

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>



**Universitat Autònoma  
de Barcelona**

**LA DIFUSIÓ I APROPIACIÓ DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR  
A LA IL·LUSTRACIÓ CATALANA. DISSENY I CONSTRUCCIÓ  
DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE  
FRANCESC SANTPONÇ I ROCA (1756 – 1721)**

**Per**

Maria Montava Gadea

**Director**

Dr. Antoni Roca – Rosell

**Tutor**

Jesús Maria Galech Amillano

Programa de Doctorat en Història de la Ciència

Institut d'Història de la Ciència – Universitat Autònoma de Barcelona

Barcelona, Gener 2022



A l'Àngel, hereu dels grans mecànics  
de la història. No tinc cap dubte que  
estàs amb mi, aquesta tesi també és el  
teu llegat.



## AGRAIMENTS

Aquest treball, ha sigut el resultat de múltiples circumstàncies i oportunitats, la primera persona que ha l'ha fet possible és Antoni Roca - Rosell qui ha conduït aquest projecte de forma immensament generosa des del primer moment que vaig entrar al seu despatx.

La contextualització de Francesc Santponç i Roca s'ha nodrit de les apreciables investigacions d'Irina i Dimitri Govévitch que han fet recerca en el camp de la transferència científica i tecnològica. El seu constant treball és ja imprescindible per la recerca d'altres.

Vull agrair especialment a Foment del Treball per tenir el seu arxiu obert als investigadors i tenir tan bona cura d'ell. I també a tots els arxivers que han facilitat la meva feina en la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, la Biblioteca Nacional de Catalunya, l'Arxiu de Protocols de Barcelona, l'Arxiu de la ciutat de Barcelona i les Archives Nationales de Paris.

Gràcies també a als propietaris d'arxius familiars, per totes les vegades que obren les seves cases per deixar que s'examinin els seus papers. Tota la gent que he nomenat contribueix a que es conegui el passat de Barcelona i Catalunya, així que moltes gràcies.



# Índex

CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ I METODOLOGIA.....	11
1.1 PRIMER OBJECTIU: LA BIOGRAFIA MECÀNICA DE FRANCESC SANTPONÇ.....	12
1.2 SEGON OBJECTIU: ESTUDI DELS PRINCIPALS COMPONENTS DE LA MÀQUINA DE SANTPONÇ.....	13
1.3 TERCER OBJECTIU: POSADA EN CONTEXT DE LA MÀQUINA. VA ASSOLIR ELS PROPÒSITS DE LA SEVA CONSTRUCCIÓ?.....	14
1.4 DIFUSIÓ DELS RESULTATS D'AQUESTA INVESTIGACIÓ. PARTICIPACIÓ A JORNADES, COL·LOQUIS I LA REALITZACIÓ D'UN PROJECTE EDUCATIU.....	14
1.5. FONTS PRIMÀRIES D'ESTUDI.....	15
1.6 HISTORIOGRAFIA: LA MÀQUINA DE VAPOR, EN EL CENTRE D'ATENCIÓ DE MOLTS AUTORS.....	15
1.7 CONCLUSIÓ.....	20
CAPÍTOL 2: SANTPONÇ, UN METGE-CIENTÍFIC-ENGINYER.....	21
2.1 PRIMER REpte MECÀNIC AMB ÈXIT: LA MÀQUINA D'ESGRAMAR CÀNEM I LLI.....	21
2.2 ANÀLISI QUÍMICA DE LES AIGÜES DE GAVÀ I MONTCADA. APORTACIONS A LA RECERCA CIENTÍFICA DE FRANCESC SANTPONÇ.....	28
2.3 LA REAL ACADÈMIA DE CIÈNCIES I ARTS DE BARCELONA: UN D'EXPERIMENTACIÓ I APRENTATGE.....	37
2.4 LA TRANSFERÈNCIA DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL: UN LLARG CAMÍ.....	45
2.5 ELS PRIMERS INTENTS D'INTRODUCCIÓ DE LES MÀQUINES DE VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL.....	48
2.6 EL GRAN REpte: LA MÀQUINA DE VAPOR PER A L'EMPRESARI JACINT RAMON.....	49
2.7 ELS FRUITS DE L'ÈXIT DE LA MÀQUINA DE VAPOR: LA CÀTEDRA DE MECÀNICA EN LES ESCOLES DE LA JUNTA DE COMERÇ.....	51
CAPÍTOL 3: ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A ANGLATERRA, FRANÇA, PAÏSOS BAIXOS I ESPANYA. INFRAESTRUCTURES, MITJANS, PERSONATGES I LLOCS.....	55
3.1 REGNE UNIT; BRESSOL DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR.....	55
3.2 ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A FRANÇA: LA MÀQUINA DE SIMPLE EFECTE AMB CONDENSADOR SEPARAT DEL CILINDRE.....	57
3.3 VINCLES ENTRE FRANÇA I L'ESTAT ESPANYOL.....	60
3.4 ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A ANGLATERRA: ALBION MILLS.....	62
3.5 ORIGEN I PRIMERS ESTUDIS D'AGUSTÍN DE BETANCOURT I MOLINA.....	64
3.6 EL VIATGE D'ESTUDIS A FRANÇA D'AGUSTIN DE BETANCOURT.....	67
3.7 ACLIMATACIÓ DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE DOBLE EFECTE A FRANÇA.....	69



3.8 UN INTENT REEIXIT PER ASSIMILAR LA TECNOLOGIA DE VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL. SEGON VIATGE DE BETANCOURT A ANGLATERRA (1793 – 1796).	72
3.9 INTRODUCCIÓ DE LA MÀQUINA DE VAPOR ALS PAÏSOS BAIXOS.	76
3.10 CONCLUSIONS.	81
CAPÍTOL 4: : ELS ELEMENTS DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE FRANCESC SANTPONÇ.	87
4.1 EVOLUCIÓ HISTÒRICA DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR.	87
4.2 LA CALDERA I EL FORN	95
4.3 ELS ENGRANATGES.	100
4.4 ESTUDI DEL <i>REGISTRE</i> DE LA MÀQUINA.	105
4.4.1 Dificultats que presentava el Registre d'una màquina de vapor.	105
4.4.2 Dissenys de Registres de màquines anteriors o contemporànies a Santponç.	106
4.4.3 El Registre de la màquina de Santponç.	116
4.5 EL CILINDRE I EL PISTÓ.	121
4.6 CONCLUSIONS.	123
CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS	125
BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 1	135
BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 2:	139
BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 3	143
BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 4	145
Annex I: Transcripció de la memòria de Santponç.	147
Annex III : Polèmica arran d'un article a la Gazeta de Madrid	177
ANNEX III: Nota del Marquès de Monistrol	179
Annex IV: Carta de Santponç al Baró de Castellet.	181
ANNEX V: Resum de la ponència presentada a les XVII Jornades sobre la Història de la Ciència i l'Ensenyament.	185

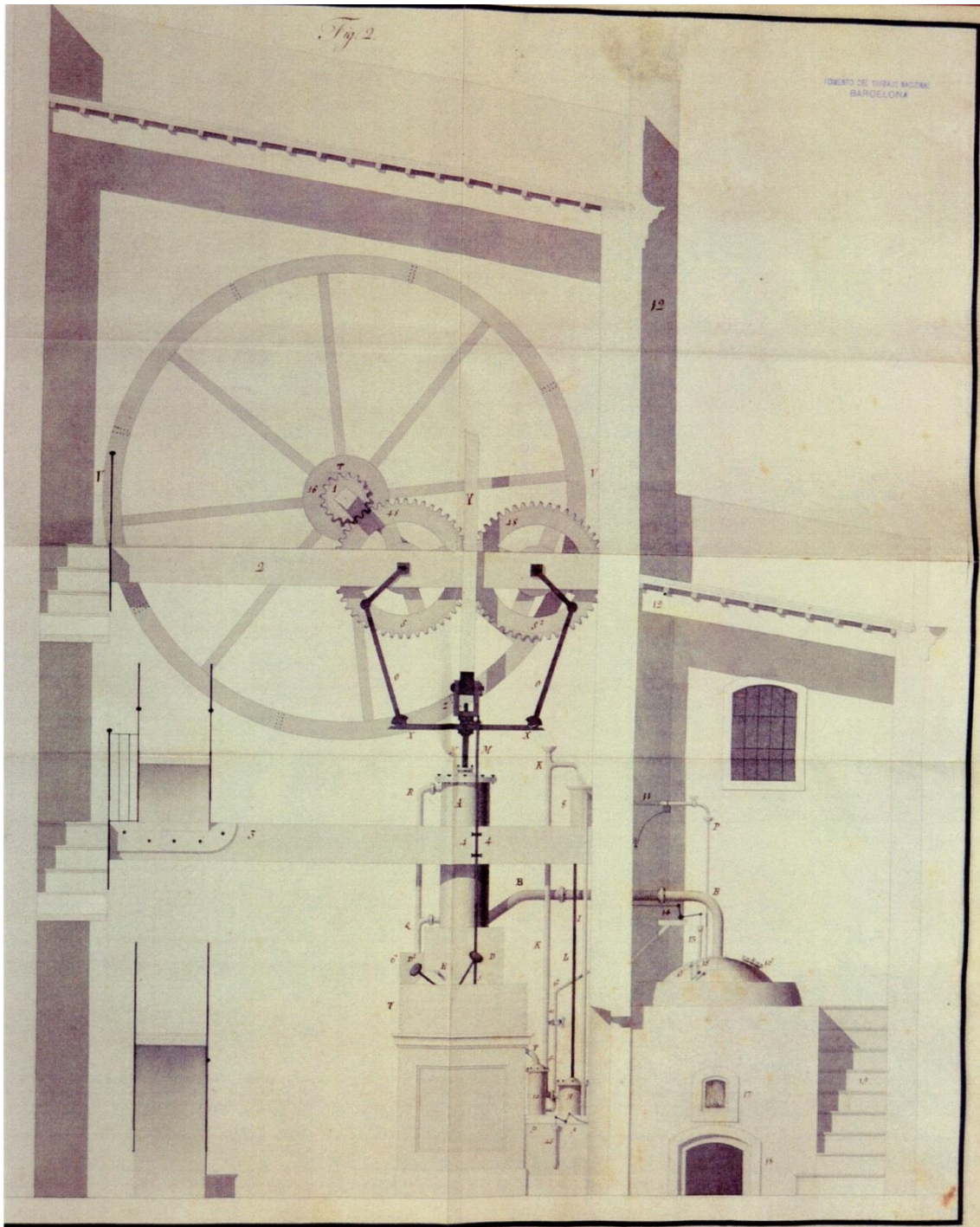


Figura 1: Màquina de vapor de Francesc Santponç i Roca.  
Font: Biblioteca de Foment del Treball



## CAPÍTOL 1: INTRODUCCIÓ I METODOLOGIA

L'any 1983 Jaume Agustí Cullell va publicar la transcripció de la memòria descriptiva de la màquina de vapor dissenyada i construïda l'any 1804 - 1805 a Barcelona pel metge Francesc Santponç i Roca. D'aquesta màquina de vapor gairebé no hi havia informació sobre la seva existència fins que es va trobar l'esborrany de la memòria que havia sigut preparada per ser a publicada. La Guerra de la Independència (1808 – 1814) va frustrar l'objectiu de la redacció de la memòria: imprimir-la per fer difusió de la tecnologia de vapor per l'Estat Espanyol.

Uns esborranys de la memòria van ser trobats a l'arxiu familiar de Pere Basil a Olot per Jaume Agustí – Cullell, llavors professor d'història de la ciència a la Universitat Autònoma de Barcelona. Una estudiant seva, Carlota Basil, li explicà que el seu oncle Pere, notari d'Olot, conservava l'arxiu familiar dels Santponç. Agustí – Cullell treballà amb el fons i proposà l'Institut d'Estudis Catalans d'editar la memòria de Santponç junt amb un estudi introductori.

