

RECUPERACIÓ I ESTUDI D'UNA MÀQUINA D'ATWOOD DE LA FACULTAT DE FÍSICA DE LA UNIVERSITAT DE BARCELONA

**SANTIAGO VALLMITJANA;¹ CARMÉ CLEMENTE;²
FRANCISCO PÉREZ-BLANCO²**

¹DEPT. DE FÍSICA APLICADA I ÒPTICA, UNIVERSITAT DE BARCELONA.
santi.vallmitjana@ub.edu

²ESCOLA D'ART I DISSENY DE LA DIPUTACIÓ DE TARRAGONA A TORTOSA.
cclemente@djpta.cat

Resum: Mitjançant un conveni de col·laboració amb la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona, el taller de restauració de l'Escola d'Art i Disseny de la Diputació de Tarragona, a Tortosa, ha recuperat un interessant aparell per a l'ensenyament de la física mitjançant demostracions experimentals. Es tracta d'un instrument dissenyat pel científic anglès George Atwood per a l'estudi i la mesura de l'acceleració i en particular de la caiguda dels cossos i del càlcul de l'acceleració de la gravetat. El present treball realitza un examen de la precisió amb mesures reals efectuades amb l'aparell i conclou explicant el procés d'intervenció i recuperació.

Paraules clau: restauració d'instruments científics, instruments de física, física experimental, aparells per la física experimental, màquina d'Atwood

Recovery and study of an Atwood machine belonging to the University of Barcelona Faculty of Physics

Summary: Through a collaboration agreement with the University of Barcelona Faculty of Physics, the restoration workshop at the School of Art and Design of the Regional Government of Tarragona, in Tortosa, has restored an interesting device for the teaching of physics through experimental demonstrations. It is an instrument designed

by the English scientist George Atwood for the study and the measure of the acceleration, and in particular the fall of the bodies and the calculation of the acceleration of gravity. The present work examines the accuracy with real measures made with the device and explains the process of intervention and restoration.

Key words: restoration of scientific instruments, instruments of physics, experimental physics, instruments for experimental physics, Atwood's machine

Introducció

L'observació del moviment de caiguda dels cossos és una important part de l'estudi del moviment en general o cinemàtica i ha estat sempre present entre les preguntes que s'han anat fent els estudiosos de la ciència. La idea bàsica consisteix a relacionar els espais recorreguts amb els temps emprats, però amb els precaris mitjans de comptar el temps, la principal dificultat sempre estava en la rapidesa de caiguda i, per tant, en la manca de temps suficient per obtenir resultats amb la suficient precisió. Sembla que al voltant del 1604 Galileu,

veient la dificultat en les temptatives experimentals d'estudi de la caiguda en la torre de Pisa, va idear una manera d'alentir el temps de caiguda modificant l'acceleració mitjançant un pla inclinat. Malgrat les millores en l'apreciació del temps emprat, encara quedava el problema del fregament que dificultava la precisió de l'estudi.

Anys més tard, George Atwood (1745-1807), físic i matemàtic, va idear una màquina per il·lustrar i mesurar amb gran precisió el moviment accelerat de la caiguda dels cossos, confirmant al mateix temps les lleis de Newton.



Descripció teòrica del funcionament de la màquina

Bàsicament es tracta d'una politja amb un enginyós mecanisme per evitar el fregament. La politja suporta un cordill del qual pengen dos pesos iguals, un a cada banda. En afegir un pes addicional en un extrem, el conjunt comença a moure's amb un moviment uniformement accelerat.

Si M és la massa de cada un dels pesos dels extrems i m és la massa addicional; si considerem el fregament com a menyspreable, i "g" és l'acceleració de la gravetat, la força resultant que motiva la caiguda és:

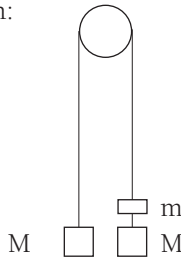
Figura 1. La màquina d'Atwood.

$$(M + m) g - Mg = mg$$

La massa total en moviment és: $M + M + m = 2M + m$

Si "a" és l'acceleració, tindrem:

$$mg = (2M + m) a$$



Per tant:

$$a = g \frac{m}{2M + m}$$

Si, per exemple, $M = 180$ grams i $m = 40$ grams: $a = \frac{1}{10} g$

Si, per exemple, $M = 195$ grams i $m = 10$ grams: $a = \frac{1}{40} g$

Amb aquests exemples es pot veure com amb una massa petita afegida i masses iguals grans, es pot reduir l'acceleració de la gravetat en una fracció important, cosa que permet facilitar l'estudi del moviment.

