

CIÈNCIA

ANY IV

REVISTA CATALANA
DE
CIÈNCIA I TECNOLOGIA

SEPBRE.

OCBRE.

DE 1929

NÚM. 33

METROLOGIA

EL "BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MESURES"

EN ocasió d'una recent visita al Bureau de Sèvres, a on fórem amablement rebuts pel seu il·lustre director, Sr. GUILLAUME, i auxiliars, ens plau descriure breument des de les planes acollidores d'aquesta Revista, els principals aparells del *Bureau*, aprofitant les copioses dades del senyor GUILLAUME contingudes en el seu llibre "La création du Bureau International des Poids et Mesures et son oeuvre", editada en commemoració del cinquantenari de la fundació del *Bureau* i publicada fa alguns mesos.

No cal que remarquem ací el valor extraordinari de tot ço que es refereix a mesures. És veritat que els nostres clàssics de la Física no necessitaren, en general, mesures exactes per descobrir les seves lleis admirables (GALILEO mesurà el temps amb el ritme del seu pols o pesant l'aigua d'un canó que obturava amb el dit). Però no ha d'oblidar-se que ja les lleis de KEPLER es deuen, com diu PICARD, a la precisió de les observacions de TYCHO-BRAE, i que molts dels estudis actuals, per exemple els espectroscòpics, necessiten gran precisió. Avui estem molt lluny de quan una dècima de mil·límetre era la màxima aproximació que s'exigia a les mesures més delicades.

* * *

El "Bureau International des Poids et Mesures" està situat al començament del parc de Saint Cloud, a Sèvres, prop del Sena—aquest riu evo-

cador—darrera de la cèlebre manufactura de porcellanes; i és ben digne d'ésser visitat per qui estimi els estudis de la Física i les belleses naturals. El lloc és de gran frondositat; i l'ambient tranquil i suau convida al treball lluny de tot bullici que perjudicaria tant a l'esperit com als aparells que allí es serven.

Ocupa el Bureau el "Pavillon de Breuteil" alçat damunt de les runes de l'antic Trianon de Saint-Cloud, devastat pels prussians en 1815, i en 1871 pels obusos dels artillers de Mont Valérien, quan intentaren desmun-

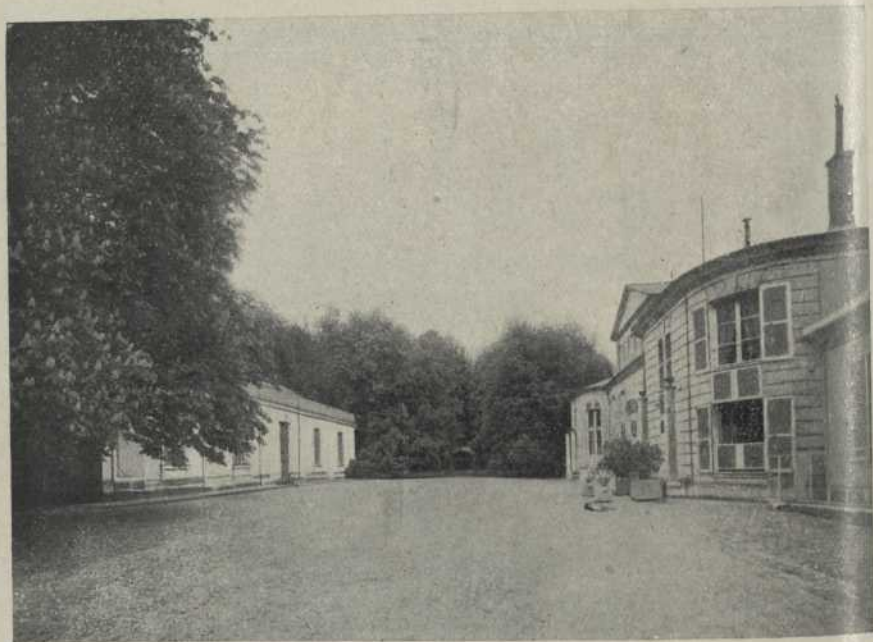


Fig. 1.—Edificis que ocupa, al parc de St. Cloud, el «Bureau International des Poids et Mesures»

