

PROJECTE EDUCATIU: REPRODUCCIÓ A ESCALA DE TRES ELEMENTS DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE FRANCESC SANTPONÇ I ROCA

MARIA MONTAVA

CENTRE DE RECERCA PER A LA HISTÒRIA DE LA TÈCNICA, UNIVERSITAT
POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

Paraules clau: *projecte educatiu, màquina de vapor del segle XIX, Francesc Santponç, IES Esteve Terradas*

An educational project involving the scale reproduction of three elements of Francesc Santponç i Roca's steam engine

Summary: In this paper we present the results of an educational project that extended over a period of three school years. The main goal was to reproduce three elements of Francesc Santponç's steam engine as models. The students who were involved in the project were taking the Mechanical Manufacturing Training course. Two other goals of the project were the introduction of the history of science and technology into the educational curriculum, and the presentation of each model with a report at the annual Bonaplata Youth Awards competition. Here we explain the didactic sequence which we designed and the mechanization of the models that were built, all three of which took the first prize in the competition. The conclusions provide an overview of the goals which were achieved.

Key words: *educational project, 19th-century steam engine, Francesc Santponç, Esteve Terradas High School*

Context educatiu i organització del projecte

Aquest projecte educatiu es va portar endavant amb alumnes del cicle de fabricació mecànica a l'Institut Esteve Terradas de Cornellà. Els cursos escolars durant els quals es va desenvolupar foren 2015-2016, 2016-2017 i 2017-2018. Cada any s'escollia un grup de cinc alumnes que serien els responsables de portar endavant el projecte.

Els dos tutors que dirigien el projecte varen ser Àngel Carazo Garcia, professor del centre, que impartia diverses assignatures, i jo mateixa, Maria Montava Gadea, professora de matemàtiques en educació secundària i estudiant de doctorat en història de la ciència i la tècnica. El meu treball d'investigació gira al voltant de la màquina de vapor construïda per Francesc Santponç i Roca entre els anys 1804 i 1806.

Al llarg del curs escolar els alumnes aprenien els processos mecànics necessaris per portar endavant el projecte. Depenent de l'evolució del procés d'aprenentatge elegíem un màxim de cinc alumnes, que serien els responsables que el projecte anés endavant.

Podia implicar-s'hi qualsevol alumne que estigués inscrit al cicle de fabricació mecànica i que fos alumne del professor Àngel Carazo, qui havia de tutoritzar tots els processos mecànics. Aquesta circumstància va permetre que el projecte posés en contacte alumnes del cicle mitjà i del cicle superior, circumstància que va afavorir l'aprenentatge entre alumnes.

Eixos principals del projecte

Aquest projecte va girar al voltant de tres eixos principals, que considerem igualment importants. Per una part, complia amb les especificacions d'un projecte competencial que posava a treballar conjuntament alumnes de diversos nivells que compartien els seus coneixements sobre processos mecànics. Aquest eix, que podríem anomenar *eix curricular*, va comptar amb la implicació d'altres professors que col·laboraren dedicant temps de les seves assignatures per ajudar a enllestir el projecte. Els objectius que giraven al voltant d'aquest eix eren els que especifica el currículum educatiu del cicle de fabricació mecànica i que descriurem, amb major profunditat, més endavant.

El segon eix el podem anomenar *eix historicotecnològic* i va ser l'eix des del qual va partir la proposta didàctica. Al voltant d'aquest eix giraven dos objectius principals. El primer objectiu va ser la introducció de la història de la ciència i la tècnica en el procés didàctic. El segon objectiu va ser fomentar la participació dels estudiants en la investigació de la màquina de vapor que Francesc Santponç va construir a Barcelona a principis del segle XIX. En efecte, el resultat de la feina dels estudiants va suposar una contribució a la història de la ciència i la tècnica amb la construcció de tres maquetes: el cilindre i el pistó de la màquina, el registre que feia la màquina automàtica i els engranatges que transformaven el moviment lineal en rotacional.

El tercer eix l'anomenarem *eix Premis Bonaplata Joves*; cada any, es presentava als Premis Bonaplata Joves la maqueta junt amb una memòria descriptiva. Aquests premis anuals són atorgats pel Museu de la Ciència i de la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya i tenen com a objectiu guardonar els estudiants que hagin dut a terme treballs enfocats a la recerca en el camp de la valoració del patrimoni industrial.