Descripció de l'aparell i del mecanisme

A primer cop de vista l'instrument destaca per la seva gran envergadura (2,4 m), com es veu en la figura 1. Es compon d'una columna de fusta de més de dos metres sobre una base també de fusta. En la part superior hi ha el mecanisme de la polsija, i verticalment té un regle de mesura en centímetres (o en polzades i fraccions) i unes anelles de metall per referenciar o mesurar la baixada dels pesos.

Un punt clau en el disseny de la màquina és el mecanisme de la polsija. El seu eix no es recolza sobre una base o uns coixinets, sinó directament sobre les vores ben esmolades de dues rodes, de manera que el fregament per rodament és quasi menyspreable (figura 2).

El mecanisme de mesura del temps en el cas estudiat és un pèndol que oscil·la exactament a 1 segon i que comunica amb una campana per sonoritzar aquests segons. La longitud del pèndol és de 994 mm, de manera que cada oscil·lació és d'1 segon, tal com explica l'equació del pèndol:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

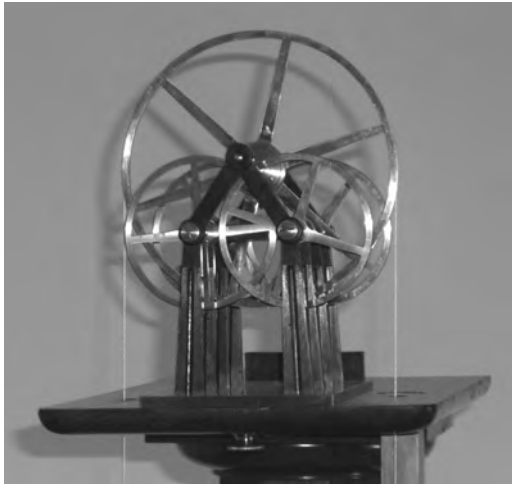


Figura 2. Detall de les rodes de la politja.

En el nostre instrument, inicialment la part més pesada ($M + m$) descansa sobre una plataforma abatible en la posició zero d'alçada. En deixar anar el pèndol, passa pel centre, toca la campana i allibera la plataforma mitjançant unes barnilles.

D'aquesta manera se sincronitza el temps $t = 0$ amb l'inici del moviment. Per tempteig es van col·locant unes anelles al llarg del regle vertical en cada segon que sona la campana, i s'obtenen així els espais recorreguts en cada segon. El so de la campana cada segon permet relacionar el temps amb el pas dels pesos pel costat de l'escala marcada en el regle proper al fil.

Comparant les diverses màquines trobades en els llibres de text, es veu com més tard s'hi afegeixen un timbre elèctric i un rellotge (de corda o de pèndol) per millorar-ne la precisió (figures 3 i 4).

Descripció del funcionament experimental i valor didàctic

El mètode didàctic habitual segons llibres de text de l'època —com el de Ganot (1890), etc.— consistia en les demostracions següents:

a) Demostració de la llei dels espais. Per tempteig es posen les anelles als llocs corresponents als espais recorreguts als instants 1, 2, 3, 4, segons. Així es comprova la proporcionalitat dels espais recorreguts a les xifres: 1, 4, 9, 16, és a dir: l'equació:

$$e = \frac{1}{2} at^2$$

Els increments d'espai són $\Delta e = 1, 3, 5, 7$. Per aquesta raó també la descriuen alguns textos com la llei dels nombres senars.

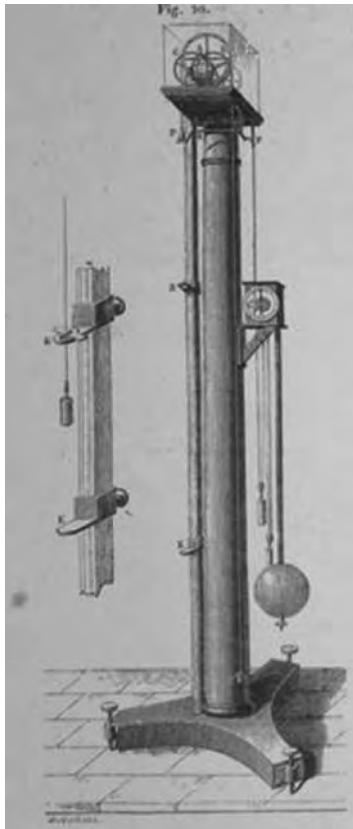


Figura 3. Il·lustració d'una màquina d'Atwood a Jamin (1881).