tar les peces d'artilleria alemanya. En 1875, el "Comité de pesos i mesures", va construir l'edifici actualment destinat a oficines i habitacions del personal, i més tard, davant de la façana de ponent, l'observatori a on es dipositaren els aparells (Figura 1). Aquest últim edifici, de planta baixa, amb subterrani, està construït amb vistes a una gran solidesa i protecció contra les influències de les temperatures externes: paret doble i omplerta d'una substància mal conductora del calor: els departaments reben la llum zenital per mitjà d'embuts que travessen un sotabanc d'uns tres metres d'altura. Així, estan protegits contra la llum directa del sol, amb la qual cosa s'assoleix que a l'estiu les oscil·lacions diurnes de temperatura no excedei-

xin, pot dir-se, d'una dècima de grau. Els aparells estan sostinguts per pilastres empotrades directament en el terreny.

* * *

La tasca del *Bureau*, una vegada distribuïts els prototipus del metre i del quilogram a les nacions adherides a la "Convenció del Metre" (1889), semblava, com ens diu el senyor GUILLAUME, reduïda a la comparació periòdica dels prototipus, o bé, en els intervals d'aquestes operacions, a l'estudi ocasional de qualques models destinats especialment a Geodèsia; però, poc a poc, ha ampliat la seva acció i es dedica des de fa temps als estudis termomètrics, mètodes interferencials, aliatges. Estudi, aquest últim, que ha transformat completament els mètodes de mesura de les bases geodèsiques. De com ha estat reconeguda la valor de l'obra del *Bureau*, ens ho diu el fet d'haver-se concedit el Premi Nobel—la més alta recompensa científica—al seu actual director, senyor GUILLAUME.

Models i aparells del Bureau

Amb la impossibilitat d'ocupar-nos de tots els aparells del *Bureau*, els quals, per altra part, no poden ésser amb prou feines atesos en una visita de caràcter general, solament ens ocuparem dels que interessin a la formació d'una idea de conjunt.

MESURES DE LONGITUD

Tot problema de mesures comprèn, essencialment, dos aspectes: construcció de models—unitat, múltiples i submúltiples—i llur comparació. El prototipus internacional del metre—"metre internacional"—que serva el *Bureau*, és una barra de platí-iridi de secció transversal en forma de X; la distància metre és la de dos trets de prop dels caps, la mateixa que la que existeix entre els caps de la regla de BORDA presentada al Cos legislatiu el 22 de juny de 1799 i dipositada als "Arxius de França". El "metre internacional" i el "quilogram internacional" es serven en un dels subterranis de l'Observatori del *Bureau*, amb extraordinària cura i junt amb els seus testimonis—tres el metre i quatre el quilogram—; els primers són tancats en tubs i els segons sota campanes de vidre, i tot plegat en un armari de paret gruixuda. Ja que no es disposa de fotografies del "metre internacional", que és el número 6 de la sèrie de 31 que s'acabà de fabricar en

1887, publiquem la del número 26 en poder del Bureau ¹ (Fig. 2). Espanya posseeix els models números 17 i 24.

En intentar construir la sèrie de metres de la qual s'havia d'escollir el de longitud més aproximada al "metre dels Arxius", que havia de constituir el "metre internacional", TRESCA proposà tres formes de barres: en X i en H, reforçades o no, aquestes últimes, per les arestes, La primera forma és l'adoptada pels prototipus internacional i nacionals, en plati-iridi, mentre que les altres, de fabricació més fàcil, s'han aplicat a la confecció de re-

