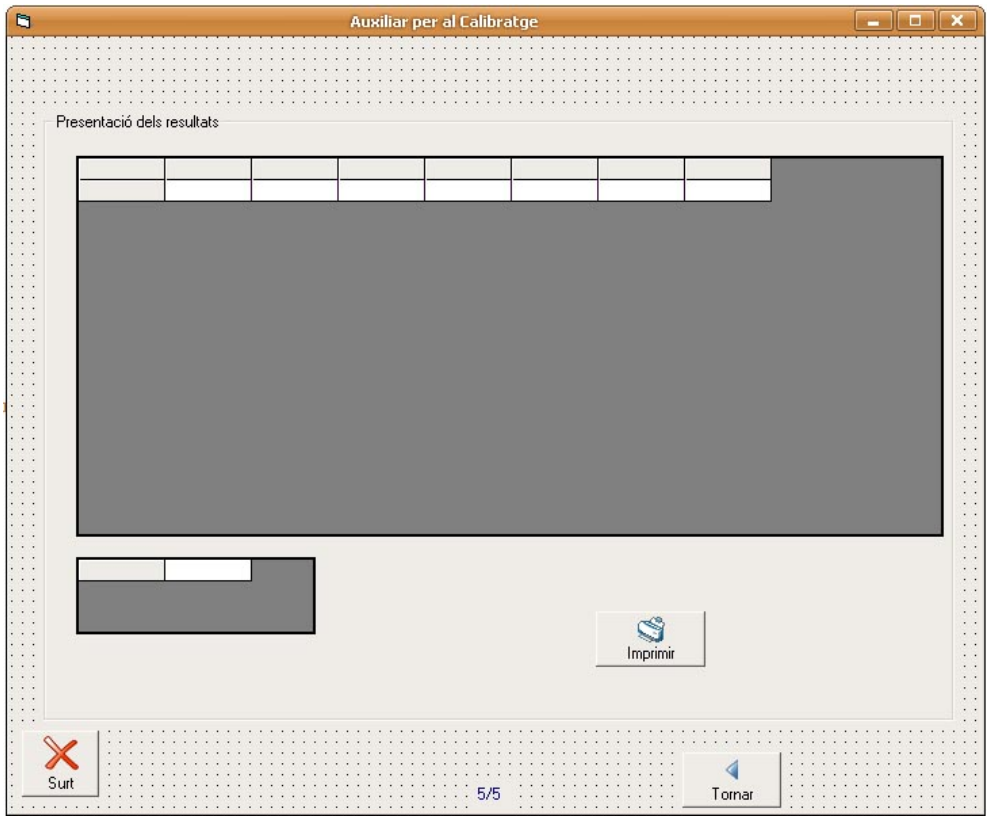
Finalment, a partir de la desviació típica i la constant T fem una senzilla operació per tal d’obtenir la incertesa expandida, que és la que presentarem al full de dades finals.

```
'INCERTESA EXTESA -Col 8-

   For i = 1 To lblNumBlocs
      .TextMatrix(i, 8) = Round(.TextMatrix(i, 5) * .TextMatrix(i, 7), 7)
   Next

End With
```