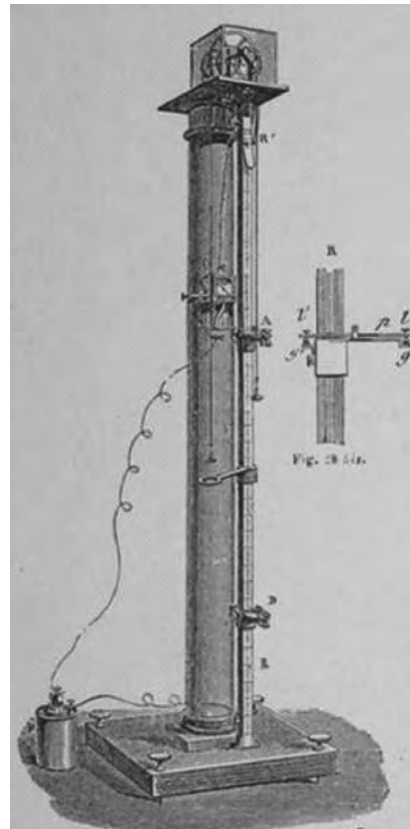


Figura 4. Il·lustració d'una màquina d'Atwood a Lozano (1898).

b) Demostració de la llei de les velocitats. Els anteriors increments permetien calcular les velocitats mitjanes: $\frac{1}{2} (1 + 3)$, $\frac{1}{2} (3 + 5)$, $\frac{1}{2} (5 + 7)$ i comprovar l'equació:

$$v = at$$

És a dir, es comprova que les velocitats són proporcionals a 2, 4, 6. Per aquesta raó també la descriuen alguns textos com la llei dels nombres parells.

c) Demostració del moviment uniforme. Una anella especial en combinació amb la forma del pes afegit permetia alliberar-la, com es veu en la figura 3. A partir d'aquest punt es comprova que els espais recorreguts en cada segon són iguals, és a dir, l'equació del moviment uniforme:

$$e = vt$$

Importància de l'aparell

Probablement a causa de la vistositat dels experiments, de la claredat de la descripció del moviment rectilini, i possiblement també de la grandària de l'aparell, la màquina està descrita en la majoria dels llibres de text de mitjan segle XIX.

A continuació se citen diferents autors de llibres de text consultats que han fet la descripció de l'aparell: Pouillet (1841), Ganot (1890), Ortiz (1860), Rodríguez (1858), Jamin (1881), Guillemin (1883), Feliu (1878, 1922), Lozano (1898) i Alcobé (1925).

Arran de les reformes introduïdes el 1845 de Pedro José Pidal en l'ensenyament s'elabora un catàleg, *Catálogo modelo de las máquinas é instrumentos necesarios en una Cátedra de Física experimental* (Simó *et al.*, 2005: 87). Així, aquest aparell estava a la llista publicada en las *Disposiciones relativas al material científico de los Institutos* de la Real Orden de 10 Abril de 1847, núm. 1114, *Catálogo-Modelo de los instrumentos de Física y Química necesarios para las demostraciones en las cátedras de los institutos provinciales de segunda enseñanza*. També cal afegir que n'hem trobat el nom en una relació d'objectes del Gabinet de Física de la Facultat de Ciències de Barcelona amb data de 26 de juny de 1868 (CAT-AUB),¹ però probablement es tracta d'un aparell anterior al descrit.

Estudi experimental. Mesures amb l'aparell i discussió dels resultats

Un cop restaurat, s'han realitzat una sèrie de proves emprant unes masses amb $M = 190$ g i $m = 2,1$ g, i mesurant els espais en els temps compresos entre tres i set segons.

La taula adjunta mostra els espais obtinguts en tres grups de proves en relació als temps citats en la part esquerra. Si es calcula per cada temps i espai, s'obté en la part dreta el valor de les acceleracions corresponents.