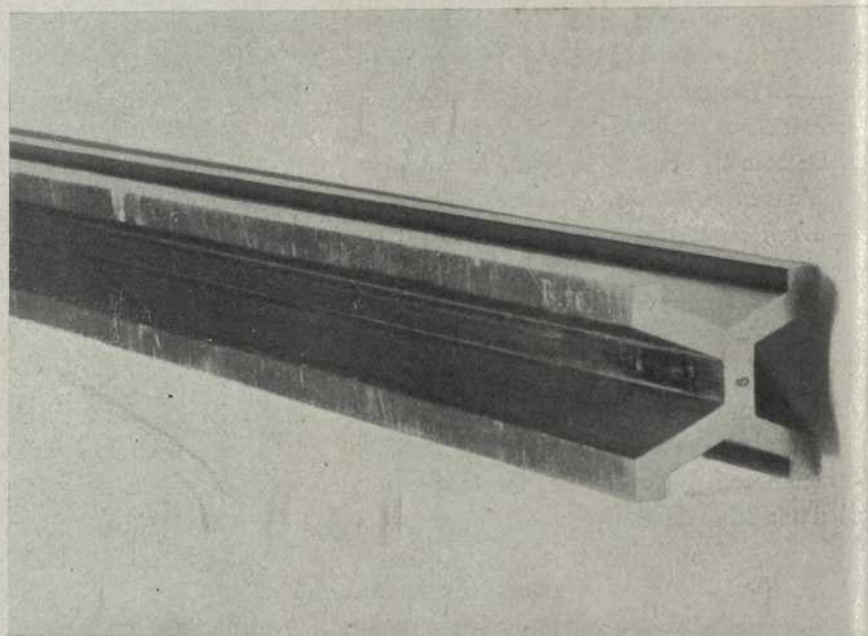


Fig. 2. - El metre internacional. Model núm. 26 de la sèrie. (L'internacional és el núm. 6)

gles de substància més econòmica. Totes han estat tallades seguint el pla de les fibres neutres, principi del qual pot prescindir-se en les regles curtes. La distància metre, en tots aquests tipus, és la de dos trets de prop dels extrems; la posició del tret es determina mitjançant un microscopi amb retícula i augment de 50 o 60 diàmetres. Aquesta potència del microscopi ha estat portada fins 150 i 200 des de que els trets han estat traçats per mitjà del poliment especular practicat per primera vegada per TRESCA en el "Conservatoire des Arts et Métiers" en la construcció dels metres

¹ El Bureau ens va obsequiar amb dues bones fotografies de l'armari obert, on es conserven els prototipus; però com sigui que són, encara, inèdites, ja que no han estat incloses en els treballs del Bureau, no se'ns ha concedit autorització per publicar-les.

patrons. Els trets de 6 a 8 micres d'ample, a 60 diàmetres semblen rectilinis; el malanguanyat ex-director del *Bureau*, senyor BENZIT, en va fer de 2 micres d'ample, i segons el senyor GUILLAUME, tan rectilinis, que l'augment de 200 diàmetres no destaca els defectes; el nostre interlocutor ens feu remarcar que aquest límit difícilment pot sobrepassar-se. Aquests trets es graven amb diamant subjecte a un mànec de llautó provist d'un índex que permet determinar els seus azimuts. Amb el diamant, desplaçant l'índex, es tracen una vintena de trets, fins a trobar-ne un d'azimut òptim.