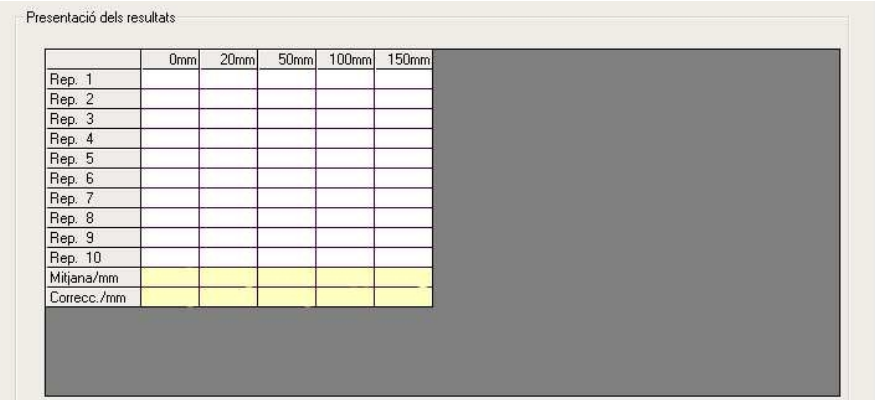
### 8.4.5 Resultats finals – friFinals

Per últim, cal definir quin format volem que tinguin els resultats que s'acabaran imprimint i presentar-los en un formulari. S'hauran d'insertar dues taules al formulari, "MSFlexGrid4" i "MSFlexGrid5". En la primera s'hi presentaran un nombre de columnes igual al número de patrons que haguem utilitzat i tantes fileres com repeticions s'hagin fet, tenint en consideració d'afegir dues fileres més, una dedicada a la mitjana i una altra a la correcció.

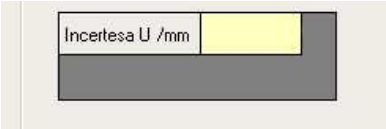
La segona taula, que serà d'una mida fixa sempre, tan sols ha de presentar el valor d'incertesa. Aquesta serà la major de totes les incerteses calculades al formulari anterior. D'aquesta manera escollim el cas més desfavorable i mostrem la màxima incertesa que hem assolit en el calibratge.




Un cop executada l'aplicació les dues taules han de quedar amb el format que es pot veure a continuació.




La primera taula serà dinàmica i haurem de configurar-la per tal quedin ressaltades les dues fileres de mitjana i correcció, pintant-les de color groc.




En la segona taula que crearem, caldrà presentar per pantalla el valor d'incertesa final. Per a ajustar-lo a la resolució del micròmetre del client, serà necessari donar aquest valor d'incertesa, amb la mateixa resolució.

Haurem d'idear una manera per tal de detectar els decimals que conté la xifra allotjada en el formulari de presa de decisions "friDades". Una manera senzilla de determinar el nombre de decimals que te el camp "Resolució" del formulari "friDades" és, a partir del logaritme en base 10. Caldrà que utilitzem les propietats dels logaritmes, ja que només disposem de l'operació log(x), que calcula el logaritme en base 2. Aplicarem la formula que diu que log10(x) = log(x)/log(10), d'aquesta manera, obtenim una xifra negativa (al tractar-se x < 1). Caldrà que el multipliquem per -1 i que apliquem que, quan dona 1, significa un decimal, quan dona entre 1 i 2, vol dir dos decimals, entre 2 i 3, són tres, etc.

Aplicant aquesta operació i tractant aquest resultat podrem arribar a deduir el nombre de decimals de la resolució. Un cop obtingut aquest nombre només haurem d'arrodonir el valor màxim d'incertesa.

També tindrem en compte que, per error, s'introduís un nombre més gran que 1 en el camp "resolució", aquest cas, no comportaria l'aparició de  decimals a la incertesa final. Tot seguit es pot observar la funció que s'ha realitzat. No s'ha previst que el nombre de decimals pugui anar més enllà de 6. Donat que la mida física dels camps s'ha limitat a 6 caràcters i no es preveu treballar amb aparells amb tanta resolució no s'ha cregut necessari incorporar-ne

més.

```
Private Function Gestio_Decimals(B As Double)

Dim a As Double
If friDades.Resol > 0 Then
   Gestio_Decimals = 0
Else
   a = (Log(Val(friDades.Resol)) / Log(10)) * -1
   Select Case a
   Case 0 To 1
      Gestio_Decimals = 1
   Case 1
      Gestio_Decimals = 1
   Case 1 To 2
      Gestio_Decimals = 2
   Case 2
      Gestio_Decimals = 2
   Case 2 To 3
      Gestio_Decimals = 3
   Case 3
      Gestio_Decimals = 3
   Case 3 To 4
      Gestio_Decimals = 4
   Case 4
      Gestio_Decimals = 4
   Case 4 To 5
      Gestio_Decimals = 5
   Case 5
      Gestio_Decimals = 5
   Case 5 To 6
      Gestio_Decimals = 6
   Case 6
      Gestio_Decimals = 6
   End Select
End If
End Function
```

Quan tot el calibratge estigui enllestit, ens mancarà programar la rutina per a la impressió dels resultats.

El que farem, és, que quan es pressioni sobre el botó habilitat per a imprimir ens aparegui el següent formulari per tal de verificar la impressió i crear així un pas intermig que eviti que pressionem el botó per accident.