Taula 1. Espais mesurats i valors resultants de l'acceleració

Temps (s)	Espais mesurats (cm)			Valors acceleració (cm/s ²)		
3	19	20	22	4.2	4.4	4.8
4	39	40	42	4.9	5	5.2
5	58	61	63	4.6	4.8	5.1
6	90	100	107	5	5.5	5.9
7	128	130	133	5.2	5.3	5.4

La major dificultat està en captar el punt pel qual passa en sentir el so de la campana. Com es pot veure, caldrien moltes més mesures per tenir uns valors amb més significat es-

1. Arxiu històric de la Universitat de Barcelona (CAT-AUB 02 25/2/7/4).

tadístic. Per altra banda, podem calcular el valor que correspondria a l'acceleració de caiguda, ja que amb les masses i l'acceleració de la gravetat, g , es pot calcular el seu valor, segons l'expressió mostrada en l'apartat 2. El valor és $5,38 \text{ cm/s}^2$.

A partir d'aquest valor s'obtindrien uns espais recorreguts, com en la taula següent:

Taula 2. Valors d'espai recorregut suposant $a = 5,38 \text{ cm/s}^2$

Valors per acceleració $5,38 \text{ cm/s}^2$	
Temps (s)	Espai recorregut (cm)
1	2.7
2	10.8
3	24.2
4	43.1
5	67.3
6	96.9
7	131.7

Un examen comparatiu entre aquestes taules ens mostra una tendència a tenir menys recorregut en els primers segons (segons 3, 4 i 5) i una tendència a allargar-se en els següents (segons 6 i 7). Aquesta mateixa tendència també es reflecteix clarament en els valors de l'acceleració. L'explicació que hem trobat està en el fet que el cordill té una massa que no és menyspreable, i, per tant, la força que tiba del conjunt augmenta progressivament. tira el conjunt.

Concretament, si la densitat lineal de masa del fil emprat és $0,6 \text{ g/m}$, a l'inici el valor diferencial de les masses m és $1,8 \text{ g}$; a la meitat, és $2,1 \text{ g}$, i al final, $2,4 \text{ g}$. Les acceleracions serien: $4,61 \text{ cm/s}^2$, $5,38 \text{ cm/s}^2$ i $6,15 \text{ cm/s}^2$, valors que concorden bastant amb els mesurats.

Això també explica perquè els llibres descriuen sempre que el fil és de seda, perquè això disminueix el problema de la diferència de pes. La nostra recomanació, si es tornés a fer l'experiment, fóra que el fil un cop lligat a cada massa segueixi fins a terra, de manera que sempre hi hauria la mateixa quantitat de fil en ambdós braços. Aquesta influència del fil també ha estat descrita per Johnson (2001), que fa l'experiment amb un cordill sense fi, de manera que per sota dels pesos, abans d'arribar a terra, tanca el bucle.

Si realitzem un petit càlcul d'errors, es pot fixar un resultat final de l'acceleració de la gravetat d'un valor entre 942 i 998 cm/s^2 , és a dir:

$$g = 970 + /- 28 \text{ cm/s}^2$$

Les causes d'error es resumeixen en:

a) Errors de massa (són els més importants): L'esmentat pes del fil, errors del valor dels pesos (ja que la diferència és molt crítica).

b) Errors sobre els espais recorreguts: Poques proves (poca estadística). Poques anelles de referència. Errors de paral·laxi en observar les anelles.

c) Malgrat el poc fregament, caldria tenir present el moment d'inèrcia del sistema de poltges tal com va proposar Wang (1973).

Breus dades sobre l'inventor i sobre el fabricant de l'aparell

George Atwood va néixer a Westminster el 1745. Va estudiar a la mateixa ciutat i els bons resultats dels seus estudis li van garantir una beca el 1759 per anar a estudiar al Trinity College de Cambridge. Es graduà, i va ser professor, i el 1769 fou nomenat *fellow* de la mateixa universitat. El 1776 fou *fellow* de la Royal Society de Londres. El 1784 deixà la plaça de professor de Cambridge en tenir un ofici relacionat amb una oficina de patents, cosa que li va permetre dedicar més temps a les matemàtiques i a la física. Atwood morí a Westminster a l'edat de 61 anys.²

Pel que fa al fabricant del nostre aparell, malgrat que hi ha una placa de llautó amb una clara referència al constructor que diu: «P.C. GERBOZ Constructeur 52 Rue des Écoles Paris», ha estat difícil trobar-ne referències. Efectivament, hi ha alguna descripció d'aparells científics d'un constructor francès, Pierre Casimir Gerboz, a la revista *La Nature* de 1885,³ en què es descriu un comptador hidroelèctric, i de 1886, en què es descriu un termòmetre elèctric, ambdós del fabricant Gerboz.