Anys després, Carles Puig Pla i Antoni Roca Rosell reprengueren el contacte, el notari Pere Basil els acollí el 19 d'agost de 2004 i tingueren la oportunitat de consultar i reproduir aquests esborranys, junt a altres documents sobre la vessant tecnològica de Francesc Santponç, per exemple els referents a les classes de Mecànica que va donar. La memòria conservada a aquest arxiu era un esborrany de la que Santponç va preparar curosament enquadernada i amb figures de totes les parts de la màquina dibuixades amb gran precisió per ell mateix. La memòria enquadernada es va preparar per enviar-la a Madrid per ser impresa per la Impremta Reial. Sembla que quan les planxes estaven preparades per la seva impressió va començar la Guerra del Francès i la memòria es va perdre. El director d'aquesta tesi la va identificar en una exposició sobre indians al Saló del Tinell, comissariada per Àlex Sánchez, procedent de la Biblioteca de Foment del Treball. Aquesta biblioteca va ser creada el 1889 i el juliol de 1890, segons ho explica el bibliotecari, Josep Fiter i Inglés, van rebre l'ofertament de la memòria manuscrita de Santponç de l'enginyer de camins, Rafael Yague (Fiter, 1890). Els deia que feia 25 anys que tenia a la seva biblioteca un “folleto manuscrito” que havia adquirit en una llibreria de vell. En rebre el manuscrit, al Foment consultaren a l'Acadèmia de Ciències i Arts i cercaren en la bibliografia si la memòria era o no inèdita. En aquest darrer cas, Fiter diu que el Foment l'hauria imprès. Entre tant, la nota de Fiter ofereix un excel·lent resum del contingut de la memòria.

El document del Foment del Treball pot ser identificat com el text amb les làmines corresponents que Santponç va enviar a la Impremta Reial. Arran de la Guerra, el manuscrit es va extraviar, de manera que el mateix Santponç va creure que l'havien robat els francesos que, al seu torn, l'havien emprat per construir una màquina de vapor a Sant Petersburg (Santponç al Baró de Castellet, 1815, Arxiu de la Junta de Comerç).

Es dona la circumstància que la figura 1 de la memòria no figurava en l'esborrany de la família Basil i, amb la identificació de la memòria preparada per a ser impresa, hem pogut comprovar que aquesta figura correspon al model de màquina de vapor que es va construir per fer experimentació. A més, aquesta figura aclareix alguns aspectes de la màquina com l'aplicació de la corredera al registre i altres detalls dibuixats amb més precisió.

Després de quatre dècades des de la transcripció de la memòria per J. Agustí Cullell, amb aquesta tesi hem volgut plantejar diverses preguntes, moltes de les quals ja s'havien abordat,

amb el propòsit d'explicar l'adequada dimensió i justa magnitud del projecte de la construcció de la màquina de vapor de Francesc Santponç.

En aquest punt volem donar a conèixer com hem abordat els objectius de la nostra recerca. El primer objectiu ha sigut donar una completa biografia de la vessant mecànica de Francesc Santponç i Roca, que hem redactat en el capítol 2 d'aquesta tesi. El segon objectiu ha sigut l'estudi de la màquina de Santponç, per aconseguir-ho hem estudiat els principals components de la màquina posant-los en el seu context tecnològic i esbrinant les fonts d'informació que Santponç va consultar, de les que dóna algunes referències en la memòria que va redactar. Els resultats d'aquesta part de la recerca es poden consultar al capítol 4 d'aquesta tesi. El tercer objectiu ha sigut esbrinar si la màquina de Santponç va aconseguir els objectius per als que va ser construïda. Aquest objectiu ha sigut un repte constant al llarg de la investigació que hem tingut present al llarg de tota la recerca. Per donar arguments per una conclusió en aquest sentit hem estudiat la construcció d'altres màquines de vapor que han sigut ben estudiades. Hem esbrinat els problemes que es van haver de solucionar en altres casos i el context en el que es construïren altres màquines. En el capítol 3 hem analitzat algunes experiències de la implantació de la màquina de vapor a diferents països, inclosa Espanya.

### **1.1 PRIMER OBJECTIU: LA BIOGRAFIA MECÀNICA DE FRANCESC SANTPONÇ.**

Hem volgut descriure, amb més detall, la vessant tècnica del metge Santponç des de tres perspectives diferents. La primera aproximació l'hem afrontada amb la investigació de les recerques científiques que Santponç va portar endavant; per una banda, hem estudiat la redacció de memòries per a l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. Per altra banda, hem investigat les anàlisis químiques que Santponç va fer de les aigües de dues fonts. Aquest va ser un treball d'investigació pràctic del que es publicaren els seus resultats per fer-ne difusió. També hem recopilat la informació que es coneix de les experiències aerostàtiques a Barcelona en les que va participar Santponç. La segona forma d'investigar el Santponç tècnic ha sigut amb l'estudi de les dues màquines que va dissenyar. La primera màquina, en col·laboració amb Francesc Salvà i Pere Gamell, va ser una màquina d'esgramar cànem que va suposar l'entrada rellevant de Santponç en el món de la Mecànica. La construcció d'aquesta màquina va significar una sòlida experiència per afrontar un segon repte molt més gran: la construcció de la màquina de vapor per a l'empresari Jacint Ramon. Finalment, hem completat la descripció de la vessant tècnica de Santponç descrivint la seva activitat com mestre de l'Escola de Mecànica i redactor de la revista *Memorias de Agricultura y Artes* publicada per la Junta de Comerç de Barcelona.

Hem aconseguit també indagar en la personalitat de Santponç i la seva vessant personal i familiar amb la lectura de les cartes que ell i la seva dona Eulàlia Barba van escriure al cunyat de Santponç, el Doctor en lleis i naturalista Manuel Barba, membre de l'Acadèmia de Ciències i Arts, resident en Vilafranca del Penedès. La lectura d'aquestes cartes ens ha permès, per exemple, aclarir el propòsit del viatge que Santponç va fer a Cadis en mig de la Guerra del Francès. Aquesta correspondència es troba als Archives Nationales, a París, que preserven un Fons personal de Manuel Barba, i va ser localitzada pel director d'aquesta tesi, Antoni Roca – Rosell.

## 1.2 SEGON OBJECTIU: ESTUDI DELS PRINCIPALS COMPONENTS DE LA MÀQUINA DE SANTPONÇ.

Aquesta investigació aporta una descripció en detall de les parts més importants de la màquina de Santponç en el seu context tecnològic. Per a fer aquesta descripció s'ha indagat en les fonts de coneixement i autors mencionats en la memòria descriptiva que Santponç va escriure sobre la màquina. En especial, el segon volum de *Nouvelle Architecture Hydraulique* de Gaspard de Prony, obra publicada l'any 1796 amb la qual es va donar a conèixer la descripció de les parts i el funcionament de la primera màquina de vapor de doble efecte construïda fora dels tallers de Soho on el seu inventor, James Watt, guardava el secret de la seva construcció. Per a l'estudi del forn hem llegit les aportacions que va fer Benjamin Thomson, comte de Rumford. Hem estudiat les recopilacions de les seves obres i escrits i les publicacions en revistes que estan recollides a la bibliografia del capítol 4. Els engranatges de la màquina de Santponç van ser dissenyats per Sadler i publicats a la revista *Annales des Arts et Manufactures*, obra que Santponç cita a la memòria. Hem localitzat de la revista citada per Santponç, publicada l'any 1800. Hem estudiat també la revista *Philosophical Magazine* on apareixen els mateixos engranatges a la màquina de Cartwright. Aquesta publicació de l'any 1798 explica el funcionament de la màquina de Cartwright i en la seva lectura veiem dades que Santponç utilitza i altres referides a un dels experiments que Santponç explica a la memòria. D'aquesta manera, hem trobat dues fonts primàries per posar en context la tecnologia que va utilitzar Santponç.

Ens els primers estadis d'aquesta investigació ha sigut necessari aprendre el funcionament d'una màquina de vapor; per poder aconseguir-ho amb rigor, hem seguit l'evolució històrica de la tecnologia de vapor des dels seus inicis fins la invenció de la màquina de doble efecte de James Watt. Per a seguir aquesta evolució hem llegit les obres a les que fa referència Santponç, no només a la memòria descriptiva de la seva màquina, sinó també a un article de Santponç, escrit a la revista *Memorias de Agricultura y Artes* de la que era redactor de la part de mecànica. En aquest article, publicat a agost de 1816, Santponç fa un repàs històric de l'evolució de les màquines de vapor fins al seu temps. Així, hem llegit *The miner's friend*, on Savery explica el funcionament de la màquina de la seva invenció. Estudiant el segon volum de Bernard Forest de Bélidor, *Architecture Hydraulique*, hem après el funcionament d'una màquina de vapor de tipus Newcomen; aquesta és també una font primària citada per Santponç. Per entendre el funcionament d'una màquina de doble efecte hem estudiat altra font primària citada per Santponç: el segon volum de Prony de *Nouvelle Architecture Hydraulique*. La lectura de les fonts d'informació principals de Santponç ha sigut fonamental per entendre els dissenys dels mecanismes que feien automàtiques les màquines. Junt a aquestes lectures ens hem recolzat amb obres actuals en les que, des d'una perspectiva històrica, es descriu el funcionament de cada tecnologia. Així hem pogut aprendre de les investigacions d'historiadors com Farley, Dickinson, Cardwell, Hills, Payen i Gouzévitch que han estudiat l'evolució de la tecnologia del vapor amb una reflexió respecte el context en què es va donar aquesta evolució.

El sistema d'automatització de les màquines de vapor és d'especial interès per aquesta tesi perquè l'enginy que va executar Santponç per automatitzar la seva màquina va suposar un element innovador que va ser dissenyat per superar les dificultats per aconseguir un moviment del pistó uniforme. Per poder fer el seu estudi en context hem examinat altres sistemes d'automatització que sabem que Santponç va estudiar, com per exemple el de la màquina de Gensane (Montava, 2014).

### **1.3 TERCER OBJECTIU: POSADA EN CONTEXT DE LA MÀQUINA. VA ASSOLIR ELS PROPÒSITS DE LA SEVA CONSTRUCCIÓ?**

Donar una resposta a la pregunta de si la màquina va aconseguir els seus objectius ens ha ocupat pràcticament qualsevol fase de la nostra investigació. La resposta a aquesta pregunta requereix de vàries argumentacions per resoldre la qüestió. Per estudiar les circumstàncies econòmiques, polítiques, socials i de desenvolupament tecnològic que es donaven quan es va construir la màquina de Santponç hem llegit treballs que exposen quina era la situació a l'Estat Espanyol, Anglaterra, França i Països Baixos; la bibliografia al respecte s'ha inclòs al capítol 3 d'aquesta tesi. Ha sigut fonamental per posar en context la màquina de Santponç instruir-se amb les recerques que han portat endavant Irina i Dimitri Gouzévitch Els resultats de les seves investigacions els hem seguit assistint als Col·loquis d'Història de la Tècnica que cada any es celebren a la Universitat Politècnica de Catalunya i llegint els seus articles i publicacions. Gràcies al seu treball d'investigació s'ha donat a conèixer el projecte de posada en funcionament d'una màquina de vapor a Cuba l'any 1796. L'estudi d'aquest cas ens ha servit en gran manera en ser un projecte impulsat de forma privada pel sector de producció de canya de sucre de Cuba i al mateix temps amb el suport públic per part de l'Estat Espanyol. La direcció d'aquest projecte va córrer a càrrec d'Agustín de Betancourt des d'Anglaterra sota unes circumstàncies tan diferents al cas de Santponç que ha resultat molt il·lustratiu poder seguir el projecte cubà per arribar a conclusions millor fonamentades respecte el projecte de Santponç.

### **1.4 DIFUSIÓ DELS RESULTATS D'AQUESTA INVESTIGACIÓ. PARTICIPACIÓ A JORNADES, COL·LOQUIS I LA REALITZACIÓ D'UN PROJECTE EDUCATIU.**

Durant aquesta recerca es va portar endavant un interessant i productiu projecte educatiu de tres anys amb els alumnes del Cicle Formatiu de Mecànica de l'Institut Esteve Terradas de Cornellà de Llobregat. En els tres cursos acadèmics consecutius es va aconseguir que els alumnes reproduïssin a escala tres elements de la màquina de vapor de Francesc Santponç que van ser, el cilindre i el pistó, el registre de la màquina amb el que s'aconseguia la seva automatització i els engranatges. El tercer any, a més de reproduir els engranatges, es va fer una composició de la màquina de Santponç amb el cilindre i els engranatges connectats entre ells. Aquest projecte, que va exigir una implicació molt gran, ha contribuït de forma molt notable a la comprensió del funcionament de la màquina de Santponç i ha suposat una immersió en les tècniques mecàniques actuals de la mà de professionals, cosa que ha resultat una important ajuda en aquesta tesi. En efecte, es tracta d'una experiència d'història experimental de la tècnica, en la línia de treballs com els dirigits per Blondel i Dorries, eds (1994), que ha desenvolupat molt intensament, per exemple, el professor Peter Herring.