La impressió del certificat de calibratge consta de dos fulls. El primer conté les dades referents al client, a l'instrument i al calibratge, que s'ha tingut la oportunitat d'introduir en el primer formulari.

El segon presenta els resultats a una taula i mostra el valor de màxima incertesa. Tots dos consten d'una capçalera amb títol i subtítol al marge esquerre de la pàgina i número de pàgina al marge dret. Tot seguit el cos de la pàgina i finalment un peu de pàgina amb les indicacions adients.

# 9 Conclusions i perspectives

En primer lloc, cal destacar que, un cop finalitzada tota la tasca que ha donat com a resultat aquest projecte, s'han assolit tots els objectius que s'havien fixat en un inici.

El desenvolupament del programa s'ha realitzat dins els terminis establerts en el programa de treball fixat i finalment s'ha arribat a fer-lo funcionar correctament.

Un altre aspecte a destacar és la implementació dels fulls de càlcul a l'empresa APPLUS, CTC, seguint les directrius de funcionament establertes per l'empresa en la que es va desenvolupar la part de fulls de càlcul d'Excel durant tres mesos.

El programari utilitzat inicialment, MS Excel, complia la seva funció però en ocasions dificultava el tractament de les dades, sobretot pel que fa a taules dinàmiques.

Sense necessitat de recórrer a llenguatges de programació de major nivell, Visual Basic encaixava amb els requeriments exigits pel projecte.

Cal remarcar que s'han assolit coneixements molt específics, sobre matèries que queden fora del temari de la carrera i per tant, s'ha dut a terme un procés d'aprenentatge que ha culminat amb la creació dels fulls de càlcul i el posterior programa amb Visual Basic.

Els fulls de càlcul, així com el programa desenvolupat amb Visual Basic, podria ésser distribuït per a empreses del sector de la metrologia, mitjançant una llicència d'ús. Una possibilitat, però, seria realitzar-lo amb finalitats no lucratives, encarat cap al software lliure. D'aquest aspecte, se'n donen més detalls a l'apartat 10.

## 10 Línies de millora: Programari lliure

Al llarg de tot el projecte s'ha anat experimentant amb noves eines informàtiques. El motiu per haver dut terme aquesta cerca, ha estat per tal de buscar alternatives als programes de pagament emprats. A banda, sembla que cada vegada més, existeixen alternatives gratuïtes de programari que ens permeten resoldre gran part de les necessitats que pot tenir un usuari estàndard i la tendència, sobretot en la gent jove, és d'adoptar nou software, que al mateix temps que és eficient i lliure, pot ser modificat i adaptat a l'ús que se li vulgui donar.

Evidentment que a nivell d'empresa aquest salt és molt més complicat, ja que existeixen factors econòmics importants pel que fa a llicències i suposa un esforç major.

Així doncs, s'ha volgut anar més enllà i s'han testat diversos programes, la memòria del projecte, s'ha realitzat íntegrament amb OpenOffice, programari lliure cent per cent. A nivell de programació visual tipus Visual Basic, s'han dut a terme proves amb un equivalent lliure anomenat “Gambas”. Si bé la compatibilitat entre ells no està del tot depurada, aquest programa gratuït cobreix la gran majoria de necessitats que pot tenir un usuari de Visual Basic, tan sols amb un petit període d'aprenentatge es poden desenvolupar programes formularis i programes executables .

Si existeix un monopoli, en el camp de la informàtica, aquest és el de Microsoft, tan sols cal donar un cop d'ull a les empreses, a centres d'educació o d'administració, o sense anar més lluny, a casa nostra, per adonar-nos -en.

Aquesta hegemonia, ha arribat a tal punt, que la majoria d'usuaris acceptem, sense queixar-nos, tota una sèrie d'aplicacions que se'ns ofereixen, a canvi d'un cost econòmic, sense ni tan sols qüestionar-nos si existeixen alternatives, eficients i gratuïtes. Tot això, fa que adquirim mals costums i que, en moltes ocasions, perjudiquem al conjunt d'usuaris que utilitzen aternatives com ara el programari lliure.