També hi ha una referència relativa als arxius de l'Exposició General italiana a Torí de l'any 1883-1885, on figura una carta de Pierre Casimir Gerboz dirigida al president de l'esdeveniment, Galileo Ferraris (Gobbo, 2005).

Concloem que probablement fou adquirit entre 1880 i 1890, i fou utilitzat en les experiències de càtedra en la Secció de Física de la Facultat de Ciències de la Universitat de Barcelona.

Dades del procés de conservació i restauració

L'aparell ha estat restaurat pel Taller de Conservació i Restauració de l'Escola d'Art i Disseny de la Diputació de Tarragona, a Tortosa, uns espais destinats a l'aprenentatge i a la recu-

2. Una referència biogràfica més completa de George Atwood és a: <http://www-groups.dcs.st-and.ac.uk/~history/Biographies/Atwood.html> (data de l'últim accés: 25-10-2010).

3. Núm. 67, 237-238. Vegeu: <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.25/241/100/432/0/0> (data de l'últim accés: 25-10-2010).

peració dels béns culturals entre els quals destaquen els instruments científics. Una experiència pionera que va començar fa quinze anys i que compta amb un ventall interessant d'intervencions (Clemente, 2000; Batlló *et al.*, 2003; Curto *et al.*, 2003; Clemente, 2004).

Descripció i estat inicial dels elements compositius

La gran majoria d'aparells científics es caracteritzen pels diversos tipus de materials amb què estan compostos amb comportaments fisicoquímics molt diferents, la qual cosa suposa un problema per a la seva conservació. En general, les matèries més comunes que constitueixen els objectes són la fusta i els metalls, en certa manera incompatibles entre si perquè el material ligni sempre emana vapors que ajuden a la corrosió dels metalls quan aquests ja han perdut els vernissos protectors. El metall constructiu més emprat és el llautó, per la seva facilitat de treball i pel seu color. Sempre està lacat, principalment per evitar la seva oxidació, però aquestes laques històriques també aconsegueixen una funció estètica, perquè estan acolorides amb diferents tonalitats de colorants, amb la clara intenció d'assolir una presentació acurada i crear certs efectes harmònics del conjunt. Concretament, a la màquina d'Atwood podem observar dos tipus de coloracions en groc or i negre que es combinen entre si. Un altre metall que també està present, però de forma més puntual, és el ferro acerat, emprat en els elements que suporten una certa fricció i que han de resistir càrregues.

Elements de fusta:

a) Plataforma d'anivellament (figura 5)

Construïda amb fusta de pi i xapada amb palma de caoba. La seva forma és triangular amb els vèrtexs arrodonits. Presenta algunes pèrdues de xapa, amb abonyegaments causats

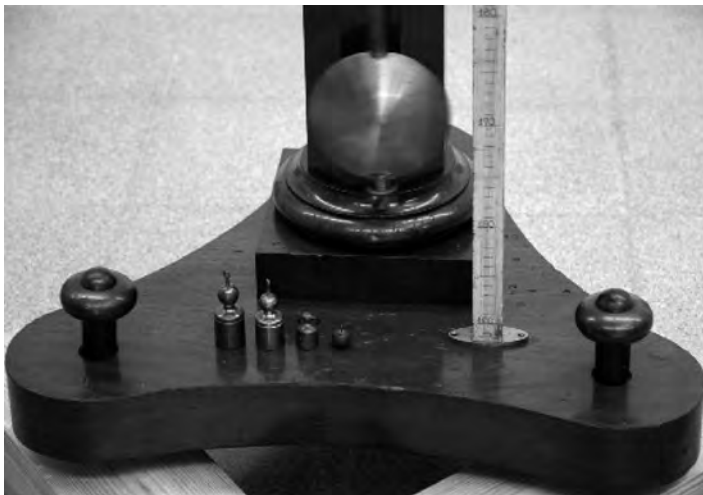


Figura 5. Detall de la base.

per l'ús (caigudes del pèndol). L'estructura de la plataforma porta inserits tres cargols de fusta tornejats que possibiliten l'anivellament.