Es pot consultar l'annex 5 d'aquesta tesi per veure els objectius i resultats d'aquest projecte, mereixedor de tres primers premis Bonaplata Joves concedits per l'Associació del Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya (AMCTAIC).

Amb la participació anual en els Col·loquis d'Història de la Tècnica des de 2013 s'han donat a conèixer alguns resultats d'aquesta investigació; igualment a diversos congressos internacionals, com ara el de Río 2017 o Londres 2018; també hem participat a les X Jornades d'Arqueologia industrial i en les XVII Jornades sobre Història de la Ciència i Ensenyament. La comunicació dels resultats en aquestes reunions ha motivat un esforç de síntesi que ha ajudat per avançar en la investigació i a reflexionar sobre les conclusions.

## 1.5. FONTS PRIMÀRIES D'ESTUDI

La nostra recerca s'ha centrat en la memòria que Santponç havia preparat el 1805, un esborrany de la qual va ser editada per Agustí Cullell, 1983. Hem comparat aquest text amb el definitiu localitzat a la Biblioteca del Foment del Treball i, s'ha de dir, que no hi ha pràcticament cap variació substancial. De tota manera, en l'arxiu familiar de Santponç no es van localitzar les làmines, que sí que estan disponibles en la memòria definitiva. Per aprofundir en els detalls tècnics disposar d'aquestes làmines ha estat definitiu.

Disposar d'alguns documents de l'Arxiu familiar Santponç, en possessió del notari Pere Basil, ha estat molt rellevant no solament per a la gènesi de la màquina de vapor sinó en els treballs de Santponç en molts camps.

Pel que fa Santponç i la Junta de Comerç, hem consultat el seu arxiu, preservat a la Biblioteca Nacional d Catalunya. És especialment destacada la seva correspondència amb el Baró de Castellet.

D'altra banda, per aproximar-nos a la personalitat de Santponç com a metge mecànic, hem consultat igualment l'Arxiu de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, on hi desenvolupà bona part de la seva trajectòria com a tal.

Aquesta informació es pot complementar amb informació personal, com les seves voluntats testamentàries i inventaris, disponibles a l'Arxiu de Protocols de Barcelona.<sup>1</sup> La presència de publicacions i d'objectes i instruments científics posa de manifest el grau de compromís de Santponç amb la ciència i la tècnica.

En el Fons Manuel Barba preservat als Archives Nationales de París, es troben més d'un centenar de notes i cartes de Santponç i la seva dona, destinades a Manuel Barba, cunyat de Santponç. Aquesta correspondència té menys rellevància científica, però ajuda a comprendre el personatge, per exemple, durant la Guerra del Francès.

## 1.6 HISTORIOGRAFIA: LA MÀQUINA DE VAPOR, EN EL CENTRE D'ATENCIÓ DE MOLTS AUTORS.

Gràcies als historiadors que han fet recerca sobre la història de la ciència i la tècnica s'ha conformat un cos de coneixement sobre l'evolució de la tecnologia del vapor al que nosaltres hem volgut fer també la nostra aportació. Fem en aquest punt una revisió d'algunes de les recerques i aportacions que s'han fet fins l'actualitat.

**Edward Somerset, segon marquès de Worcester** (1601 – 1667) va ser un aristòcrata anglès pioner en l'ús de la màquina de vapor. Mencionat per Santponç en la seva memòria, va escriure *The century of inventions*, publicat el 1663 on descrivia de forma teòrica 100 invents, alguns irrealitzables. Entre aquests invents, va exposar un aparell de disseny propi que va anomenar Water-commanding engine. La descripció número 68 de la seva publicació descriu que va dissenyar un màquina per aixecar aigua consistent en dos recipients amb els que aconseguia, mitjançant la força expansiva del vapor, aixecar aigua a 40 peus d'altura, amb la assistència d'un operari encarregat d'obrir i tancar dues vàlvules. Aquesta disposició recorda la màquina de

---

<sup>1</sup> Per aquesta font, ens va ser molt útil el treball de Zarzoso, 2004.



Savery. També descriu en aquest número un experiment, citat per Santponç a la memòria, amb el que va rebentar un canó hermèticament tancat, amb aigua al seu interior, després d'escalfar-lo al llarg de 24 hores. No va adjuntar plànols per fer comprensible els mecanismes i va invitar a altres la redacció d'una obra amb suficients explicacions per executar els enginys.

*The century of inventions* és, doncs, una obra de recopilació d'enginys i màquines, que podien ser d'utilitat, construïdes fins 1663, en aquest sentit, és un treball d'història de la ciència. L'objectiu que buscava Worcester no era el de reflexió de l'evolució tècnica, ni cap tipus d'anàlisi de context, sinó fomentar els seus propis dissenys explicant la base tecnològica que ja estava assolida. Això mateix ho fa també Santponç a la memòria que va escriure sobre el procés de construcció i funcionament de la seva màquina de vapor; al principi de la memòria descriptiva Santponç va fer un repàs històric de l'evolució de la tecnologia de vapor des de Worcester fins James Watt amb el propòsit de donar tota la base de coneixement per fomentar el seu disseny de màquina de vapor.

**John Farey** (1721 – 1851). Va ser un enginyer anglès, consultor de patents. Al 1827 va publicar *A Treatise on Steam Engine*. En el prefaci de l'obra, Farey destaca que la màquina de vapor havia fet augmentar la productivitat i li atribueix millores en les condicions socials en favor de la classe obrera. L'objectiu de l'obra va ser donar una descripció històrica de la màquina de vapor des del seu primer origen fins l'any de publicació de l'obra amb el propòsit de posar en valor la seva influència en la prosperitat al llarg d'un segle i reflexionar sobre els possibles futurs avantatges que podia portar. L'obra descriu detalladament l'evolució de la tecnologia de vapor explicant els seus principis i descrivint el funcionament dels diversos dissenys de màquines i elements de millora amb l'ajuda de dibuixos per fer entenedores les explicacions. En aquest sentit, Farey va voler que la seva obra fos també un curs d'instrucció per professionals i futurs enginyers. L'obra respon a la necessitat d'aprendre els principis de la tecnologia de vapor amb una guia científica en un moment en el que obres crucials com *Nouvelle Architecture Hydraulique* de Prony havien quedat antiquades. John Farey percep el moment tecnològic en que viu com el de perfecció de la màquina de vapor amb els principis i funcionament de la màquina totalment desenvolupats i àmpliament estesos amb la prometedora tecnologia d'alta pressió en expansió.

L'autor agraeix l'ajuda d'altres enginyers amb la recollida d'informació moguts també pel desig de promocionar les tecnologies descrites. James Watt i Arthur Woolf<sup>2</sup> posaren a disposició de l'autor tot el seu coneixement sobre l'origen i progrés de les seves invencions.

**Henry Winram Dickinson** (1870 – 1952) va ser l'enginyer mecànic de Science Museum de Londres i dos anys president de la Newcomen Society, institució de la que va ser secretari al llarg de 19 anys. Entre 1914 i 1952 va escriure les biografies de Robert Fulton, John Wilkinson, James Watt, Mattheew Boulton i Richard Trevithick. El 1927 va publicar junt a Rhys Jenkins l'obra *James Watt and the Steam Engine* en la que els autors, a través de la transcripció de correspondència personal de James Watt amb els seus associats, fan una discussió crítica de l'origen de cada invenció, posant el focus en els passos fins aconseguir un disseny pràctic. Completen l'obra descrivint les condicions i context de les millores que va introduir Watt en la tecnologia del vapor.

---

<sup>2</sup> Va ser James Watt fill, d'acord amb les dades que dona Farey sobre l'inici de recopilació de dades. Arthur Woolf va ser un enginyer que va millorar la màquina Compound d'alta pressió i la va comercialitzar per França i arreu.

El 1939 va sortir la seva obra *A Short History of the Steam Engine*, on presenta la idea que la màquina de vapor va ser l'agent més eficient de la Revolució Industrial, alliberant la dependència d'un desnivell d'aigua, del vent, de la força animal o de la mateixa força humana. Va fer possible explotar les mines a major profunditat i fondre i forjar major quantitat de ferro que al mateix temps servia per fer maquinària de tot tipus. En temps posteriors a Santponç, la màquina de vapor va fer possible la producció en massa i va ser el motor de trens i vaixells que portaven aquestes mercaderies per tot el món. Per a Dickinson, va ser aquesta època l' "era del vapor" i encara seria utilitzada la seva força per moure les turbines de les centrals elèctriques. Dickinson va descriure els esforços dels pioners de Savery i Newcomen, passant per les aportacions de Watt i de Trevithick qui va dissenyar màquines d'alta pressió per aplicar-les al moviment d'automòbils i finalment trens. La seva recerca abasta fins els temps més moderns de l'aplicació de la força expansiva del vapor. La visió del desenvolupament de la tecnologia del vapor com el desencadenant de la Revolució Industrial, o fins i tot d'una nova època, no és la visió majoritària entre els historiadors contemporanis. Molts altres factors van ser decisius per al progrés de la indústria, que ja havia començat amb el sistema de fàbrica, i la invenció de nova maquinària tèxtil; la implantació de l'energia hidràulica com a font d'energia ja estava desenvolupada i els canals per al transport de mercaderies van fer rendible el comerç.

Entre 1954 i 1958, va ser publicada l'obra *A History of Technology* obra editada per C. Singer, E. J. Holmyard, A.R. Hall i T.I. Williams. Dickinson va escriure el capítol 6 del volum IV sota el nom "The Steam-Engine to 1830". Aquest capítol sintetitza, sense perdre cap detall, l'evolució de la tecnologia del vapor des de les experiències amb el buit del segle XVI i XVII passant pels dissenys de Savery i Newcomen amb les contribucions de Desaguliers i altres. Aporta figures clares amb les que recolza les explicacions, i es para a analitzar els problemes que s'afrontaren amb les solucions que es van proporcionar, posant atenció a la complicada construcció dels cilindres. També segueix les observacions científiques al voltant de les màquines de vapor que feren els enginyers que les construïen. El relat del desenvolupament de la tecnologia del vapor arriba a James Watt i a Trevithick qui va apostar per la màquina de vapor d'alta pressió amb un cilindre que no requeria de condensació. Explica el disseny de màquines a partir de 1800 a partir de que les patents de Watt comencen a caducar i explica els dissenys dels competidors de Boulton i Watt. Acaba l'article resumint el major ús per al que va ser utilitzat cada un d'aquests dissenys de màquina.

**Donald Stephen Lowell Cardwell** (1919 – 1998) es va llicenciar en física el 1939 i va ser professor d'Història de la Ciència a la University of Manchester, Institute of Science and Technology i president de The Manchester Literary and Philosophical Society. Es va involucrar posant les bases per la creació del Museu de Ciència i Tecnologia de Manchester, que va obrir el 1968.

Al 1963 Cardwell va publicar *Steam Power in the Eighteenth Century* que presenta com un estudi dels factors científics, tecnològics i socials que van governar el desenvolupament de la tecnologia de vapor entre els anys 1700 i 1825. En aquesta obra, Cardwell posa en el seu context social l'evolució de la tecnologia de vapor des de les primeres experiències amb el vapor i els efectes del buit fins a les millores a les que va arribar James Watt i el desenvolupament de la màquina de vapor d'alta pressió impulsat per Trevithick. Explica com es va donar la comercialització de les màquines dissenyades per Watt i construïdes a Soho, presentant dades interessants dels reptes d'aquest negoci. També figura en aquesta obra la difusió de la tecnologia del vapor per Estats Units. Cardwell apunta que els factors que impulsen el

desenvolupament tecnològic són la simplicitat, la seguretat, la fiabilitat i els costos, que en ocasions impedeixen el desenvolupament tecnològic.

El 1994, en la seva obra *The Fontana History of Technology* Cardwell fa un repàs per la història del progrés científic i tecnològic des de l'època grega i romana, passant per la medieval i renaixentista fins arribar al desenvolupament de la indústria. Aquesta obra és una síntesi de comprèn un gran ventall de aplicacions tècniques, invents i màquines com el rellotge, maquinària hidràulica i tèxtil, màquina de vapor, electricitat, telegrafia i més.