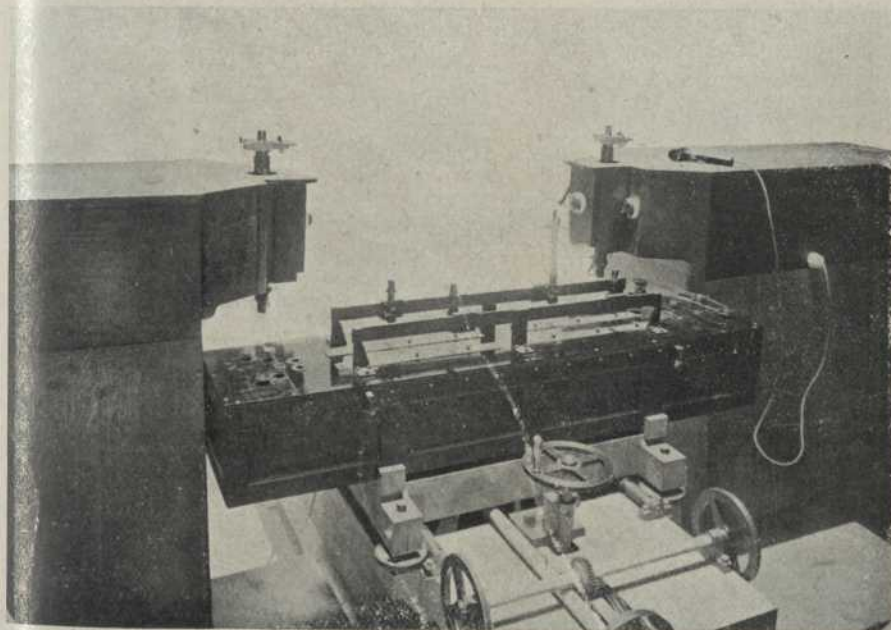


Fig. 3 - Comparador Brunner

COMPARADORS

El traçat d'una regla pot fer-se automàticament o copiant d'un model anterior². En aquest últim cas, el metre i la regla es placen sobre un mateix carro provist de moviment longitudinal. Enfocat per un microscopi el primer tret del model, es grava el primer tret de la regla i, així successivament, es procedeix amb tots els altres trets divisoris, desplaçant els fils del micròmetre i tenint en compte l'error de posició del tret; si les regles estan una al costat de l'altra es fa la correcció de corbatura del banc. Però,

² Per a la descripció que segueix ens auxiliem del llibre esmentat del Sr. GUILLAUME.

quan es tracta d'una regla de gran nombre de divisions, la graduació es fa automàticament, mitjançant la màquina de dividir, el qual mètode és més senzill i exacte, perquè permet eliminar les perturbacions ocasionades a la uniformitat de la temperatura per la presència de l'observador.

El traçat d'una regla a base d'un model anterior es fa amb un comparador. El *Bureau* en posseeix diversos models que utilitza per comparar regles de trets i regles de caps, segons els tipus. El *Bureau*, per a les comparacions de metres prototipus, utilitza amb preferència l'antic, però molt

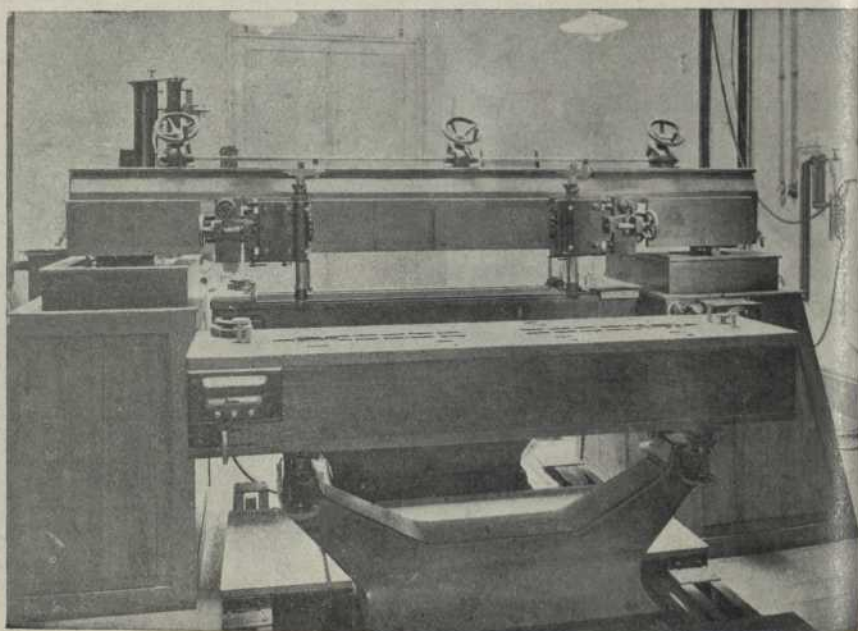


Fig. 4. - Comparador de dilatació.

perfecte, comparador dels germans BRUNNER, de moviment transversal: la figura 3 en dona una bona idea. És aquest, doncs, un comparador a trets.

Hi ha comparadors amb desplaçament longitudinal, en els quals els microscopis es subjecten a una distància determinada i el banc es desplaça per mitjà d'una cremallera i un pinyó: s'utilitzen per comparar petites longituds o per determinar l'error de graduació d'un model.