La fusta emprada és de dues classes: la part superior és de noguera i el tram de la rosca és de pi, una fusta molt més tova que presenta un important atac per insectes xilòfags, que han provocat pèrdues i debilitament de la matèria, fins al punt que un dels cargols està partit.

b) Columna

Segueix l'estructura arquitectònica d'un element de sustentació format per tres parts:

1. Base. Composta per un plint o sotabase, peça quadrada de perfil recte, construïda en pi xapat amb palma de caoba a totes les cares, que realça i eleva el següent element fet de caoba massissa, que està format per dues motlures de formes contraposades: un tor voluminós de perfil convex de secció semicircular, seguit d'una escòcia de forma còncava semicilíndrica.

2. Fust. La seva forma és octogonal amb dues espigues roscades als extrems. Està xapada també amb palma de caoba. Presenta algunes escarificacions causades per l'acció del pèndol, petites pèrdues de xapa i rascades per l'ús. A la part superior hi ha una placa de metall gravada: «P.C. GERBOZ Constructeur 52 Rue des Écoles Paris», i al dessota, tapat, s'hi troben pintades les inicials: J G C.

3. Cornisa o coronament. Remata el cos arquitectònic i està format per una peça de caoba massissa de tonalitat ataronjada, motllurada en forma de quart bossell (convex), i al damunt hi ha una peça quadrada xapada en palma de caoba, similar a la situada a la base, però una mica més prima.

c) Plataforma de la politja

És la base on es col·loca la maquinària de la politja. Construïda en caoba massissa de tonalitat ataronjada, sense cap tipus de desperfecte.

d) Vitrina

És un element que no pertany a la mateixa època que la resta de l'aparell, atès que les mides no s'ajusten a les de la plataforma. El vidre és de fabricació artesanal. És un fet usual trobar elements no originals que sovint són reaprofitats d'altres aparells similars.

e) Regleta

Llistó de secció quadrada situat paral·lelament al fust. La regleta té un acabat lacat que imita un marbrejat blanquinós, i la graduació i numeració està gravada i després pintada en negre. Té una important presència de forats produïts pels insectes xilòfags amb pèrdua a la base inferior. Té diferents marques de cargols i a l'interior d'un dels forats hi ha un cargol partit.

Elements de metall:

a) Cos de la politja

L'estructura que suporta les rodes de les politges és de llautó lacat en negre. La base de l'estructura, les rodes i els caps dels cargols de subjecció a la plataforma de fusta són de llautó lacat en groc or (figura 2). Altres cargols són d'acer. En general, l'estat de conservació del metall i dels lacats és bo.

b) Pèndol

Està compost per una vareta amb una suspensió del pèndol articulada i un passador prismàtic mòbil, tot d'acer. La lentia és de llautó lacat en groc d'or, plena a l'interior amb plom. La principal alteració és la important capa d'oxidació que presenta l'acer, que bloqueja i impedeix la mobilitat dels elements.

c) Suport del pèndol

Construït en llautó lacat en negre i daurat, menys el llit del passador i els topalls, que són d'acer.

d) Transmissor de moviment

Format per una vareta amb diferents elements de llautó lacat amb les tonalitats daurada i negra (figura 6). Li manquen els cargols de subjecció a la regleta.

e) Timbre de campana i martell

Els materials constitutius són el ferro i el bany cromat que recobreix la campana. Hi destaquen petites oxidacions.



Figura 6. Mecanisme de sincronització de l'inici del moviment.

f) Pesos

N'hi ha quatre i són de llautó, tres són lacats en daurat i contenen plom a l'interior, i el quart és petit, rodó i lacat en negre.