**Jacques Payen** (1931 – 1993) va ser director del Centre de documentation d'histoire des techniques al Conservatoire national des arts et métiers de París. La seva obra *Capital et Machine à Vapeur au XVIIIe Siècle* ens ha servit de gran utilitat per aprendre com es va donar l'acclimatació de la tecnologia de vapor a França. Ens dona el context que va fer possible que la tecnologia de vapor de simple i doble efecte aconseguís ser aclimadada a França. Descriu les circumstàncies polítiques, socials i econòmiques que permeteren que els germans Pèrier portessin endavant projectes d'instal·lació de gran envergadura. Payen descriu els llocs de construcció mecànica a França que van ser els impulsors de la circulació de procediments tècnics. Per exemple, les foneries de l'Armada destinades a la fabricació de canons no estaven destinades a la construcció de màquines de vapor, però el coneixement tècnic que desenvolupaven va ser necessari per la seva construcció. Payen descriu molts indrets on s'aplicava tecnologia puntera i explica les relacions dels Pèrier amb aquesta circulació de coneixement tècnic. Es descriuen moltes màquines i s'aprofundeix en els problemes que havien de ser superats per posar en funcionament una màquina de vapor per a complir amb la funció a la que estava destinada.

**Richard Hills** (1936 – 2019) va ser doctor per la University of Manchester, Institute of Science and Technology on va treballar per la obertura del Manchester's Science and Industry Museum del que va ser el primer conferenciant. La seva recerca sobre la història de la tècnica es va centrar bastant en el desenvolupament de la tecnologia del vapor. Sobre aquesta tecnologia, la seva recerca s'ha estès des dels començaments fins a principis del segle XX, el seu treball és indispensable per als historiadors d'història de la ciència.

**Juan Helguera Quijada** és doctor per la Universitat de Valladolid en història econòmica. Ha estudiat la indústria del segle XVIII, fent recerca sobre la metal·lúrgia. La seva recerca sobre l'espionatge industrial promogut per la Corona Espanyola ha sigut de molt d'interès i ha donat molta llum sobre la circulació per Europa del coneixement científic i tècnic. El seguiment que ha fet de cada cas d'instal·lació de màquines de vapor a l'Estat Espanyol al segle XVIII i principis de XIX ens ha sigut de molta ajuda per posar en context la màquina de vapor de Francesc Santponç. La informació que dóna sobre processos tècnics i materials ens ha aprofitat també per la nostra recerca.

**Jaume Agustí Culler** és doctor en Ciències Físiques per la Universitat Autònoma de Barcelona i ha sigut investigador en intel·ligència artificial al CSIC. L'any 1983 va publicar *Ciència i Tècnica a Catalunya en el segle XVII: La introducció de la màquina de vapor*. En aquesta obra va ser publicada la transcripció de la memòria descriptiva de Santponç acompanyada d'una biografia científica junt a una descripció del context històric en que es va construir la seva màquina de vapor. També es tracta la introducció de la física clàssica a Catalunya al segle XVIII.

**Carles Puig – Pla** és Doctor en Ciències Físiques i ha sigut professor titular d’Història de la Ciència al departament de Matemàtica Aplicada I de la Universitat Politècnica de Catalunya. La seva recerca s’ha orientat cap a l’estudi de la introducció de la física, la fabricació d’instruments científics i l’establiment d’ensenyaments científicotècnics a Catalunya en els segles XVIII i XIX. Les investigacions de Carles Puig sobre l’establiment de cursos de Mecànica han donat llum a la faceta de Santponç com a professor de Mecànica, en ser el pioner d’aquest tipus d’ensenyament a Catalunya. També són de l’interès d’aquesta tesi la recerca i reflexions de la revista *Memorias de Agricultura y Artes* editada entre 1815 i 1821, de la qual Santponç va ser redactor de la part de Mecànica.

**Antoni Roca – Rosell** és llicenciat en ciències físiques per la Universitat de Barcelona i Doctor en Ciències per la Universitat Autònoma de Madrid. És professor titular d’Història de la Ciència al Departament de Matemàtiques a la Universitat Politècnica de Catalunya. La seva recerca es centra en el procés de difusió i assimilació de les idees científiques, principalment de la física, de l’enginyeria i les tecnologies. Entre la seva ampla producció de treballs hi figuren diversos estudis de les acadèmies de Barcelona i el seu impuls en la difusió de coneixement quan la Universitat estava tancada. Ha comunicat els resultats de les seves recerques respecte el desenvolupament de la tecnologia a les acadèmies. Ha donat a conèixer l’activitat científica de Santponç en aquestes acadèmies i en la redacció dels articles de Mecànica a la revista *Memorias de Agricultura i Artes*, amb els que Santponç va fer difusió del coneixement tècnic.

**Irina Gouzévitch** és doctora en història de les tècniques per la Universitat de Paris VIII i una reconeguda investigadora que ha completat una recerca exhaustiva sobre Agustín de Betancourt; alguns resultats de la seva investigació els ha publicat en articles, però ha reunit tots els resultats de la seva extensa recerca en un magnífic monogràfic sobre la trajectòria de Betancourt, presentat l’any 2018 per a la seva habilitació d’investigació (HDR) a la Université Paris Diderot. L’HDR és una acreditació per a accedir a nivells superiors en la carrera docent i investigadora. Per realitzar aquest treball, que és el resultat de trenta anys d’investigació, Irina ha treballat en arxius i fonts en Rússia, França, Anglaterra, Cuba i Espanya. Amb el seu company Dmitri han format un equip de treball que ha aconseguit resultats de gran importància per la comunitat d’historiadors de la ciència i la tècnica, com el seguiment de la circulació d’experts per Europa i Rússia. A part d’aquest treball d’aquest admirable treball al voltant de la figura de Betancourt, el domini de la seva recerca abasta la transferència de tècniques, acumulació i circulació de coneixements, mobilitat dels experts i qüestions identitàries.

**Dimitri Gouzévitch** es doctor en ciències tècniques a Rússia i diplôme en histoire et civilisation a l’EHESS de Paris. Destaca per les seves recerques d’enginyers i tècnics i els dissenys que inventaren. Ens és d’especial interès les conclusions que fonamenta sobre circulació de solucions tècniques. Amb el seu treball contribueix a l’estudi del cos d’enginyers; la seva organització, forma d’aprendre, les relacions amb la resta de la societat, funcions, transferència tècnica, producció de sabers i intercanvis culturals.

**Lissa Roberts** és professora de *long – term development of science and Technology* a la Universitat de Twente a Holanda. L’interès de la seva recerca és molt ample des de la història de la química, relacions ciència i tecnologia al llarg de la història fins a l’estudi de l’establiment d’empreses tecnològiques. Ha fet recerca de la aclimatació de la tecnologia del vapor als Països Baixos al segle XVIII. Ha estudiat la màquina de vapor com una màquina integrada en el marc rural construïda per al drenatge d’aigua i el disseny paisatgístic.

**Agustí Nieto – Galan** és doctor en Història per la Universitat de Barcelona i catedràtic d'Història de la Ciència a la Universitat Autònoma de Barcelona. La seva recerca s'ha centrat en la història de la química, les relacions entre la tecnologia i el medi ambient, i en la història de la divulgació científica. És del nostre interès les seves publicacions sobre l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.

### **1.7 CONCLUSIÓ.**

Per portar a terme la nostra recerca ens vam plantejar una sèrie d'objectius relacionats amb la contribució de Francesc Santponç a l'apropiació de la tecnologia del vapor a Catalunya i Espanya. Hem combinat el treball de comprensió dels detalls tècnics del projecte de Santponç amb una anàlisi de la seva personalitat de metge-mecànic. La localització de la memòria de Santponç va confeccionar el 1805, destinada a una publicació que mai aparegué ha estat decisiva per donar un enfocament nou al nostre treball.

## CAPÍTOL 2: SANTPONÇ, UN METGE-CIENTÍFIC-ENGINYER

Francesc Santponç i Roca va néixer l'1 d'Octubre de 1756, era fill del metge Josep Santponç i Alsina i d'Inés Roca. Tant la seva mare com el seu pare es varen casar després d'enviudar. El seu pare havia estat casat amb Eulàlia Cabanes en primeres núpcies aportant al matrimoni dos fills; Josep Ignasi Santponç Cabanes que va ser doctor en medicina i Joan Santponç Cabanes, doctor en dret. Per part de la seva mare, Inés Roca, aportava al matrimoni una filla: Peronella Ma Josepa Pujol i Roca, fruit del seu primer matrimoni amb Sever Pujol, notari a Barcelona (Zarzoso, 2003, 240).

Segons el diccionari d'Elias de Molins, Santponç va començar els estudis de Filosofia en la Universitat de Cervera el 1770, defensant les conclusions públiques el 1773, obtenint així el títol de Barxiller en Arts. L'any 1778 es va graduar de batxiller en Medicina i en 1779 va fer la pràctica de la carrera a Barcelona rebent els graus de llicenciatura i doctor en la Universitat de Huesca. Aquestes dades sobre la formació de Santponç són una còpia del *Resumen de los meritos literarios del Doctor Don Francisco Santponç y Roca*. Aquest resum està imprès i té una extensió d'un full i mig. Es desconeix la finalitat amb la que va ser imprès i consisteix en l'enumeració dels seus títols d'estudis, premis i publicacions fins 1793. Aquest *Resumen* forma part de l'arxiu familiar de Santponç propietat de la família de Pere Basil a Olot.

Tot i que les dades acadèmiques sobre Santponç del diccionari d'Elias de Molins són extretes del *Resumen*, hi ha algunes informacions que no coincideixen. Per exemple, al diccionari de Molins s'indica que després de fer la pràctica de la carrera a Barcelona, Santponç va rebre els graus de llicenciat i doctor a la Universitat de Huesca, mentre que el *Resumen* notifica que aquests títols els va obtenir a la Universitat de Cervera. A l'Arxiu de la Universitat de Barcelona consta que el 20 d'abril de 1779 Santponç va rebre la llicenciatura en Medicina i el 25 d'abril de 1779 el grau de Doctor.

Tant al *Resumen* com al diccionari, s'explica que al 1780 Santponç va fer un viatge a l'estranger per a perfeccionar els seus coneixements en matemàtiques, física experimental i mecànica. Al diccionari apareix una frase que no està al *Resumen*: "a cuyos estudios se habia dedicado siendo cursante en medicina". Així doncs sabem, per el diccionari d'Elias de Molins, que Santponç es va interessar per la mecànica quan encara era estudiant de medicina. El viatge d'estudis a l'estranger va ser sufragat pel mateix Santponç segons el *Resumen*. El mateix any que va fer aquest viatge, va ingressar com a soci a l'Acadèmia de Médico Pràctica de Barcelona.

### 2.1 PRIMER REPTE MECÀNIC AMB ÈXIT: LA MÀQUINA D'ESGRAMAR CÀNEM I LLI.

Tant al Diccionari d'Elias de Molins com al *Resumen* s'explica que al 1784, quatre anys després del viatge que va fer a l'estranger, Santponç va dissenyar, junt al metge i amic Francesc Salvà (1751-1828), i l'artesà Pere Gamell (1749-1789), una màquina per esgramar cànem que va ser considerada de suficient utilitat com per a publicar una memòria descriptiva que va ser impresa per la Impremta Reial (Roca Rosell, 2005, p. 206), (Puig-Pla, Roca-Rosell, 2010). Aquesta memòria es va publicar sota el títol *Disertación sobre la explicación y uso de una nueva*

*màquina para agramar cáñamos y linos*<sup>3</sup>. La memòria és una obra de 36 pàgines que descriu les parts i funcionament d'una màquina que, mitjançant tres rodets estriats, estava dissenyada per esgramar les fibres de cànem i lli. La memòria va ser acompanyada de dos plànols amb 4 figures cadascun per facilitar la comprensió de les explicacions sobre la seva construcció i ús. Els plànols foren dibuixats per Santponç, en ells es mostren unes figures dibuixades amb precisió amb l'escala corresponent .