També hi ha comparadors universals, amb els dos moviments transversal i longitudinal, i microscopis mòbils. Permeten realitzar totes les operacions; però les mesures solament poden fer-se a l'aire.

Com sigui que la longitud absoluta d'una regla és sempre relativa a la temperatura per causa de la dilatació, cal precisar la dilatabilitat per mitjà dels

comparadors de dilatació. Pot prescindir-se de la dilatació en les mesures quan es tracta de regles de la mateixa dilatabilitat. El *Bureau* ha utilitzat diferents comparadors de dilatació, i en 1926 instal·là l'actual, que permet mesurar regles fins a 1,25 m, i és accionat tot ell elèctricament (Fig. 4). Un comparador de dilatació té dues cuves; l'una és mantinguda a una temperatura constant mentre dura l'operació i l'altra a una sèrie de temperatures fixes; les cuves tenen paret doble i l'aigua circula per dintre d'elles.

Per a comparar regles que excedeixin d'un metre, com per exemple, les regles i fils geodèsics—els fils o cintes són avui dia quasi exclusivament d'invar i, en general, de 24 metres de llarg—es cotegen metre per metre amb models d'un metre i s'investiga la dilatació que poden experimentar en ésser utilitzades en el camp. El dispositiu està constituït per un comparador amb diversos microscopis, a manera d'un conjunt de comparadors d'un metre disposats com el comparador de dilatació; els de les regles de 4 metres, molt utilitzades per a les bases geodèsiques, tenen cinc microscopis. Avui es prefereix fer l'estudi de la dilatació apart, sobre un model de 1 m, construït en la mateixa fosa que la regla.

La mesura de les bases geodèsiques ha tingut, sempre, extraordinària importància i ha sofert una revolució amb el descobriment de l'invar i amb la introducció del mètode del suec JADERIN, que consisteix a utilitzar com a instrument de mesura un fil amb petites regles graduades en els caps i sotmès a una tracció determinada, variable segons la longitud: 10 Kg a la longitud normal, 24 metres. La dilatació del fil s'estudia apart en models de la mateixa matèria.

El *Bureau* posseeix una base geodèsica de control, que es serva en una llarga galeria subterrània. La base, instal·lada primerament a principis de segle, fou substituïda recentment per una de nova que compleix totes les exigències. Aquesta base és determinada pels punts assenyalats per set microscopis a distàncies de quatre metres, les quals són mesurades per sis regles de quatre metres que ocupen, successivament, llurs intervals. Els microscopis dels extrems serveixen per determinar la longitud de fils que constitueixen l'enllaç entre la base principal i una altra secundària instal·lada a la paret de la galeria enfrontada amb la primera. Totes les comparacions de fils es fan sobre aquesta base provista de mires anàlogues a les que s'usen en el camp. Els microscopis terminals porten unes peces que s'utilitzen per regular amb precisió, sobre les quals s'apoen les petites regles dels fils que serveixen per passar d'una base a l'altra; les regles estan dividides en dècimes de mil·límetre. La base secundària està formada per dues mires muntades sobre escaires, collats mitjançant caragoles a la paret segona. Els fils models es col·loquen en la mateixa posició que han d'ocu-

par els que es comparen amb la base; i les divisions s'observen per mitjà de dos microscopis enfocats a les mires. La seguretat de la utilització dels fils en el camp, la prova el fet que les bases antigues conegudes, tornades a mesurar amb fils, han donat solament errors nuls o bé de 1 o 2 centèsimes de mil·límetre i àdhuc menys d'una milionèsima. Aquest precedent, junt amb l'economia del material, ha revolucionat la Geodèsia.

Per mesurar models a caps, el *Bureau* posseeix diversos aparells. El comparador dels senyors BARIQUAND i MARRE està format de dues correderes amb puntes esfèriques que comprimeixen, mitjançant la tracció d'unes peces, la peça a mesurar, la qual és sostinguda per una platina solidària d'un gros caragol, que pot ésser centrada. Aquest aparell, des del seu origen, està destinat a mesurar els diàmetres i les altures de cilindres per a la determinació del volum del quilogram d'aigua.