Tinguérem la satisfacció de guanyar el primer premi en la nostra categoria durant tres anys consecutius. Aquesta circumstància va donar una motivació extra i una predisposició de l'alumnat del centre a la participació en el projecte de l'any següent.

Seqüència didàctica que es va seguir

Una de les dificultats del projecte era que els alumnes aprenien les tècniques de mecanització al mateix temps que les aplicaven a la mecanització de la peça. El disseny de la seqüència didàctica havia de facilitar una via per anar pas a pas en la consecució dels objectius. Cada any se seguien els passos següents per a la realització del projecte.

Mecanització de la maqueta i assoliment del currículum educatiu

Aquest pas de la seqüència didàctica, junt amb la realització dels plànols de la peça, constituïa la part del projecte en la qual es portava endavant el currículum educatiu. Els tutors havien d'assegurar-se que els alumnes adquirien les competències bàsiques, que es complien els objectius específics de l'educació formal i que els alumnes assolien els conceptes, competències i procediments del seu perfil professional. Tot seguit descriurem les competències del currículum educatiu incloses en aquest projecte.

Compliment de les especificacions de qualitat, seguretat i protecció ambiental

Es va complir de forma estricta amb l'habitual utilització de roba i calçat d'acord amb les mesures de seguretat i protecció, així com el tractament adequat de residus per a reciclar.

Mecanització per arrencament de ferritja i decisió dels processos de mecanització

Les dues màquines eina que utilitzaren els alumnes per a la mecanització de les peces foren la fresadora i el torn universal. Per als alumnes del cicle mitjà, que participaren en el projecte, era el primer cop que utilitzaven aquestes màquines i aprengueren a preparar-les, programar-les i operar-hi.

Per als processos més senzills de mecanitzat de la peça es van utilitzar la serra de tall de cinta, la foradadora vertical de columna, la serra caladora, la moladora radial i l'ús de la llima bàsica per a l'ajust de peces.

Tots els processos requerien molta precisió, tant els més senzills com els més complicats. Per als processos que varen requerir un aprenentatge més profund (a part de la mecanització per arrencament de ferritja amb el torn universal i la fresadora), es va fer ús de tècniques de roscat emprant mascles de rosca mètrica així com la soldadura amb arc elèctric, amb elèctrode de rútil E6013, i la soldadura oxiacetilènica.

Per al tractament de material es va utilitzar el forn elèctric industrial i empavonament amb submersió amb oli mineral SAE 20.

Ús d'instruments de mesura

La precisió requerida en l'ajust dels components de les peces mecanitzades requeria el bon ús d'instruments de mesura més específics. Els alumnes del projecte utilitzaren el peu de rei per mesurar diàmetres, gruixos, fondària o l'amplada d'una escletxa o cavitat, amb rang de mesura de 0-150 mm amb una precisió de 0,02 mm. Per mesurar gruixos amb major precisió, s'utilitzà el micròmetre amb un rang de mesura de 0-25 mm i una precisió de 0,001 mm. S'utilitzaren galgues passa no passa per verificar forats i diàmetres exteriors. Per determinar la inclinació d'una superfície o l'excentricitat d'un eix o d'una roda, es va emprar el rellotge comparador amb una precisió de 0,001 mm. I la utilització del goniòmetre per a la divisió d'angles.

Resolució de les incidències relatives a l'activitat professional i col·laboració amb l'equip de treball actuant amb responsabilitat i tolerància

Les inevitables dificultats que presenta la posada en marxa de qualsevol projecte és una oportunitat per enfrontar els alumnes a la presa de decisions per resoldre les incidències relatives a qualsevol activitat professional. La competència en l'anàlisi i resolució de problemes va ser treballada en diverses ocasions al llarg de la seqüència didàctica; es parlarà de les dificultats del projecte i de les resolu-

cions que es varen adoptar als apartats següents d'aquest treball, en els quals s'explica el procés de mecanització de les tres maquetes.

Una de les preocupacions dels tutors ha sigut la supervisió de la repartició de la feina i la coordinació de l'equip d'alumnes responsables del projecte. L'èxit en la consecució d'aquesta competència marcada en el currículum educatiu era essencial per realitzar amb reeiximent l'assemblatge final de les peces de la maqueta.