Esgramar cànem era una operació que requeria molt de temps i esforç, el resultat final havia de ser un manat de fibres amb les que es feia fil de diverses qualitats. Per separar les fibres del cànem de la seva tija calia remullar els manats de cànem amb aigua durant diversos dies per a què les fibres comencessin a desprendre's. Després de remullar el cànem i assecat-lo es requerien tres operacions; primer s'esgramava cada manat amb un martell gros de fusta o una esgramadora manual. Aquesta operació era molt pesada i amb ella s'aconseguia esmicolar la tija que quedava barrejada entre les fibres. Per desprendre els trossos de tija de les fibres s'espasava i pentinava; l'operació d'espasar es feia utilitzant una mena d'espasa de fusta que es passava amb força per la part externa del manat que l'espasador subjectava amb la mà esquerra. Finalment es pentinava el manat passant-lo per un conjunt de pues de ferro fins que quedaven les fibres totalment netes de trossos de tija i preparades per fer fil.

La màquina d'esgramar va ser un salt tecnològic important respecte l'esgramadora manual. Una esgramadora manual consistia en dues fulles dentades de fusta articulades amb una frontissa, el seu funcionament consistia en col·locar el manat de cànem o lli entre les seves fulles i tancar les fulles contra el manat de cànem amb el pes i força de l'esgramador que realitzava l'operació. Calia anar passant tot el manat, per parts, per l'esgramadora per a quedar esmicolada la tija en tota la seva llargària. La màquina d'esgramar de Salvà i Santponç consistia en tres cilindres estriats col·locats un a sobre de l'altre i que eren moguts per cavalleries; l'esgramador havia de passar el manat entre els dos cilindres superiors i tornar a introduir el manat entre els dos cilindres inferiors per la part del darrere per completar el procés.

La memòria sobre l'esgramadora comença amb una *Advertencia* en la que Salvà i Santponç justifiquen perquè estan interessats en qüestions tecnològiques. Els autors citen els *Apendices a la industria popular* escrits per Pedro Rodríguez Campomanes (1723-1802) qui defensava que el desenvolupament de les arts no havia de ser impulsat només pels artesans (tècnics), assenyalant que els tractats sobre arts i oficis havien sigut promoguts, en gran part, per literats després d'aprendre i estudiar la tecnologia que promovien (Salvà i Santponç, 1784, *Advertencia*). Aquesta cita l'hem trobada al tercer volum de *Apendice a la educacion popular* que forma part de l'obra completa anomenada *Discurso sobre la educacion popular de los artesanos y su fomento*<sup>4</sup>. Campomanes va escriure aquesta extensa obra amb la finalitat d'explicar com havia de ser l'ensenyament dels oficis dintre dels gremis (Campomanes, 1775, *Objeto de este discurso*). Aquesta obra de tres volums es centra en algunes qüestions de l'ideari educatiu reformista del regnat de Carles III (Martínez-Otero, 2015, 144). Campomanes escriu el *Discurso* amb la finalitat de beneficiar Espanya en considerar que l'educació tècnica i moral dels artesans era insuficient, havent-se deteriorat les arts i oficis.

La cita de Campomanes defensant la participació de literats en el desenvolupament tecnològic reflecteix el malestar que hi havia entre metges immobilistes i els que eren partidaris d'estudiar

---

<sup>3</sup>Hem consultat l'exemplar a la Real Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i es pot llegir a Biblioteca Digital Hispànica: <http://bdh.bne.es/>

<sup>4</sup> Es pot trobar aquesta obra online en: <http://bdh-rd.bne.es/viewer.vm?id=0000045936&page=1>

altres camps que podien ajudar amb la pràctica mèdica. Santponç i Salvà es veuen obligats a justificar la seva aportació a la tecnologia amb la màquina d'esgramar cànem posant altres exemples de metges que havien fet bones aportacions en tecnologia i química. Aquesta justificació la donen perquè, segons expliquen a la *Advertencia* de la memòria, hi han hagut persones que han intentat ridiculitzar la invenció de la màquina considerant que la professió mèdica era incompatible amb aquest interès per la tecnologia.

Una prova convincent de la utilitat de la màquina d'esgramar va ser que la memòria es va publicar en la Impremta Reial per fer difusió arreu l'Estat Espanyol. Però val la pena indagar una mica en les revistes amb interès pels avenços tecnològics; al diccionari de Molins, s'indica que al *Memorial literario* es dona la notícia de la publicació de la memòria descriptiva que els dos metges varen redactar. Hem trobat aquesta notícia publicada al *Memorial literario instructivo y curioso de la Corte de Madrid* al desembre de 1784. Hem pogut consultar aquesta publicació a l'hemeroteca digital de la Biblioteca Nacional de España on hem trobat anunciada la publicació de la memòria assenyalant que l'operació d'esgramar cànem amb aquesta màquina es realitzava de forma més senzilla, barata, suau i saludable<sup>5</sup>. El *Memorial Literario* era una publicació mensual que tenia una secció bibliogràfica on descrivien els llibres que es publicaven i que podien tenir interès pels seus lectors. Per redactar aquesta secció el *Memorial* tenia com font d'informació la *Gazeta*, on es donava aquesta informació de primera mà.

També hem trobat altra menció a la màquina d'esgramar cànem i lli a *Ensayo de una biblioteca española de los mejores escritores del reinado de Carlos III* de Juan Sempere i Guarinos (Sempere, 1789, 108). Segons el seu pròleg, el propòsit d'aquesta obra era posar en valor els esforços de la monarquia borbònica per estendre la il·lustració presentant les millors obres escrites per a la difusió de les arts i les ciències. Respecte la ressenya de la màquina d'esgramar cànem i lli s'explica que l'obra ve acompanyada de dues làmines per explicar el mecanisme i la funció de la màquina. També val la pena destacar el ressò europeu que tingueren els treballs de Santponç, la memòria sobre la màquina d'esgramar cànem fou publicada i traduïda a l'italià i possiblement al francès. La Société Royale des Sciences lloà molt la invenció (Agustí, 1983, 77-79). L'èxit d'aquesta empresa pot ser un factor que fomentà, encara més, l'interès de Santponç per la mecànica i que el va conduir cap a l'estudi de la tecnologia del vapor.

En el procés de disseny i construcció de la màquina d'esgramar trobem dues formes de procedir que es repetiren en la construcció de la màquina de vapor. Ens referim, per una part, a l'aprenentatge mitjançant l'estudi de llibres tecnològics estrangers i, per altra, a l'experimentació al llarg del procés de construcció de l'esgramadora en el qual col·laboraren científics i tècnics. Aquestes dues formes de procedir mostren com es va produir el procés d'aprenentatge tecnològic i el traspàs de coneixements des del nord d'Europa fins al sud, tant en el cas de la construcció de la màquina d'esgramar com en el projecte més ambiciós de Santponç: la màquina de vapor. Però cal assenyalar que el disseny de l'esgramadora es va realitzar a partir de les idees pròpies de Salvà i Santponç, mentre que la màquina de vapor es va realitzar seguint dissenys publicats amb aportacions originals que estudiem en aquesta tesi.

Respecte al procés d'experimentació, Salvà i Santponç expliquen a la memòria que intentaren la separació de les fibres del cànem amb un procediment químic que finalment descartaren per no ser encertat. Expliquen també que les últimes novetats els informen que aquest procediment, après de l'obra *Dictionnaire Universel d'Histoire Naturelle* de Mr Valmont de Bomare, també va

---

<sup>5</sup> Memorial literario, instructivo y curioso de la Corte de Madrid (1784).



ser abandonat per altres tècnics estrangers per no ser d'utilitat (Salvà i Santponç, 1784, xv). Aquest és doncs un exemple d'aprenentatge per experimentació en el que els coneixements tècnics s'adquiriren de forma pràctica amb el recolzament de la lectura d'obres estrangeres. El procés d'experimentació es va donar gràcies a la col·laboració amb tècnics que varen fer possible la realització dels projectes. En el cas de l'esgramadora Salvà i Santponç comptaren amb l'experimentat fuster Pere Gamell, que al 1786 va ser admès com a soci en la Real Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona com a mestre fuster i maquinista. Gamell va inventar algunes màquines que foren apreciades per la seva utilitat; el 1787 es publicaren al *Memorial Literario* tres articles relatius a dues màquines inventades per ell: una màquina per netejar el cotó, que arribava molt apretat d'Amèrica, i una s'nia hidràulica que pujava de nivell gran quantitat d'aigua i que era apreciada per abastir d'aigua els camps d'indianes (Sánchez, 2014, 204-210). A més, Gamell era hàbil aplicant les matemàtiques per calcular els efectes de les seves màquines; totes aquestes habilitats feren d'ell un professional de reconeguda valia qui va introduir algunes millores en la màquina d'esgramar. Una d'aquestes millores va ser una planxa parabòlica amb la qual el cànem es reintroduïa de nou a la màquina, quan sortia dels dos cilindres superiors, i que estalviava el jornal d'un treballador (Salvà i Santponç, 1784, x-xi).

Després de construir la màquina, Salvà i Santponç posaren molt d'interès i esforç en calcular, de forma pràctica i fent ús de la màquina, quants manolls de cànem es podien esgramar en un dia i el cost que suposava. A part d'aquesta experimentació, calcularen la força dels cilindres de la màquina utilitzant fórmules en obres que Salvà i Santponç havien estudiat com Hire, Amontons i Bélidor. Així recapacitaren sobre la millor forma d'introduir els manolls de cànem a la màquina per no esgotar el cavall (Salvà i Santponç, 1784, xiii-xxvi). En *Ciència i Tècnica a Catalunya en el segle XVIII* de Jaume Agustí Cullerell estan publicades les anotacions de Salvà i Santponç amb els resultats dels experiments fets (Agustí, 1983,78). En aquestes anotacions enregistraren el pes que aguantaven les fibres de cànem de tres qualitats diferents, en la màquina d'esgramar i en una esgramadora convencional. Amb tota aquesta experimentació, Salvà i Santponç presentaren una memòria que era una guia per la reproducció de la màquina; feren els càlculs i els plànols de la màquina per a cilindres de 5/4 de palm de diàmetre, i donaren les proporcions per dissenyar noves màquines d'esgramar de qualsevol dimensió. A més, donaren l'adreça de Pere Gamell per si algun lector necessitava qualsevol aclariment o volgués comprar una maqueta de la màquina que Gamell construïa a escala i que ja havia enviat a Mallorca i a altres parts.

Per al correcte ús de la màquina, les persones interessades en instal·lar-la havien de fer alguns càlculs. Segons s'explica a la memòria la instal·lació de l'esgramadora requeria determinar la resistència a trencar-se del cànem amb el que s'anava a treballar. Aquesta resistència determinaria les dimensions de les estries dels tres rodets. Així que es requerien càlculs per dissenyar bé els rodets que havien de trinxar la part llenyosa del cànem sense fer malbé les fibres i sense que s'enredessin. Salvà i Santponç explicaren el procediment que calia seguir per determinar la força que era necessària per trencar una branca de cànem, una dada que era necessària per fer una correcta instal·lació de la màquina amb èxit (Salvà i Santponç, 1784, 31).

El detall amb el que estan dibuixades les peces als dos plànols indica que escrigueren la memòria amb tota la informació necessària perquè la màquina pogués ser reproduïda. Cap de les seves peces queda sense explicació, també els ressorts que farien progressiva la força dels cilindres contra el cànem foren dibuixats amb detall i explicaren la forma en què havien de ser col·locats (Salvà i Santponç, 1783, vii, viii). També es menciona a la memòria una màquina petita amb la que experimentaren amb diversos cilindres que intercanviaven al llarg del procés

d'esgramació (Salvà i Santponç, 1783, xxx). Contínuament intentaren millorar la màquina i fins l'últim moment incorporen a la memòria les últimes idees, on queda reflectit el constant diàleg que tenien Salvà i Santponç amb els propietaris de màquines ja construïdes que els explicaven les seves necessitats (Salvà i Santponç, 1783, xxx). Els seus esforços es centraren, doncs, en fer una memòria que realment fos útil per reproduir la màquina d'esgramar i saber-la calibrar i utilitzar per difondre amb garanties aquesta tecnologia per tot l'Estat Espanyol.

Per les notes a peu de pàgina de la memòria de l'esgramadora (Salvà i Santponç, 1784, xviii-xix), sabem que Salvà i Santponç havien estudiat l'obra *Architecture Hydraulique* de Mr Belidor (Bélibor, 1737) per calcular la potència de la màquina i estimar la quantitat de cànem que podia esgramar en una hora. Com veurem, aquesta obra de Bélibor va ser una de les que va ser estudiada i utilitzada per construir la màquina de vapor i de la qual es va aprofitar una aixeta de doble entrada per fer el disseny d'una de les seves peces anomenada *Registre* i de la que en parlem molt en aquesta tesi. Llavors, el projecte de l'esgramadora va girar al voltant de dos eixos: per una part l'experimentació, i per altra, l'aprenentatge mitjançant llibres tecnològics estrangers, fent ús d'una bibliografia que utilitzaria posteriorment en el major projecte tecnològic que va fer Santponç: la màquina de vapor per moure filatures.