Entenem per programari lliure, aquell que compleix un seguit de propietats un cop l'hem adquirit. Per norma general, el podem aconseguir de manera gratuïta, si bé, en algunes ocasions també s'hi pot aplicar algun càrrec econòmic.
El programari lliure es caracteritza per les quatre propietats bàsiques, quatre “llibertats” que són les següents.

-Per començar, la llibertat d'executar-lo, per a qualsevol finalitat.

-La llibertat de veure'n el funcionament i poder-lo adaptar a les nostres necessitats (accés al codi font).

-La llibertat de redistribuir-ne còpies.

-I finalment, la llibertat per a millorar el programa i posteriorment, distribuir-lo, per tal que la resta d'usuaris, també se'n puguin beneficiar.

Per tant, entenem que la característica fonamental del programari lliure és la possibilitat d'utilitzar-lo i modificar-lo al nostre gust, adaptant-lo a les nostres necessitats. Això fa que estigui en constant evolució, ja que son els mateixos usuaris els que en milloren el codi.

Tal i com estem veient, doncs, no és tant un fet de llibertat en quan a gratuïtat econòmica, sinó de disponibilitat del seu codi font. De totes maneres, sempre tindrem la opció d'adquirir distribucions de programari gratuïtes, ja sigui descarregant-nos-les d'internet, o bé aconseguint-ne una còpia de CD.

Sens dubte, un motiu important que ens pot fer deixar de banda el nostre programari, privatiu i de pagament, per fer el salt al programari lliure, és el fet d'estalviar-nos de pagar llicències de programes i sistemes operatius que mai aprofitarem del tot. En el programari lliure ens trobem amb la possibilitat d'ajustar molt més el nostre sistema operatiu a les nostres necessitats. Tot això ho aconseguim, gràcies a una estructura modular, que ens permet instal·lar, només, les aplicacions que realment utilitzarem.

Actualment, existeixen aplicacions lliures per cobrir la totalitat de les necessitats d'un usuari estàndard, des d'editors de text, navegadors web, clients de missatgeria, potents programes de retoc fotogràfic o reproductors multimèdia.

Evidentment, aquí es pretén donar alternatives concretes al programari utilitzat en aquest projecte, tot ell, basat en MS Windows™.

## 10.1 GNU/Linux

El que avui entem com a GNU/Linux és fruït de la unió de dos projectes. D'una banda GNU i de l'altra Linux.

El projecte GNU, que significa, “GNU not Unix”, es va iniciar l'any 1983, de la mà de Richard Stallman. El seu objectiu, era crear un sistema operatiu, complet i lliure, compatible amb UNIX. Stallman, va donar el tret de sortida del projecte GNU, en contraposició al sistema operatiu privat, UNIX, que ja existia.

Al llarg dels anys hi va haver un gran desenvolupament del que havia de ser un sistema operatiu complet. S'anaven desenvolupant els diferents blocs que havien de composar GNU. Tot i això, el projecte no va trigar a estancar-se un cop arribats al desenvolupament del nucli (kernel). Tot i que es va arribar a treballar amb un nucli del sistema que es va anomenar “Hurd”, aquest, no es va arribar a desenvolupar del tot.

Passat un temps, l'any 1991, Linus Tolvalds, per la seva banda, va començar a desenvolupar un nucli de sistema anomenat “Linux”. Juntament amb altres programadors que el van recolzar van aconseguir crear un nucli compatible amb UNIX.
Un cop desenvolupat, es va decidir sumar esforços i aplicar-lo al projecte GNU. Va caldre adaptar totalment aquest nucli, i un cop fet, Linux, va ser incorporat al projecte GNU creant un sistema operatiu funcional i totalment lliure.
Posteriorment, van anar sorgint diferents distribucions de GNU/Linux, algunes de les més importants:

**Red hat** **Gentoo** **Fedora** **Debian**

Per tant, quan ens referim al sistema operatiu “Linux”, cometem un error, ja que només estem fent referència al nucli del sistema, que representa, tan sols, una part de tot el sistema operatiu. El terme correcte, és, GNU/Linux.

*Un nyu, representa GNU i el pingüí Tux és el logotip de Linux*

## 10.2 OpenOffice.org i OpenDocument

Bàsicament, el projecte OpenOffice.org és una alternativa a projectes similars de tipus privatiu i de pagament com ara el paquet Office de Microsoft™. Aquest paquet de programes destinats a la ofimàtica donen cobertura a multitud de sistemes operatius, un d'ells GNU/Linux.