Tractaments de conservació i restauració

La primera operació que es realitza és l'estudi previ de l'obra i la documentació fotogràfica; després es procedeix el desmuntatge de l'aparell, observant minuciosament qualsevol detall que pugui proporcionar informació. A partir d'aquí s'inicia el procés de neteja de cadascun dels elements. L'eliminació de la capa de brutícia adherida a les fustes es realitza amb un sabó compost d'oleat de potassi amb acció germicida (*Vulpex* 5% H₂O). La neteja dels elements metàl·lics de llautó lacat es fa amb una emulsió aquosa tensioactiva aniònica a baix percentatge (*Lissapol* 5% H₂O), i l'oxidació de l'acer s'elimina amb mitjans mecànics, principalment ganivet i bisturí, amb una aplicació molt controlada per evitar ratllades; posteriorment es poleix aquesta superfície amb una pasta de material abrasiu (*Rinci*).

Es reconstrueixen les pèrdues de fusta que requereixen una major consistència: base posterior de la plataforma d'anivellament i cargols roscats, amb una pasta de resina epoxi (*Araldite* HV 427 i SV 427). Els forats de la regleta ocasionats pels insectes xilòfags s'emplen amb estuc de cera de diferents tonalitats. Les pèrdues dels materials d'embelliment com la xapa, es tornen a reconstruir amb nous retalls de xapa tenyida i lacada, i també es refan les motlures de mitja canya que decoren el fust de la columna.

S'integren cromàticament els tons de les fustes afegides, mitjançant reparadors de base oliosa, i també tints d'extracte de caoba i nogalina, per procedir posteriorment a un lacat de la superfície amb goma laca.

Finalment es protegeix la superfície de tots els metalls amb una resina acrílica (*Paraloid B72*) i cera microcristal·lina (*Renaissance*), abans de tornar a muntar l'aparell i fer la posada en funcionament.

Tots els tractaments que s'han aplicat en aquest aparell segueixen uns criteris d'intervenció que coincideixen amb els emprats a la majoria de centres o museus francesos i italians dedicats a la conservació i restauració de material científic. Es basen principalment en el respecte per l'obra original, i en la preservació dels aspectes formals, estructurals, materials (com les laques històriques, les petjades i marques causades pel temps) i quan no perilla l'obra, com en aquest cas, també els funcionals, reconstruint els elements perduts que són necessaris per a la posada en marxa (Giatti & Miniatti, 1988; Masetti, 1993; Marotti, 2004; Brenni, 2007; Carré & Mirambet, 2007; Deiller, 2007; Lalande & Trotignon, 2007; Rapp, 2007). Tot i així, cal continuar investigant en nous tractaments i materials que siguin més específics i eficaços per a la problemàtica concreta que presenten els aparells científics.

El patrimoni científic i tecnològic representa una font documental històrica de gran valor i significat per entendre l'evolució de la ciència i la tècnica. La seva recuperació requereix d'un treball molt minuciós i acurat, i de la col·laboració i diàleg entre diferents experts, con-

servadors, restauradors, historiadors i físics, com ha estat el cas de la màquina d'Atwood que hem exposat.

Conclusió

S'ha presentat la recuperació d'una màquina d'Atwood de la Facultat de Física de la Universitat de Barcelona i també unes proves del seu funcionament. Fou utilitzada en les experiències de càtedra en la Secció de Física de la Facultat de Ciències de l'esmentada universitat des de finals del segle XIX fins a la meitat del segle següent. Ha estat restaurada pel Taller de Restauració de l'Escola d'Art i Disseny de la Diputació de Tarragona, a Tortosa, el 2008. S'han aplicat uns tractaments que segueixen els criteris fonamentals de respecte i conservació dels aspectes formals i materials originals de l'obra. Actualment es troba a la sala de l'entrada de la Facultat de Física pel carrer Pau Gargallo.