Redacció d'una memòria explicativa del procés

Cada memòria es redactava per explicar el procés de mecanització de cadascuna de les tres maquetes. Les memòries consistiren en una descripció de la màquina de vapor i de forma més específica de la part de la màquina que seria mecanitzada.

S'inclouïen a la memòria els plànols de la peça a mecanitzar amb totes les seves parts. S'explicaven tots els passos en la mecanització de la peça i les dificultats que va presentar el procés de mecanització, així com una explicació de com varen ser superades.

Primer any del projecte: maqueta del cilindre i el pistó de la màquina de vapor de Francesc Santponç i Roca

El primer any del projecte es va dedicar a la reproducció a escala del cilindre i el pistó de la màquina. El tipus de cilindre que va utilitzar Santponç era de doble efecte. En aquest tipus de cilindres s'introduïa el vapor per la part de dalt i de sota del pistó alternativament, per impulsar-lo cap amunt i cap avall. Per efecte de la diferència de pressió, provocada pel condensador, extern al cilindre, es produïa la sortida del vapor del cilindre, que afavoria la baixada i la pujada del pistó. Per entendre les característiques principals d'un cilindre de doble efecte i l'evolució de la tecnologia del vapor fins a l'època de Santponç, podeu consultar Montava (2014: 39-45). Podeu consultar la patent atorgada a James Watt per al cilindre de doble efecte a Robinson i Musson (1969: 97-111). El primer any del projecte es va donar rellevància als personatges més importants que contribuïren al disseny del cilindre de doble efecte i a la difusió d'aquesta tecnologia. Com a exemples més destacats volem mencionar James Watt i Agustín de Betancourt (Robinson i Musson, 1969; Gouzévich, 2017).

Cilindre i pistó

Les dimensions de la maqueta del cilindre i el pistó vingueren determinades pel material de què es disposava al taller de mecànica; es va utilitzar un tub d'acer de 150 mm de diàmetre interior. Aquesta mesura havia de determinar totes les altres del cilindre i el pistó de la maqueta. En aquest punt es va haver d'afrontar el primer problema del projecte: els plànols dibuixats per Santponç no presentaven cap mesura i no podíem saber les mesures de la màquina de Santponç. Per resoldre aquest escull, decidírem fer la maqueta en proporció als plànols dibuixats per Santponç. Tenint en compte que el diàmetre interior del cilindre dels plànols de Santponç era de 20 mm, l'escala de la maqueta respecte als plànols de Santponç va resultar de 7,5:1.

Per mecanitzar el pistó, es va utilitzar el torn universal i la precisió amb què es va ajustar el pistó a la camisa del cilindre va ser de 0,05 mm. Encara que podien haver fet ús d'una junta de PVC que hauria assegurat un ajust de molta precisió, es va decidir utilitzar cànem per a aquest ajust. Aquesta decisió es va prendre per ser un procediment d'ajust típic de l'època de Santponç.

La tija de l'èmbol i pla inclinat de la tapa posterior del cilindre

El diàmetre de la tija de l'èmbol tenia un gruix de 10 mm i fou mecanitzada amb un acer no calibrat que va presentar una veta en el seu diàmetre exterior. Amb un diàmetre tan petit, qualsevol deformació de l'acer té major incidència en l'acabat de la peça. Davant la dificultat de rebaixar aquesta veta, decidírem retocar el diàmetre de la tapa anterior perquè la tija pogués passar sense dificultat i amb un ajust òptim.

Santponç va dissenyar la tapa posterior del cilindre amb un pla inclinat perquè l'aigua que es condensava a l'interior del cilindre tingués una sortida fàcil pel tub inferior d'entrada i sortida del vapor.

Aquest pla inclinat va ser mecanitzat amb la fresadora i va ser la peça que més càlculs trigonomètrics va requerir. Aquests càlculs es feren per poder inclinar la fresadora amb l'angle necessari respecte a la superfície de la tapa.