El programari OpenOffice.org inclou diverses aplicacions. **Writer**, és un potent editor de textos, **Calc** treballa amb fulles de càlcul, **Base** ens permet treballar amb bases de dades, **Impress** per a realitzar presentacions, **Draw** per a realitzar gràfics vectorials en format SVG i **Math**, un editor de formules matemàtiques.

Un aspecte fonamental d'aquest paquet de programari, rau en l'utilització d'un format d'arxius natiu que compleix els estàndards XML. És un aspecte molt important ja que estem acostumats a tenir com a referent el format .doc amb el que treballa MS Office™. Aquest format, anomenat OpenDocument va ser aprovat com a estándard i pretén ser una alternativa oberta en front dels tipus de fitxers que son propietat d'un fabricant que impedeixen la lliure competència de formats i obliguen a treballar amb software de pagamament.
Open Document és el primer estàndard per a documents ofimàtics implementat per diferents competidors, visat per organismes d'estandarització independents i disponible per a ser implementat per qualsevol preveidor.

## 10.3 Gambas

Sovint, quan algú es planteja la possibilitat de fer el pas cap al programari lliure i canviar de sistema operatiu, li sorgeixen un seguit de dubtes, sobretot, referents a les opcions que aquestes noves eines li podran oferir. Bàsicament, el que es requereix, és, tenir a disposició, programes que ens permetin fer les mateixes tasques que feiem fins llavors. Doncs, bé, en aquest cas parlarem d'una eina de programació visual, amb moltes possibilitats. El seu equivalent en programarí de pagament, seria, el Visual Basic.

Gambas, és un acrònim de l'anglès “Gambas almost means basic”. Quan parlem de Gambas fem referència a un llenguatge de programació totalment lliure que si bé és similar en alguns aspectes al Basic, també té punts en comú amb Java, per exemple. Tal i com hem dit, incorpora un interfície gràfica que ens permet crear formularis gràficament.

Un punt important d'aquest llenguatge és que serà relativament senzill apredre'n el funcionament per algú que vingui d'utilitzar Visual Basic, si bé caldrà cert temps per a habituar-se a les diferències que presenten entre ells.

Bibliografia

INGENIERIA DICTUC (2001, 3 d'abril). *Division ingenieria mecánica i metalúrgica. Area Metrologia* [en línia]. [Chile]. [Consultat: 9 de febrer 2007]. Disponible a Internet: http://www.dictuc.cl/metrologia/

METAL UNIVERS (2007). *El Portal del Metall* [en línia]. [Espanya]. [Consultat: 12 de febrer 2007]. Disponible a Internet: http://www.metalunivers.com/arees/metrologiadimensional/

FORO-VB (2007). *Foro de programación.* [en línia]. [Espanya]. [Consultat: febrer 2007]. Disponible a Internet: http://foro.vb-mundo.com/

PELECER, J. A, MARBAN, R. (2001) Metrologia para no metrologos. 2ª edició. Guatemala. PySI.

SENAI, CST (1996) Mecanica, Metrologia [Brasil]. Documentació pdf.

BECERRA, L.O (2004) Simposio de metrologia 2004 [Mèxic]. Centro Nacional de Metrología, División de Metrología de Masa y Densidad.

BIPM (2007). *Bureau International des Poids et Mesures.* [en línia]. [França]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.bipm.org/

IOP (2007). *Electronic Journals.* [en línia]. [Holanda]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.iop.org/EJ/journal/Met

RNM (2007). *Red Nacional de Metrolgia de Chile.* [en línia]. [Chile]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.metrologia.cl/

CEM (2007). *Centre espanyol de Metrologia.* [en línia]. [Espanya]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.cem.es/cem/es_ES/presentacion/home2.jsp

CENAM (2007). *Centre Nacional de Metrologia de Mèxic.* [en línia]. [Mèxic]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.cenam.mx/

CSIC (2007).*Departament de metrologia del CSIC.* [en línia]. [Espanya]. [Consultat: març 2007]. Disponible a Internet: http://www.metrologia.csic.es/