Al mateix objecte es dediquen el comparador automàtic del coronel HARTMANN i les màquines de mesurar: el comparador de HARTMANN consta d'un banc amb dos punts, a manera de torn de tornejar, entre els quals hi ha un transportador que sosté els dos models a comparar. Aquest comparador dóna resultats assimilables als que s'obtenen amb les bones regles a trets, sempre que s'utilitzi per a la determinació de models de construcció idèntica.

L'aparell de mesurar de la "Société Genevoise" es fonamenta en la reversió de les funcions del microscopi i de la regla dels aparells de mesurar, constituïts d'un microscopi solidari del punt mòbil enfocats sobre una regla graduada col·locada a un costat. Amb l'aparell de la "Société Genevoise" s'elimina l'error de principi d'aquests aparells: error de primer ordre en el resultat si el moviment del microscopi no és perfectament rectilini. Per tal d'assegurar un esforç constant, el punt fix està provist de caragols micromètrics, microscopi i micròmetre.

El mètode en què es basen aquests aparells, per a regles de caps, havia estat abandonat durant 50 anys; però avui dia torna a estar en ús. També s'utilitzen els de reflexió i els de producció de franges d'interferència. El primer va ésser emprat en la comparació del "metre dels Arxius" amb el prototipus internacional provisional del qual es derivà el definitiu. Amb el mètode interferencial s'obté una aproximació d'unes centèsimes de micra. El *Bureau* posseeix el dilatòmetre de FIZEAU, completat per BENOIT, que utilitza per a dilatacions de petits models.

GRADUACIÓ DE LES REGLES METRIQUES: MAQUINES DE DIVIDIR

Quan es creà el *Bureau* no es posseïen models de subdivisions del metre amb garantia suficient: així, doncs, hi havia, com diu el senyor GUI-

LLAUME, "mil·límetres" de BRUNNER i "mil·límetres" de FROMENT. El senyor BENOIT va ésser encarregat de l'estudi de l'anomenada Regla normal del *Bureau*.

El *Bureau* utilitza per dividir la línia recta, la màquina de dividir de la "Société Genevoise" (Fig. 5); un estilet fix grava sobre la regla que es desplaça longitudinalment per mitjà d'un carro; l'aparell està dotat de dispositius per corregir les irregularitats del caragol que mou aquest últim; és completament automàtic i traça uns 1.000 trets en 16 hores. El