Segon any del projecte: maqueta del registre de la màquina de vapor de Francesc

Santponç i Roca

El registre era un dispositiu que permetia que la màquina funcionés automàticament sense la necessitat d'un tècnic que controlés les vàlvules de la màquina. En el cas de la màquina de Santponç, el seu registre presenta un interès històric especial: Santponç va considerar que aquesta part de la màquina era una contribució original que, segons les seves paraules, aconseguia alleugerir la màquina i fer-la progressar (Agustí, 1983: 147).

Les solucions per a registres que es troben en dissenys de màquines descrites en obres contemporànies a Santponç consistien en palanques, urpes i contrapesos que estaven enganxats a la tija del pistó mitjançant una corredissa. La corredissa consistia en una post, normalment de fusta, que es movia amb la tija del pistó i impulsava el moviment de palanques, urpes i contrapesos que obrien i tancaven les vàlvules en el moment precís.

A mesura que les màquines de vapor evolucionaven, anaven incorporant elements nous com el condensador, introduït per James Watt, i la innovadora idea del cilindre de doble efecte, que requeria dues vàlvules per al cilindre en lloc de només una. Aquestes innovacions provocaren que la funció del registre fos cada vegada més complicada, en haver d'automatitzar cada vegada un nombre major de vàlvules.

Santponç defensava que el registre de la seva màquina tenia l'avantatge de ser una peça resistent de molta durada. El problema dels desajustos de les vàlvules governades pels registres provocava parades en la producció tèxtil segons testimonis escrits de l'època (Robinson i Musson, 1969).

El registre de Santponç té un disseny molt diferent als de la seva època, perquè consisteix en un prisma de base hexagonal amb un pistó en forma de cilindre al seu interior. En l'apartat següent se n'explicarà amb més detall el disseny i funcionament.

Descripció i mecanització del registre

El registre dissenyat per Santponç consistia en un prisma amb base octogonal que tenia a dintre una peça cilíndrica de base circular que ocupava tota la seva longitud i podia girar un quart de circumferència en els dos sentits. Al registre de Santponç arribaven sis conductes que s'unien a ell a través de les superfícies planes de l'octàgon exterior. Dos dels conductes partien del registre i arribaven al cilindre de la màquina. Dos conductes més arribaven al condensador i els dos últims estaven connectats a la caldera (vegeu fig. 2).

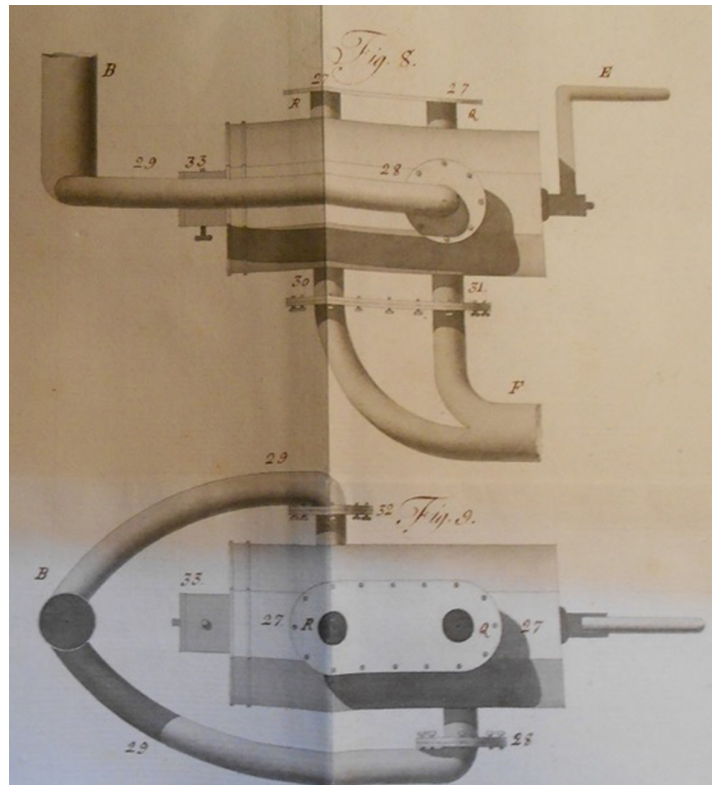


FIGURA 2. Registre de la màquina de Santponç dels plànols de la seva memòria.

FONT: Memòria manuscrita «Noticia de una nueva bomba de fuego», de Francesc Santponç i Roca. Biblioteca de Foment del Treball.