Amb l'estudi de la memòria de la màquina d'esgramar cànem hem pogut clarificar com es va materialitzar el disseny d'una idea que feia més ràpid i econòmic el procés d'obtenció de les fibres del cànem. Aquest projecte va aportar a Santponç una experiència que li va servir per la construcció de la màquina de vapor, un gran projecte amb el que hem trobat algunes similituds com la preparació teòrica amb l'estudi d'obres estrangeres i el procés d'aprenentatge pràctic amb la col·laboració proactiva d'artesans. En aquest aspecte ens ha cridat l'atenció, i ho volem destacar, el fet que hi hagués una maqueta o màquina petita amb la que experimentaren provant diversos cilindres. Aquesta circumstància es va tornar a donar amb la construcció de la màquina de vapor, projecte en el que també utilitzaren una màquina de dimensions més reduïdes per provar solucions per als problemes tècnics que hagueren d'afrontar. Aquestes formes de procedir es repetiren en dos projectes que es diferenciaren en què un va ser la materialització d'una idea pròpia per millorar el procés d'obtenció de fibres de cànem i l'altre va consistir en la construcció d'una màquina d'una tecnologia que havia sigut desenvolupada en països del nord d'Europa en un moment en què encara no estava implantada a l'Estat Espanyol. Amb el projecte de l'esgramadora i la redacció de la memòria Santponç adquiriria experiència per construir, vint anys després, una màquina molt més ambiciosa: la màquina de vapor per a l'empresari Jacint Ramon.

El propòsit de la construcció de l'esgramadora va ser, segons expliquen Salvà i Santponç, fer més fàcil una feina que perjudicava la salut dels treballadors que patien malalties a causa de la esgramació del cànem. Amb al impressió d'aquesta memòria, sota al regnat de Carles III, es pretenia fer difusió d'una nova màquina que faria més ràpid i econòmic aquest procés. Però Jaume Agustí Cullell apunta a altre propòsit: Salvà i Santponç no demanaren una patent per protegir i explotar el disseny de la seva màquina, enlloc de demanar una patent, sol·licitaren un premi a la Junta de Comerç per agilitzar les vendes i evitar plagis (Agustí, 1981, 75). Tot i això, la màquina no va estar exempta de còpies i plagis com ho va denunciar Pere Gamell en una carta *al Memorial Literario*<sup>6</sup> i el mateix Santponç a *Memorias de Agricultura y Artes*<sup>7</sup>. Santponç explica a *Memorias de Agricultura y Artes*, publicació de la que més endavant parlem,

<sup>6</sup> Consulteu número de Juny 1788, pàgines 230-238.

<sup>7</sup> *Memorias de Agricultura y Artes*, num. agost 1818 pàgines 81-84 i setembre de 1818 pàgines 137-138

que a França s'ha fet circular el disseny d'una esgramadora de cànem que és la mateixa que va ser inventada per Santponç i Salvà. I també denuncia que altra màquina anglesa era còpia d'aquesta, encara que la força motriu de la màquina anglesa era hidràulica enlloc d'impulsada per cavalleries. Aquesta acusació de plagis va ser publicada l'agost de 1818 i Santponç afegeix que el disseny hidràulic per posar la màquina anglesa en marxa és antiquat.

La carta de Gamell al *Memorial Literario* ens ha permès conèixer que en les actes de la Societat d'Amics del País de València de l'any 1786 es va premiar, amb 1.500 rals de velló, una màquina esgramadora que Gamell denunciava com una còpia de la que ell va construir per a Salvà i Santponç. Per tant, la publicació de la memòria va servir com a prova per denunciar màquines que consideraven plagis de la dissenyada pels metges. També explica Gamell que Santponç va demanar a aquesta societat una còpia del disseny de la màquina que acordaren enviar-li, però que no va rebre mai. No hem pogut trobar les actes de l'any 1786, però si les de l'any 1790 en les que s'explica que la societat havia rebut una carta de la casa reial que els demana un informe dels progressos d'aquesta màquina. La Societat d'Amics del País de València va acordar enviar les actes amb les valoracions sobre la màquina dels anys 1785 i 1786, sense la valoració dels mèrits més actuals de la màquina, que era el que realment demanava l'ordre reial<sup>8</sup>. Aquest interès pel desenvolupament tecnològic mostra un moment propici per als avanços tècnics. Gràcies a aquesta carta, escrita a l'any 1788, hem pogut conèixer que es continuaven fent millores a la màquina d'esgramar. Explica Gamell que l'any 1787 en la màquina dels germans Calvet es suprimiren els ressorts de la màquina i que va funcionar molt bé, esgramant 300 quintars. També parla de la màquina que va planificar el Tinent Coronel D. Domingo Mariano Traggia a Daroca, província de Saragossa, qui va dissenyar un sistema hidràulic per fer-la moure, substituint els cavalls. A més en aquesta màquina s'havien substituït els ressorts per peces més resistents. Anuncia Gamell, així mateix, que els metges Salvà i Santponç havien planejat més experiments i la redacció d'una segona dissertació, de la qual no en tenim notícies, amb les millores de la màquina. Així doncs, aquesta carta mostra que el projecte de l'esgramadora no es va concloure amb la redacció de la memòria; la investigació i les millores varen continuar i eren impulsades quan es planificava una nova construcció d'aquesta màquina.

Una circumstància que es va donar en el projecte de la màquina d'esgramar cànem és que, quan es va escriure la memòria, ja hi havia diverses esgramadores en funcionament. Es parla a la memòria de la màquina d'En Pablo Cuyas del Bosch i es donen les dimensions dels seus cilindres, que tenien radi més gran, i que alienten el procés d'esgramació evitant que els fibres s'enredessin (Salvà i Santponç, 1784, xvii, xxx). També s'esmenta a la memòria la màquina d'En Joseph de Perpinyà qui movia la màquina amb energia hidràulica i pensava fer els cilindres més llargs per a què treballassin tres homes a l'hora (Salvà i Santponç, 1784, xxix). I la dels germans Martin Calvet, pagesos de Provençals, que tenien instal·lada una màquina d'esgramar al pati de la seva casa. Aquests germans, en el moment en què s'escrivia la memòria, tenien altra màquina en construcció amb la que Salvà i Santponç pensaven fer més experiments (Salvà i Santponç, 1983, xxxii).

Les noves màquines d'esgramar es venien per tot arreu, malgrat alguns problemes en el funcionament d'alguna d'elles, com la instal·lada en Santes Creus. A part de les vendes particulars, Santponç i Salvà volien obtenir un premi per la invenció i implantar la màquina en

---

<sup>8</sup> Extracto de las actes de la Real Sociedad Económica de Amigos del Pais de Valencia desde 1787 hasta 1791 por Don Tomas Ricard (1792), pàgines 142-143.

les manufactures reials. Totes les gestions que feren per aconseguir-ho tingueren èxit i obtingueren el premi sol·licitat i la implantació de la màquina en els arsenals del rei (Agustí Cullell, 1983, 74-77).

L'any 1786, dos anys després de la publicació de la memòria, Santponç va ser elegit soci de l'Acadèmia de Ciències Naturals i Arts de Barcelona. Va ser el mateix any en què es varen admetre com a socis els principals científics catalans (Roca-Rosell, 2014, 31). Aquesta acadèmia es va fundar amb la voluntat de formar-se en la disciplina de física matemàtica experimental que abastava, en aquell temps, el que avui en dia podem considerar com totes les ciències i les tècniques. A més, el rei Carles III, qui li va donar el reconeixement de reial, demanà que l'Acadèmia tractés matèries útils com l'agricultura (Roca-Rosell, 2014, 25-40). Una característica reeixida d'aquesta acadèmia era que tenia la voluntat d'arribar al coneixement pel mitjà de l'observació, l'experimentació i el disseny de màquines estimulants i alentant el treball artesanal i les arts mecàniques (Roca-Rosell, 2014, 23). L'acadèmia es finançava mitjançant els seus membres i desde la seva fundació va comptar amb càtedres públiques que li aportaven alguns ingressos, com la càtedra de Matemàtiques (Roca-Rosell, 2014, 23-27).

Francesc Santponç no va deixar de banda les seves activitats com a metge per fer les seves contribucions a la tecnologia, una prova d'això va ser la seva investigació sobre una malaltia que afectava als nens. Tant al *Resumen* com al Diccionari de Molins es fa referència a la concessió de la medalla d'or de la Reial Societat de Medicina de París a Francesc Santponç per la seva memòria sobre la naturalesa, les causes, símptomes i curació d'una malaltia que estava afectant als nens de París. Aquesta medalla estava patrocinada també per l'Hospital de nens abandonats de París i va ser concedida a Santponç l'any 1787. Al Diccionari s'indica que, al setembre de 1786, la Reial Societat de Medicina de París va proposar el tema a estudiar i investigar per atorgar el premi. Respecte la concessió d'aquest premi, el Diccionari dona més informació que el *Resumen*; informa del valor del premi, de 400 lliures torneses, i el nom i procedència dels guanyadors del segon, tercer i quart premi. Ens explica, a més a més, que Santponç va acceptar la medalla, valorada en 200 lliures, però va donar les 200 lliures restants en metàl·lic per als nens abandonats de l'hospital, que era la institució que aportava aquesta quantia al premi.

Al llarg de la seva vida, Santponç va tenir diverses i variades disputes de les que parlem al llarg d'aquesta tesi. Entre aquest tipus de problemes, figuren les disputes per l'autoria d'investigacions i invents tecnològics. Tant l'esgranadora de cànem, com la memòria per la qual va guanyar el primer premi de la Societat de Medicina de París varen estar envoltats per aquest tipus de polèmiques. També veurem que, amb la construcció de la màquina de vapor, hi hagué una forta polèmica sobre l'autoria d'una de les seves peces. Respecte a aquest tipus de polèmiques, el Diccionari de Molins ens informa que el 1788, un any després de la concessió del primer premi de la Societat de Medicina de París a Francesc Santponç, el secretari d'aquesta entitat li va escriure una carta informant que una comissió havia decidit que la memòria de Santponç era original i no una còpia de Latelaer, com havia sigut acusat. A més, havien decidit imprimir-la i incloure-la en un dels volums de memòries de la societat.

## 2.2 ANÀLISI QUÍMICA DE LES AIGÜES DE GAVÀ I MONTCADA. APORTACIONS A LA RECERCA CIENTÍFICA DE FRANCESC SANTPONÇ.

Altra aportació a la recerca científica varen ser les anàlisis químiques d'aigua que Santponç va fer i de les que parlem en aquest apartat. En els anys 1787, 1789, 1790 i 1792 Santponç va fer diverses recollides d'aigües per al seu anàlisi amb el propòsit de poder fonamentar científicament les possibles propietats medicinals de dues fonts situades a Gavà i a Montcada. Amb el propòsit de ser útil a la ciutadania, Santponç volia oferir una opció més propera perquè la població de Barcelona pogués proveir-se d'aigües acidulades per al tractament de malalties. Segons explica el mateix Santponç en aquella època calia traslladar-se fins a Sant Hilari o a l'Espluga de Francolí, a dos dies de distància, mentre que Gavà estava a dues lligues i mitja; es necessitaven doncs, només dues hores i mitja a cavall. A la ciutat de Barcelona es receptaven mèdicament les aigües de Sant Hilari i de l'Espluga de Francolí per costum i perquè es coneixien els efectes en els pacients. Respecte a aquestes aigües es coneixia que tenien ferro en la seva composició i que eren àcides; Santponç volia aportar el coneixement científic per determinar la composició de l'aigua mitjançant una acurada anàlisi química per a que els metges tinguessin una millor base de coneixement i no receptar les aigües a cegues (Santponç, 1790?, 1-5).