Bibliografia

- ALCOBÉ ARENAS, E. (1925), *Curso de Física General*, Librería Bosch, Rda. Universidad 5.
- BATLLÓ, J.; CLEMENTE, C.; PÉREZ-BLANCO, F.; VIDAL, F. (2003), «Estudi i reconstrucció d'un sismògraf Bosch-Omori», *VII Trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 559-567.
- BRENNI, P. (2007), «Quelques considérations sur la conservation des instruments scientifiques anciens», *Coré. Conservation et Restauration du patrimoine culturel*, **17**, 8-11.
- CARRÉ, A. L.; MIRAMBET, F. (2007), «La conservation du patrimoine scientifique et technique, un défi à relever», *Coré. Conservation et Restauration du patrimoine culturel*, **17**, 3-7.
- CLEMENTE, C. (2000), «La restauració d'aparells científics. L'experiència del taller de restauració de l'Escola d'Art de Tortosa», *V Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Roquetes, Institut d'Estudis Catalans, 167-174.
- CLEMENTE, C. (2004), «Els objectes historicocientífics restaurats a l'Escola d'Art i Disseny de Tortosa», *DERestaura*, **2**, 7-11.
- CURTO, J. J.; CLEMENTE, C.; PÉREZ-BLANCO, F.; GENESCÀ, M. (2003), «Espectrogoniòmetre solar de l'Observatori de l'Ebre, fonaments teòrics i restauració de l'aparell», *VII Trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 607-613.
- DEILLER, T. (2007), «Problématique de valorisation du grand équatorial coudé de l'observatoire de Besançon». *Coré. Conservation et Restauration du patrimoine culturel*, **17**, 18-25.
- FELIU PÉREZ, B. (1878), *Curso elemental de Física Experimental y Aplicada, y nociones de Química Inorgánica*, 4a ed., Madrid, Imprenta Viuda e hijo de Eusebio Aguado, C. Pontejos 8.
- FELIU PÉREZ, B. (1922), *Curso de Física*, 12a ed., Madrid, Imprenta hijos de Gómez Fuentenebro (3a edició el 1886).
- GANOT, A. (1890), *Tratado Elemental de Física Experimental y Aplicada y de Meteorología*, 9a ed., Madrid, Librería de Carlos Bailly-Baillièrre (1a edició francesa el 1851).
- GIATTI, A.; MINIATI, M. (1988), *Il restauro degli strumenti scientifici*, Florència, Alinea.
- GOBBO, R. (2005), *L'archivio di Galileo Ferraris*, Pdf, 95. Rassegna degli Archivi di Stato, nuova serie - anno I - n. 1-2, Roma, gen.-ago. 2005 http://www.archivi.beniculturali.it/DGA-free/Rassegna/RAS_2005_1-2.pdf
- GUILLEMIN, A. (1883), *El Mundo Físico*, Barcelona, Montaner y Simón.
- JAMIN, J. C. (1881), *Cours de physique de l'École polytechnique*, Paris, Gauthier-Villars.
- JOHNSON, G. O. (2001), «Making Atwood's Machine Work», *The Physics Teacher*, **39**, 154-158.
- LALANDE, T.; TROTIGNON, V. (2007), «La restauration de quelques instruments du XVIII^e siècle pour la démonstration du fluide électrique provenant du musée des Arts et Métiers», *Coré. Conservation et Restauration du patrimoine culturel*, **17**, 12-17.
- LOZANO Y PONCE DE LEON, E. (1898), *Elementos de Física*, 6a ed. de Jaime Jepús y Roviralta, Barcelona (3a edició el 1893).
- MAROTTI, R. (2004), *Introduzione al restauro della strumentazione di interesse storico scientifico*, Pàdua, Collana i Talenti.
- MASETTI BITELLI, L. (1993), *Restauro di strumenti e materiali. Scienza Musica Etnografia*, Florència, Ed. Nardini.
- ORTIZ, P. (1860), *Principios elementales de Física Experimental y Aplicada, incluso la Meteorología y la Climatología*, N.Y., Appleton y Cia.
- POUILLET, M. (1841), *Elementos de Física Esperimental y de Meteorología*, traducido por Pedro Vieta, Barcelona, Imprenta Brusi.
- RAPP, G. (2007), «Mise en conservation d'instruments scientifiques, cas du chronographe Gautier 1905 de l'Observatoire de Besançon». *Coré. Conservation et Restauration du patrimoine culturel*, **17**, 26-33.
- RODRIGUEZ, E. (1858), *Manual de Física General y Aplicada a la Agricultura y a la Industria*, Madrid, Imprenta de Eusebio Aguado.

SIMÓ, J.; GARCÍA BELMAR, A.; BERTOMEU, J. R. (2005), «Instrumentos y prácticas de enseñanza de las ciencias físicas y químicas en la Universidad de Valencia, durante el siglo XIX». *ÉNDOXA: Series Filosóficas*, **19**, 59-121.

WANG, C. (1973), «The improved determination of acceleration in Atwood's machine», *Am. J. Phys.*, **41**, 917-919.