Un dels extrems del cilindre de base circular situat a l'interior del registre s'unia a un manubri. La rotació del manubri provocava el moviment del cilindre interior, que podia girar un quart de volta relliscant a dintre de l'octàgon. Aquest moviment feia possible totes les combinacions possibles i necessàries de pas del vapor pels conductes de la màquina. El registre permetia controlar el moment exacte en què el vapor havia d'entrar al cilindre de la màquina i del condensador o sortir-ne.

Es realitzaren dues maquetes iguals del registre; una d'elles era completa i reproduïa el registre a escala 1:2 respecte a les mesures dels plànols realitzats per Santponç. De la segona maqueta es va seccionar un quart del prisma exterior perquè es pogués observar el moviment del pistó interior.

A la memòria descriptiva del procés de mecanització d'aquesta peça, els alumnes varen explicar les dues posicions possibles del registre i els elements que es posaven en contacte en cadascuna d'elles.

Tercer any: maqueta dels engranatges de la màquina de vapor de Francesc Santponç i Roca

L'últim any del projecte es dedicà a reproduir els engranatges de la màquina de Santponç que transformaven el moviment lineal del pistó en moviment rotacional. Els engranatges són rodes dentades tallades de tal manera que en girar la roda (o rodes) motriu es produeix una transmissió exempta de lliscament. A diferència de les corretges, que poden patinar sobre la politja, en els engranatges la transmissió és íntegra i segura.

Es va construir la maqueta dels engranatges a la mateixa escala que la maqueta del cilindre i el pistó per acoblar totes aquestes peces i donar una millor idea de la màquina de vapor sencera.

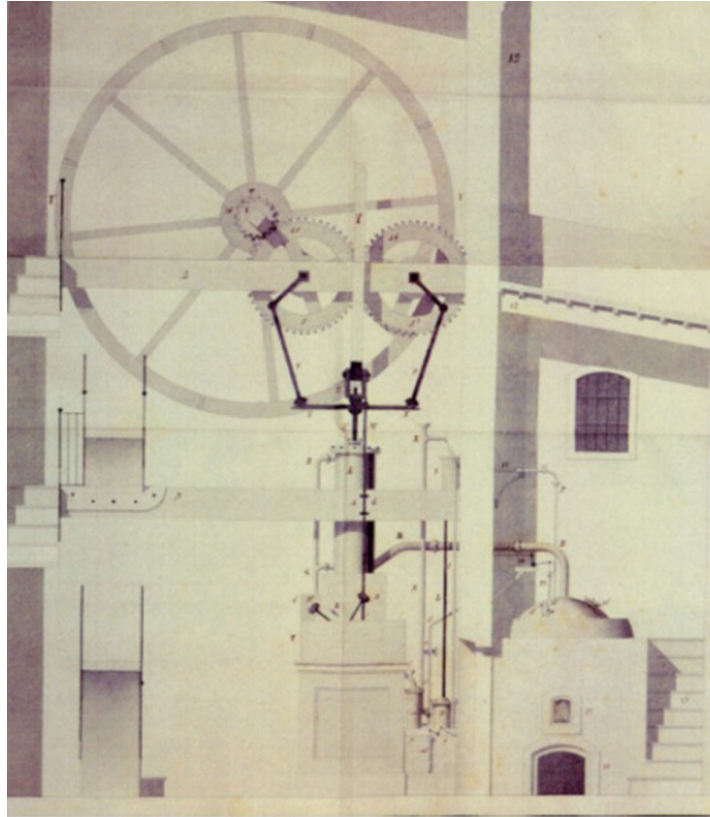


FIGURA 3. Plànol complet de la màquina realitzat per Santponç on es veuen els engranatges, el pinyó i el volant d'inèrcia.

FONT: Memòria manuscrita «Noticia de una nueva bomba de fuego», de Francesc Santponç i Roca. Biblioteca de Foment del Treball.

Els engranatges de la màquina de Santponç consisteixen en dues rodes o corones iguals amb quaranta-vuit dents que estaven unides al pistó de la màquina mitjançant dos braços basculants i una barra horitzontal. Una de les dues rodes estava engranada a un pinyó que tenia la tercera part del diàmetre d'aquestes. El pinyó estava col·locat a l'eix d'un volant d'inèrcia i tenia setze dents (vegeu fig. 3).