Degut al gran interès que suscitaven entre la població aquest tipus d'obres, els resultats de les anàlisis d'aigües de les fonts de Gavà i Montcada foren publicats en dues obres diferents anomenades *Anàlisis de las aguas minerales de Gava en el principado de Catalunya* (Santponç, 1790?) i *Anàlisis de las aguas de Moncada en el principado de Catalunya* (Santponç, 1792). Aquests dos treballs publicats són els últims de què es parla en el *Resumen*, completant-se amb ells una biografia de Santponç que va tenir un propòsit de difusió que encara no coneixem.

Santponç portà endavant aquests anàlisis 10 anys després de rebre el doctorat en medicina quan tenia 33 anys. Aquest projecte d'anàlisi d'aigües s'emmarca dos anys després que s'aprovaren els Estatuts de la Reial Acadèmia Mèdico Pràctica de Barcelona per Carles III l'any 1785. En aquests estatuts s'establien com treballs acadèmics aquells que contribuïssin a la elaboració d'un historial de les epidèmies dominants de Catalunya i Barcelona, amb la finalitat d'afavorir un clima per estimular el progrés científic. En novembre de 1786 l'Acadèmia va considerar de molta utilitat la formació d'un pla de topografia mèdica del qual s'encarregarien els metges Francesc Salvà i el mateix Francesc Santponç. Haurien de valorar les tres millors Topografies mèdiques rebudes cada any per a la concessió d'un primer premi que consistia en una medalla d'or i el títol d'Acadèmic (Vallribera, 2000, 9-11). Recordem que podem definir com topografia mèdica l'estudi d'una població des d'un punt de vista mèdic i higiènic, considerant el medi com factor principal de l'aparició de malalties. En aquest sentit l'higienisme és un corrent de pensament desenvolupat des de finals del segle XVIII, principalment per metges, que tenien en consideració la influència de l'entorn ambiental i el medi social en el desenvolupament de les infermetats, proposant mesures de tipus higiènic-social per contribuir a la millora de les condicions de la població (Urteaga, 1980). És en aquest context de foment de la observació empírica i preocupació pels problemes d'higiene pública, en el què Santponç emprèn el projecte d'anàlisi d'aigües per poder establir, sobre una base científica, les seves qualitats.

Segons Urteaga, l'any 1720 es considera el punt de partida en l'establiment d'una vertadera política de salut. En aquest any, a causa dels estralls que causaven les pestes, es va crear la Junta Suprema de Sanitat que va dirigir les juntes provincials i municipals a cada brot de pesta. La nova política respecte la salut pública serà instrumentalitzada mitjançant les Acadèmies de Medicina. La salut i la infermetat es convertiren en problemes centrals per a la Il·lustració,

superant la medicina l'estudi del cos humà com lloc de la infermetat i enfrontant-se a l'estudi d'un lloc molt més ample. Els metges es convertiren així en una de les primeres comunitats científiques que desenvoluparen un estudi d'espais concrets i localitzats per elaborar una geografia mèdica (Urteaga, 1980). El paradigma higienista entrà en crisi a les últimes dècades del segle XIX a partir dels descobriments bacteriològics de 1880 que permeteren assentar noves bases sobre l'origen de les infermetats infeccioses amb el desenvolupament de la microbiologia mèdica, descobrint-se els microbis com productors de la majoria de les infermetats infeccioses.

Santponç començà un projecte nou en el què va analitzar les aigües de dues fonts en un context mèdic caracteritzat per l'impuls de les acadèmies mèdiques que fomentaven l'ampliació de la recerca mèdica més enllà del cos humà. En aquest context Santponç tingué la responsabilitat de començar a organitzar una topografia mèdica per fomentar la salut pública a la que va contribuir amb la publicació de les seves anàlisis d'aigües. Tenint en ment aquest context, passem a exposar les nostres conclusions sobre els treballs de Santponç. Respecte a la primera publicació sobre l'anàlisi de l'aigua de la font de Gavà, Santponç va recollir tres mostres d'aigua en tres anys diferents: 1787, 1789 i 1790. Probablement l'any 1788 Santponç no va fer cap anàlisi perquè l'amo de la font de Gavà estava fent obres de millora per fer més fàcil i net l'accés a l'aigua de la font (Santponç, 1790?, 17-18). Després de la recollida d'aigües i de la seva anàlisi, es publicaren totes les conclusions a què va arribar Santponç en una obra de 68 pàgines en la que no hi figura la data de publicació. Santponç cita, en aquesta obra, a químics de l'època i indica el nom dels mètodes que va fer servir, explicant alguns procediments.

Dos dels científics que cita Santponç a l'anàlisi de les aigües de Gavà són el metge i químic piemontès Victor-Amé Gioanetti (1729-1818), i el prestigiós químic suec Torbern Olof Bergman (1735-1784). Aquests dos publicaren treballs sobre l'anàlisi de l'aigua de diverses fonts. La publicació del treball de Gioanetti va tenir lloc l'any 1779 sota el *títol Analyse des eaux minerales de S. Vincent et de Courmayeur* (Gioanetti, 1779). Respecte de l'obra de Bergman, va consistir en sis extensos volums, escrits en llatí. La publicació dels tres primers volums va tenir lloc a Upsala entre 1779 i 1790 sota el *títol Opuscula physica et chemica (...)* *Pleraque antea seorsim edita jum ab auctore collecta, revisa et aucta (...)* (Pinilla, 2017, 119-121), una obra que recollia una sèrie de treballs anomenats *opuscula* i era un recull de dissertacions de l'autor.

Santponç va aprendre molt de Bergman sobre l'anàlisi de les aigües; ell mateix explica que va preparar i utilitzar amb molta cura els reactius de Bergman per a l'anàlisi de les aigües de Gavà. Aquesta nova font de coneixement de Santponç ens ha permès indagar sobre els coneixements de química que estigueren a l'abast de Santponç. En els pròxims paràgrafs mostrarem el que la nostra investigació ens ha permès esbrinar.

Les traduccions de l'obra de Bergman ens aporten dades sobre els avenços en química que s'estaven donant en el temps en què Santponç va fer l'anàlisi de les aigües de Gavà. Segons Pinilla, al segle XVIII la llengua hegemònica de divulgació científica era el francès, i en Espanya les obres científiques foranies arribaren majoritàriament a través de traduccions del francès a l'espanyol. El cas de l'obra de Bergman en va ser un exemple, la traducció de l'obra del llatí al francès va possibilitar la seva traducció del francès al castellà. El traductor del llatí al francès va ser Guyton de Morveau (1737-1816). Morveau va publicar la seva traducció sota el *títol Opuscles chimiques et physiques de M.T. Bergman*. Aquesta traducció, que va abastar només els dos primers volums de l'obra de Bergman, es va realitzar els anys 1780 i 1785 respectivament (Pinilla, 2017,124).

Morveau va ser un reconegut químic que va publicar diverses obres entre les que destaca *Méthode de nomenclature chimie* (Pinilla, 2017, 122) publicat a París el 1787 amb l'objectiu de reformar el sistema de nomenclatura química. Aquesta obra va ser concebuda junt a químics de la talla d'Antoine Lavoisier (1743-1794), Claude Berthollet (1748-1822) i Antoine Fourcroy (1755-1809). Aquesta nova nomenclatura química proposava nomenar els elements químics amb noms simples i els compostos químics a partir del nom dels seus constituents. Tot i que aquest avenç va ser acceptat per la comunitat científica, Morveau va començar a traduir l'obra de Bergman sense utilitzar la nova nomenclatura per respecte l'autor i l'escrit original. Però al llarg de la traducció de l'obra va rebre autorització de Bergman per adaptar la traducció a la nova nomenclatura, adaptació que també estava fent el mateix Bergman (Soto, 1794, vi-vii). Morveau va ser rigorós en la traducció del text; no va ometre cap dada del text original, i els canvis que va realitzar tingueren sempre el vist i plau de l'autor. També va establir una estreta col·laboració amb l'autor basada en una comunicació permanent entre els dos químics. Les aportacions i objeccions de Morveau al contingut de l'obra les va introduir en notes a peu de pàgina. Segons Pinilla, la finalitat de Morveau al traduir l'obra de Bergman va ser la de participar en l'avenç científic del moment i divulgar aquests coneixements, especialment en les seves classes de química (Pinilla, 2017,123).

Ha sigut d'interès per al nostre estudi llegir la traducció dels *Opuscles* de Bergman del francès al castellà, publicada a Espanya el 1794. Explica Pinilla que va ser el capità de cavalleria Ignacio Antonio de Soto y Arauxo qui va fer aquesta traducció. Antonio de Soto només va traduir els set primers capítols de Bergman, formant un tractat complet sobre l'anàlisi de les aigües sota el títol *Elementos Fisico-químicos de la anàlisis general de las aguas* (Pinilla, 2017, 122). Aquesta traducció específica dels capítols referents a l'anàlisi d'aigües indica l'interès que despertava aquest tema, així ho assenyala el mateix Soto a la introducció quan explica que els campanyes militars que requerien de nous assentaments necessitaven dels coneixements de la química per determinar si les condicions eren saludables, especialment per saber quina era la qualitat de l'aigua (Soto, 1794, ii-iii)

És de l'interès d'aquesta tesi constatar que Santponç va fer l'anàlisi de les aigües abans que Soto publicqués la traducció al castellà. A l'*Anàlisis de las aguas de Gava* Santponç explica que va analitzar l'aigua de la font de Gavà als anys 1787, 1789 i 1790. Per tant, Santponç va poder consultar l'obra de Bergman original en llatí publicada en 1779 o la traducció de Morveau al francès que, com hem dit, va ser publicada entre 1780 i 1785, però la traducció del francès al castellà encara no estava feta. Aquesta circumstància dóna idea de què Santponç estava al corrent de les últimes aplicacions de la química en l'anàlisi de les aigües i mostra el seu interès per els avanços en aquesta ciència. Es preocupava per aconseguir les obres científiques més recents abans de ser traduïdes i divulgades en castellà, cosa que podia fer gràcies al seu domini de la llengua francesa i del llatí.

Encara que Santponç podia haver consultat l'obra de Bergman en llatí sense traducció, ens inclinem per pensar que la versió que va consultar va ser la traduïda al francès per Morveau. Ens basem en què, quan Santponç es refereix als reactius que emprava per a l'anàlisi de les aigües, explica que han sigut preparats seguint els mètodes més exactes i després de corregits els defectes dels reactius de Bergman (Santponç, 1790?, 31). Utilitzar els reactius de Bergman corregits lliga amb el fet que l'obra consultada fos la traducció de Morveau qui, com ja hem dit, va introduir correccions a peu de pàgina amb el vistiplau de l'autor; Morveau va avalar les objeccions que tenia a l'obra de Bergman amb la pràctica científica, fet que reafirmava el prestigi que ja tenia com a químic (Pinilla, 2017, 124). Només dos anys després de ser publicada

la traducció dels *Opuscles* de Bergman al francès, Santponç ja estava fent les anàlisis d'aigües fent ús d'aquesta obra per a actualitzar-se en un tema tan nou en aquella època. Aquestes anàlisis requerien d'una preparació i estudi de procediments i reactius químics en un moment en què s'estava desenvolupant aquesta branca de la química.

Llegint les obres sobre anàlisis d'aigües de Gioanetti i Bergman podem entendre que l'anàlisi d'aigües era un nou camp d'investigació i pràctica científica a finals del segle XVIII. Segons explica Bergman (Soto, 1794, 221) l'anàlisi de les aigües no era una ciència precisa en aquell moment i considerava que era un dels problemes més difícils de la química degut a la poca quantitat de cada component a analitzar que contenia l'aigua mineral. A més a més, alguns dels elements que calia analitzar acabaven de ser descoberts pels químics. Gioanetti també considera que l'anàlisi de les aigües utilitzant reactius químics no portava, en aquell moment, a conclusions indubtables (Gioanetti, 1779, 31). És significatiu assenyalar que, segons explica Bergman, (Soto, 1794, 316-324) la teoria dels quatre elements purs: terra, aire, aigua i foc havia sigut descartada per Lavoisier i que la Química havia classificat, en aquell moment, cinc terres principals: sílice, alumine, barite, magnesia i cal. Es vivia un moment en què s'estaven analitzant les substàncies principals de l'aire, les combinacions dels àcids i s'intentava arribar a les parts constitutives de les substàncies, entre d'altres, les parts constitutives de l'aigua.