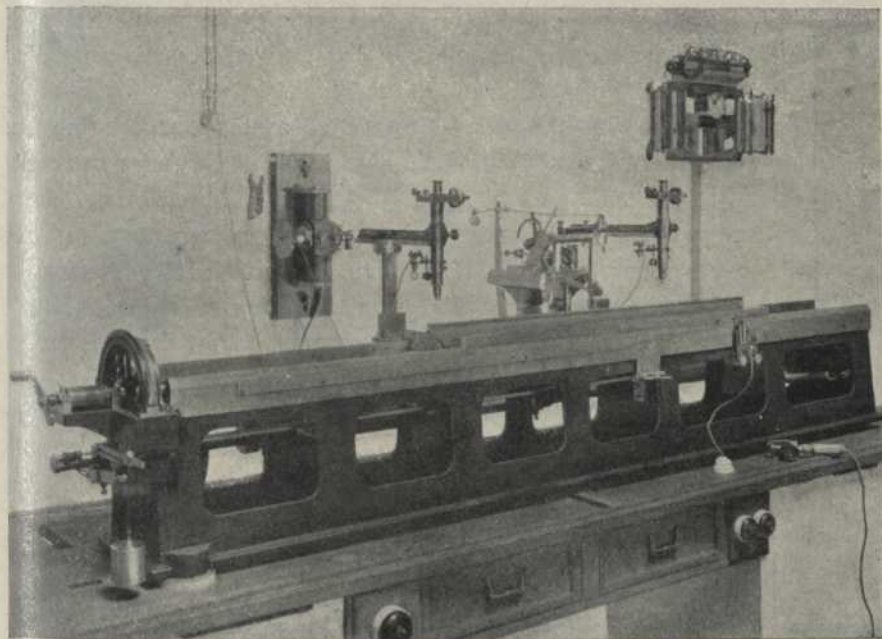


Fig. 5. -Màquina de dividir

Bureau ha estudiat 95 regles i, a més, ha confeccionat 80 models del decímetre graduats al mil·límetre, en invar, en níquel i en aligació de 43 per cent de níquel, tots amb un poliment especular admirable i amb trets de gran precisió. Aquests models han estat repartits, la major part, entre instituts científics de diferents països.

MESURES DE MASSES

El prototipus internacional és el quilogram K_3 d'aliatge de platí-iridi, forma cilíndrica, amb línies de les bases arrodonides i de diàmetre igual a l'altura. És còpia de la peça dels "Arxius", i pertany a una sèrie de 43

que s'acabaren de construir en 1886. Espanya té els models 3 i 24. Es conserva, amb els seus testimonis, a l'armari del metre internacional.

Per comparar els models de pesos no hi ha altre mètode de precisió que els que utilitzen les balances de braços iguals: a la sala de balances del *Bureau* hi ha, entre altres, els models de RÜPRECHT i de BUNGE (aquest últim, també, per a pesades en el buit). Totes aquestes balances es manipulen des d'alguns metres de distància, per tal d'evitar la influència de la temperatura de l'operador.

A més, el *Bureau* posseeix balances especials: una, construïda per HEUSSER que dona la millèsima de milligram per a càrregues de fins a deu grams. El model de COLLOT i LONGUE està proveït d'un amortiguador d'aire i permet pesades per lectura.

En les balances hidrostàtiques, el BUREAU ha perfeccionat contínuament la maniobra de la submersió del cos a l'aigua: en les primeres determinacions de la densitat dels quilògrams prototipus, els cilindres foren submergits amb l'eix vertical; però per evitar les bombolles d'aire adherides a la base inferior, s'adoptà la suspensió horitzontal amb un sol fil, que manté ben equilibrada la peça; aquest fil metàl·lic, finalment, fou substituït, seguint a F. KOHLRAUSCH, per un de platinat. Si el cos a submergir és de forma cúbica es segueix la suspensió de P. CHAPPUIS, de tres braços.

Les peces submúltiples, de les quals depèn l'exactitud de les pesades, es construeixen segons diversos diagrames, els quals, en el fons, consisteixen tots a comparar un nombre determinat de pesos entre ells i a un valor igual a llur suma.

* * *

No acaba ací la tasca del *Bureau*. Com hem dit, s'ha vist també obligat a ocupar-se d'estudis termomètrics, baromètrics, composició de l'aire, valor de g , etc.; puix cal no oblidar que la dilatació dels metalls dels models mètrics és d'ordre de la centmillèsima per grau, i com que es demana de superar la dècima de micra en les mesures de comparació, els termòmetres utilitzats han de garantir més de la mitja centèsima de grau. Aquesta precisió pot ésser evitada quan es tracta de regles d'idèntica dilatabilitat, sotmeses a la mateixa temperatura. També l'impuls de l'aire contra els cossos obliga a conèixer la densitat de l'aire amb una aproximació de $1/10000$. S'haurà, doncs, de conèixer la pressió a la centèsima de mil·límetre i la temperatura amb 2 o 3 mil·lèsimes de grau. El *Bureau* s'ha dedicat molts anys a l'estudi dels termòmetres de vidre dur, de gasos i de resistències, i ha subministrat, a més, models dels primers.

* * *

No volem acabar aquesta lleugera descripció, en la qual s'han passat per alt detalls de gran interès, que són, precisament, els que han permès assolir un extraordinari grau de precisió, sense testimoniar al savi director del *Bureau*, senyor GUILLAUME i als seus auxiliars, el nostre agraiment per les atencions rebudes en tan agradable e inoblidable visita.

MODEST BARGALLÓ
*Professor a l'Escola Normal
de Guadalajara*