Procés de construcció de les dues rodes dentades

Com que havíem d'acoblar els engranatges amb la maqueta del pistó i el cilindre, havíem de respectar l'escala utilitzada, que era 7,5:1.

Llavors, seguint aquesta escala, el diàmetre de les rodes dentades havia de ser de 465 mm, però als tallers del centre no disposàvem de torns ni fresadores que poguessin fixar una peça tan gran per fer-la girar a altes revolucions. El diàmetre màxim que podem mecanitzar amb la seguretat requerida és de 300 mm per als torns i de 250 per a les fresadores.

Per solucionar aquest inconvenient, decidírem dividir el diàmetre de les rodes entre dos. Això volia dir que, a la maqueta, totes les mesures referents als engranatges serien la meitat del que haurien de ser respecte de les mesures del cilindre. Llavors, les rodes dentades tindrien un diàmetre exterior de 232,5 mm.

D'acord amb aquesta mesura, i utilitzant les fórmules matemàtiques, calia calcular el mòdul de la fresa per tallar les dents de l'engranatge. Els càlculs ens indicaven que el mòdul havia de ser $m = 5$. Totes les fórmules i els càlculs es varen detallar a la memòria descriptiva del procés de mecanització.

No vàrem trobar al taller del centre cap fresa de mòdul 5. Es va contactar amb empreses del sector metallúrgic que col·laboren amb el centre en diversos programes, però tampoc trobàrem cap fresa d'aquesta mida i l'opció de comprar-la resultava molt cara: 264 € més IVA. Aquesta circumstància ens va obligar a prendre la decisió d'utilitzar una fresa de mòdul 4, aconseguida del taller particular del tutor del projecte. En prendre la decisió de baixar de mòdul, ens vàrem veure obligats a reduir el diàmetre de les rodes de 232,5 mm a 200 mm. La conseqüència d'aquesta decisió ha sigut que el diàmetre dels engranatges de la maqueta és 32,5 mm més petit que el que hauria de ser per guardar la proporció que preteníem entre el cilindre i les rodes dentades de la maqueta.

Es va utilitzar niló per construir les rodes dentades i el pinyó, perquè en les instal·lacions les barres d'acer més grans eren de 120 mm de diàmetre. El niló és un material fàcil de mecanitzar i lleuger, que va facilitar la mecanització posant en pràctica exactament els mateixos processos i càlculs necessaris que en el cas d'haver utilitzat acer.

Voldríem destacar que, segons indica el currículum educatiu, en l'assignatura d'elements mecànics del cicle mitjà de fabricació mecànica, cal estudiar el càlcul d'engranatges, però no la seva mecanització i muntatge, que estan programats per al cicle superior. Aquest projecte va ser portat endavant per alumnes del cicle mitjà que varen aprendre a mecanitzar i ajustar engranatges abans de temps. Amb l'ajuda del seu professor tutor i alumnes del cicle superior que s'hi implicaren, no van tenir grans problemes per aconseguir-ho.

A partir del cilindre de niló de què disposàvem, es tallaren, amb la serra de tall vertical, dos discos d'un gruix de 30 mm. Com que calia reduir el diàmetre de 300 mm a 200 mm, s'utilitzà el torn amb eina de cobalt a 625 rpm. També s'utilitzà el torn per fer el buidatge de les corones dentades (vegeu fig. 4, 5 i 6).

S'utilitzà la fresadora universal per distribuir les dents de forma equidistant al llarg del perímetre de les corones. Per fer-ho, s'utilitzà un divisor universal que disposa d'una maneta accionada per l'operari de forma que, en girar-la quaranta voltes, el plat on fixem la peça gira només una volta. Disposàvem de tres jocs de plats normalitzats, amb sis circumferències de forats equidistants cada un d'ells, que ens van permetre fer qualsevol tipus d'operacions. Com que havíem de mecanitzar quaranta-vuit dents, que no és un nombre divisible per quaranta, necessitàrem utilitzar un dels plats amb forats circumscrits per poder distribuir uniformement les quaranta-vuit dents al voltant de les corones.



FIGURES 4, 5 i 6. En ordre d'esquerra a dreta: mecanització de les dents de les corones amb fresa de mòdul 4, buidatge de les corones i reducció de diàmetre utilitzant el torn universal.

FONT: Elaboració pròpia.

Respecte al pinyó de la màquina de Santponç, és una peça que compta amb setze dents. Perquè els engranatges funcionin correctament, cal utilitzar el mateix mòdul ($m = 4$) utilitzat per mecanitzar les dents de les dues rodes dentades. El mecanitzat del pinyó es va fer utilitzant les mateixes màquines, eines, procediments i materials.

Mecanització del volant d'inèrcia

Per al cas del volant d'inèrcia, el seu diàmetre havia d'excedir exageradament la mesura màxima acceptada pel torn i la fresadora. Per tant, decidírem reduir-lo, igual que les rodes dentades, a la meitat respecte de les mesures de la maqueta del cilindre i el pistó de la màquina. Amb tot això, el diàmetre del volant d'inèrcia havia de ser de 700 mm. I es va decidir fer-lo de fusta i manualment. Utilitzàrem un compàs de corda per traçar les circumferències i un goniòmetre manual per traçar les finestres per al seu buidatge. Fèrem tots els talls traçats amb una caladora (vegeu fig. 7).



FIGURA 7. Mecanització del volant d'inèrcia amb caladora.
FONT: Elaboració pròpia.

Mecanització de les bieles

Aquestes peces són les úniques que guarden la proporció respecte al cilindre i el pinyó. El material de fabricació va ser acer F1120.

Per mecanitzar aquestes peces, s'utilitzà un rosset per traçar línies paral·leles i el compàs. El traçat de les bieles es va fer sobre una platina de metall, on quedaren dibuixats els centres i radis exteriors de les bieles. La platina es va tallar amb la serra de cinta vertical i es mecanitzaren les peces amb una llima plana de 8 polzades.

Per unir les bieles amb les rodes dentades i amb la biela horitzontal, es varen utilitzar cargols Allen de mètrica 10 amb les seves femelles.

Per evitar l'oxidació, es va portar endavant un procés d'empavonament de les bieles amb forn elèctric submergint les peces amb oli mineral.

Novetats sobre el càlcul de l'escala de les maquetes

El segon any del projecte vaig trobar al llibre d'Agustí una nova dada: el diàmetre interior real del cilindre de la màquina de Santponç. Aquesta dada, junt amb altres mesures, es pot consultar a l'obra de Jaume Agustí (1983: 134-137). Malauradament Agustí no cita la font d'aquestes notes, però vam poder donar una escala de les nostres maquetes respecte de la màquina original. El diàmetre interior del cilindre de la màquina era, d'acord amb les mesures de l'època, d'1 peu, 3 polzades i 3 línies, que equival a 336,02 mm.¹ Així, podem afirmar que l'escala de les maquetes del cilindre i el pistó i dels engranatges respecte de la màquina de Santponç ha sigut d'1:2,24 (vegeu fig. 8, 9 i 10).



FIGURES 8, 9 i 10. Resultat de les maquetes en ordre d'esquerra a dreta: cilindre, registre i engranatges acoblats al pistó del cilindre.

FONT: Elaboració pròpia.

Conclusions

Aquest projecte educatiu, de tres anys de durada, ha utilitzat la història de la ciència i la tècnica amb tres objectius. El primer ha sigut que els alumnes valoressin les investigacions en aquest camp. El segon, que reflexionessin sobre la importància de la mecànica al llarg de la història de la humanitat i la seva contribució a la revolució industrial. I encara un tercer objectiu, més ambiciós: que els alumnes contribuïssin en aquest camp d'investigació aportant tres maquetes de tres parts fonamentals de la màquina de vapor de Francesc Santponç construïda a Barcelona entre els anys 1804 i 1806.

Les maquetes construïdes pels estudiants del cicle de fabricació mecànica de l'Institut Esteve Terradas de Cornellà de Llobregat van ser: el cilindre i el pistó de la màquina de vapor, el registre que feia la màquina automàtica i els engranatges que transformaven el moviment lineal en rotacional. Aquestes maquetes suposen una contribució a la investigació sobre la participació de Francesc Santponç i Roca en la difusió de la tecnologia del vapor a Catalunya i l'Estat espanyol.

Els alumnes que participaren en el projecte no només adquiriren les competències referides en el currículum educatiu per al seu curs escolar, sinó que adquiriren competències de cursos posteriors. Aquest avançament curricular es va produir de forma puntual sense suposar un impediment en els estudis dels participants. L'avançament curricular es va donar no només per les necessitats del projecte, sinó també a causa d'una motivació extra per part dels estudiants.

1. 1 peu són 12 polzades, 1 polzada són 25,4 mm i 1 línia són 1,94 mm.

Cada any es va presentar la maqueta construïda junt amb una memòria descriptiva del procés de mecanització als Premis Bonaplata Joves, atorgats pel Museu de la Ciència i de la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya. La participació anual en aquests premis ha facilitat l'organització del treball en equip i la motivació de l'alumnat.

La circumstància de guanyar el primer premi, en la nostra categoria, durant els tres anys consecutivament, va donar una motivació extra i una predisposició de l'alumnat del centre a la participació en el projecte de l'any següent.

Per a la tutora del projecte, estudiant de doctorat en història de la ciència i la tècnica, aquest projecte ha contribuït al seu treball de recerca sobre la màquina de vapor construïda per Francesc Santponç i Roca. El fet de discutir, amb professionals de la mecànica, sobre el funcionament de la màquina de vapor i la mecanització i el muntatge de les peces de les maquetes li ha permès aprofundir en el coneixement de la màquina i entendre'n millor el funcionament. Aquesta experiència ha suposat per a ella poder immersir-se en el context actual de tècniques mecàniques i ha suposat una ajuda important en la seva tesi.

Agraïments

Donem les gràcies a totes les persones i institucions que fan possibles els Premis Bonaplata Joves, que permeten fomentar la recerca i l'interès per la història de la ciència i la tècnica. Els nostres alumnes han tret bon profit de la participació en aquests premis, en sentir-se participants de la recerca sobre la contribució de Francesc Santponç a la difusió de la tecnologia del vapor a Catalunya i l'Estat espanyol.

Així mateix, vull agrair a Antoni Roca Rosell, el tutor de la meua tesi, el seu suport en la realització d'aquest projecte educatiu. I a la professora Maria Rosa Massa-Esteve que m'hagi donat l'oportunitat d'explicar aquesta experiència educativa en la XVII Jornada sobre la Història de la Ciència i l'Ensenyament.

Aquesta comunicació és un homenatge al professor Àngel Carazo Garcia, que ens va deixar el 2 de juny de 2019. En nom meu i dels seus alumnes, li dediquem aquest treball que mai hauria pogut fer-se realitat sense ell. Els seus coneixements sobre mecànica i la passió que tenia per ensenyar varen marcar moltes generacions d'alumnes. Ni jo, ni cap dels seus alumnes, el podrem oblidar mai.

Referències bibliogràfiques

AGUSTÍ, J. (1983). *Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.

GOUZÉVICH, I. (2017). *Augustin de Betancourt (1758-1824): un ingénieur des Lumières au service de la modernité, ou le parcours européen d'un illustre inconnu*. [No publicat]

MONTAVA GADEA, M. (2014). «Francesc Santponç i Roca i la màquina de Gensanne (1802?)». *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, 14, p. 35-83.

PAYAN, J. (1969). *Capital et machine à vapeur au XVIII^e siècle*. París: Mouton & Co.

PUIG-PLA, C. (2002-2003). «Las Memorias de Agricultura y Artes (1815-1821). Innovación y difusión de

tecnología en la primera industrialización de Cataluña». *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, 5, p. 27-58.

ROBINSON, E.; MUSSON, A. E. (1969). *James Watt and the steam revolution*. Londres: Adams and Dart.

ROCA-ROSELL, A.; PUIG-PLA, C. (2010). «The beginnings of mechanical engineering in Spain: The contribution of Francesc Santponç i Roca (Barcelona, 1756-1821)». *History of Technology*, vol. 30, p. 32-45.

SANTPONÇ, F. (1804-1806). «Noticia de una nueva bomba de fuego». Barcelona. [Memòria manuscrita localitzable a la Biblioteca de Foment del Treball. J. Agustí (1983) la va transcriure a partir del manuscrit de la família Santponç]