En l'*Anàlisi de las aguas de Gava* Santponç mostra també els seus coneixements botànics; enumera fins a 39 espècies entre plantes i arbres que identifica als voltants de la font i dona el nom de cada planta identificada en llatí, castellà i català (Santponç, 1790?, 19-21). A més, elabora ell mateix un dels reactius per l'anàlisi de l'aigua. Aquest reactiu que elabora és el licor agàllic; reactiu emprat a l'obra de Bergman, que tenyeix l'aigua de morat en detectar la presència de ferro. Quan Santponç va arribar a la font de Gavà estava proveït de diversos reactius per fer l'anàlisi, entre altres, portava alcohol agàllic ja preparat. Després d'utilitzar-lo, Santponç va decidir preparar-lo ell mateix amb agalles d'un roure que va trobar pel voltant de la font (*quercus muriata* Linn.). Una agalla és una estructura de tipus tumoral induïda per insectes o fongs en una planta. La reacció que va fer el reactiu elaborat allí mateix va ser la mateixa que va fer el que portava ja preparat; en totes dues ocasions l'aigua va canviar de color al rosa i després al violeta, provant la presència de ferro (Santponç, 1790?, 35-36).

La publicació dels resultats de l'anàlisi de les aigües de Gavà també ens mostra un Santponç que ha adquirit coneixements per la utilització d'estris. Per mesurar el pes específic de l'aigua va a la font proveït de tres instruments diferents; l'aeròmetre de Baumé, una balança hidrostàtica i l'aeròmetre de Réaumur. Santponç s'adona de què l'aeròmetre de Baumé es troba defectuós, la balança hidrostàtica és poc precisa i finalment arriba a una mesura satisfactòria del pes específic de l'aigua amb l'aeròmetre de Réaumur. A part de mesurar la temperatura de l'aigua en diverses hores del dia, també mesura la humitat atmosfèrica amb un higròmetre. Aquestes mesures les va fer acabada de recollir l'aigua de la font i al mateix lloc. La forma de procedir amb les mesures fa veure l'acurada preparació amb la que Santponç va organitzar l'anàlisi de les aigües. La utilització de diversos estris i procediments indica la consulta de diverses fonts de referència, la previsió de problemes en l'experimentació i la voluntat de contrastar dades preses per diversos procediments.

És també de l'interès d'aquesta tesi assenyalar que en l'obra de Bergman apareixen reflexions sobre les discussions, que existien en aquella època, sobre la naturalesa de la calor i la combustió dels cossos. Hem tingut accés a aquesta informació mitjançant la traducció del francès al castellà de Soto; en la seva introducció Soto transcriu molts paràgrafs en els que es



reflecteix la discussió científica que en aquells moments es tenia al voltant de la combustió i la naturalesa de la calor. Al principi de la introducció Soto explica que li costa comprendre les explicacions que dóna Bergman sobre el flogist (Soto, 1794, vii-ix). Bergman considerava el flogist un principi elemental que amb aire vital (oxigen) produïa llum i calor. Soto entén que el flogist era allò que els científics més avançats anomenaven calòric i que es combinava amb l'oxigen, o formava part d'ell segons les investigacions més recents en aquell moment i les teories al respecte (Soto, 1794, ix-x). La teoria del flogist començava a abandonar-se o, millor dit, a evolucionar, identificant el flogist amb el calòric que es definia com un dels fluids que existien a la naturalesa (Soto, 1794, xi) i que podia combinar-se o passar d'uns cossos a altres. Com que era un tema d'interès, Morveau amplia l'obra de Bergman amb una adició de cinc pàgines amb reflexions pròpies sobre el calòric. Morveau expressa que aposta per descriure el calor com un fluid que penetra els cossos separant les seves partícules (Soto, 1794, 298-303). Entre les reflexions sobre el calòric que Soto va trobar en l'obra de Bergman, no només apareix aquesta descripció del calòric com un fluid, també apareix la interpretació del calòric com una vibració entre les partícules constituents de la matèria. En aquest sentit apareix la interpretació que Mácquer fa de la combustió, qui descriu el naixement de la calor de la oscil·lació de les partícules constituents dels cossos (Soto, 1794, viii). Llavors podem dir que l'obra de Bergman va poder posar a Santponç al corrent d'unes discussions teòriques que podrien haver motivat les primeres reflexions de Santponç al voltant de l'energia calorífica. Així Santponç va poder ampliar una base de coneixements teòrics, però útils, per a la construcció de la màquina de vapor, que tindria lloc 15 anys més tard.

Respecte a la segona obra en què Santponç va presentar els resultats d'anàlisi d'aigües, es va publicar poc després, el 1792, sota el nom *Análisis de las aguas de Moncada en el principado de Catalunya* (Santponç, 1792). En aquesta obra Santponç es cita a ell mateix referint-se a l'anàlisi de les aigües de Gavà (Santponç, 1792, XXXIII), fet que indica que la publicació de l'anàlisi de la font de Gavà va ser anterior a 1792. El fet que es publicàs una segona obra sobre anàlisi d'aigües pot significar l'acceptació que tenia aquest tipus de publicacions en les que s'aplicaven els coneixements de química per a fer un servei mèdic públic. En aquesta segona publicació Santponç no s'estén tant fens les explicacions dels experiments i és més directe presentant els resultats de l'anàlisi. Aporta explicacions de com transportar l'aigua de la font als malalts per tal d'evitar, tan com es pugui, la pèrdua del seu gas. Circumstància que provoca la precipitació del ferro que conté l'aigua i la pèrdua de la seva transparència.

Com ja hem dit, en el *Resumen* es citen aquestes dues obres de Santponç amb les que es tanca la seva biografia. S'assenyala també al *Resumen* que al *Ensayo de una Biblioteca española* de Juan Sempere i al *Memorial literario instructivo i curioso de la Corte de Madrid* s'elogiaven les obres sobre les anàlisis d'aigua escrites per Santponç. Hem indagat en aquestes publicacions per trobar les cites d'aquestes obres de Santponç i hem trobat que al *Ensayo de una biblioteca* hi ha una entrada dedicada al metge Santponç, però només hi figura l'esgramadora de cànem i no l'anàlisi d'aigües (Sempere, 1789, 108). Al *Memorial literario*, tampoc hem trobat cap descripció d'aquestes publicacions sobre anàlisi d'aigües de Santponç, tot i haver revisat totes les entregues de la revista de l'any 1790 i les de 1793 i 1794. Aquesta revista va començar a publicar-se el 1784 fins gener de 1791, moment en què es va interrompre. El juliol de 1793 es va reprendre la publicació fins desembre del 1797 i, finalment, va tenir un tercer període de gener de 1801 fins maig de 1808 (Sánchez, 2000, 184). Es pot accedir a aquesta revista a la web de la Biblioteca Digital Hispànica, llevat de les dues entregues corresponents a gener de 1791, que no estan disponibles. Cap la possibilitat que la ressenya de les obres de Santponç referents a

l'anàlisi de les aigües es publicuessin en el mes de gener, que no hem pogut consultar, o que s'interrompés la publicació de la revista abans de poder incloure la ressenya. Segons Jesús Sánchez Miñana, en el seu article sobre la col·laboració del doctor Salvà amb el *Memorial Literario*, el nivell de la revista pel que fa a les ciències naturals i arts aplicades en Catalunya és molt superior en el primer període entre 1786 i 1790 (Sánchez, 2000, 188) que en cap dels altres dos períodes, en els que l'interès per la ciència es deixà una mica de banda.

Tot i no trobar la ressenya de les anàlisis de les aigües de Gavà i Montcada ni a la *Biblioteca Española* de Juan Sempere ni al *Memorial Literario*, si que hem trobat dues ressenyes d'obres publicades sobre l'anàlisi d'aigües. La primera d'aquestes ressenyes apareix a la publicació de juny de 1790 i es refereix a una memòria publicada sobre les aigües minerals de la font de l'Espluga de Francolí feta per el doctor Jaume Menós, que va escriure, a l'any 1786, una memòria de 28 pàgines dividida en tres parts; origen i situació de la font, anàlisi "Chimico-Médico-Pharmaceutica" i virtuts i efectes de les aigües (Vallés, 2014, 369). També hem trobat, en el segon període de la revista, a setembre de 1793, altra ressenya d'anàlisi d'aigües; aquesta vegada de les fonts més conegudes d'Andalusia. En aquesta publicació, a nom de D. Juan de Dios Ayuda, col·laboren fins a 8 persones diferents entre cirurgians, religiosos, i catedràtics de botànica i química. Aquesta obra sobre l'anàlisi de fonts d'Andalusia va tenir una segona part de la que també es va fer una ressenya a la revista al desembre de 1794. També hem trobat a la publicació de maig de 1794 una ressenya sobre la traducció de Ignacio Antonio de Soto *Elementos Físico Químicos de la anàlisis general de las aguas*, obra de la que hem parlat. Tot i no trobar cap menció a les anàlisis de les aigües de Gavà i Montcada fetes per Santponç les ressenyes que hem trobat indiquen que hi havia interès pel tema i que Santponç va ser pioner en l'estudi i publicació d'anàlisis d'aigües. No trobem una explicació a perquè no es citaren les publicacions de les anàlisis fetes per Santponç que també haguessin sigut de l'interès dels lectors de la revista.

Volem dedicar uns paràgrafs per fer una valoració comparativa entre les dues publicacions de Santponç i les dues comentades pel *Memorial Literario*. Respecte l'anàlisi d'aigües de l'Espluga de Francolí, va ser publicada l'any 1787, abans que les de Gavà i Montcada de Santponç. L'obra ocupa 28 pàgines i quan Menós exposa les característiques químiques de l'aigua explica que les observacions que ha fet no serveixen per a un coneixement profund i que s'ha valgut de savis espanyols als quals va facilitar l'aigua de la font. Els experiments que es feren evaporant l'aigua a foc lent no es varen poder finalitzar perquè es va trencar el recipient (Vallés, 2014, 370). Per fer els experiments va utilitzar com a reactius licor d'"agalles, amoniacal, sal de tartaro, tierra calcàrea y aceite de vitriolo" (Menós, 1787, 13-17). Els resultats de l'anàlisi de Menós són breus, conclouent que els components de l'aigua són "un espíritu sutil, algo vitriólico, y marcial, una cantidad de tierra calcarea con algunos betunes, y gran cantidad de ocrea muy fina". Exposa que hi ha confusió en els escrits sobre aigües minerals i que els resultats no han de sorprendre (Vallés, 2014, 370). No és estrany que una memòria tan imperfecta generés controvèrsia; en un document sense data, imprès a Barcelona, Pablo Vidal i Freixas, apotecari major de l'Hospital de la Santa Creu de Barcelona, va criticar les dades químiques aportades per Menós. Vidal qualifica la memòria de Menós com obscura, defectuosa i inútil. La intenció de Vidal va ser la de sortir en defensa dels químics hidro-analítics de Barcelona i li retreu que no hagués consultat els estudis més moderns (Vallés, 2014, 373).

Respecte la segona obra sobre anàlisis d'aigües ressenyada al *Memorial Literario*, la seva publicació va tenir lloc l'any 1793, llavors va ser posterior a les de Gavà i Montcada. Aquesta obra té una extensió de 274 pàgines i s'ocupa d'anunciar la composició química de les aigües

dels banys de Graena, Alicun i Baza en Andalusia. Aquesta obra, escrita per Juan de Dios Ayuda, metge de Guadix, és molt més completa que la de Menós i és el resultat d'un estudi detallat i ben documentat. En aquesta obra sí que es citen experts estrangers que havien fet les publicacions més actualitzades sobre l'anàlisi d'aigües com ara Bergman, Fourcroy, Gioanetti i Macquer dels que selecciona els experiments que donen resultats més segurs. A més, Juan de Dios Ayuda explica i nomena els experts nacionals que l'han ajudat i guiat en l'anàlisi d'aigües. És aquest un aspecte diferenciat de la forma de treballar i aprendre de Santponç qui explica que les seves fonts d'informació són obres estrangeres sense mencionar cap ajuda directa d'altre expert; només esmenta que un capità de la guàrdia Valona el va acompanyar en el segon anàlisi de l'aigua de la font de Gavà (Santponç, 1790?, 27). Aquest capità i altres dues dones de la zona comunicaren a Santponç que el gust astringent i picant de la font de Gavà era el mateix de l'aigua de l'Espluga de Francolí. L'explicació d'aquesta anècdota pot donar a entendre que, en cas que Santponç hagués comptat amb la col·laboració d'algun expert en el tema, hagués quedat reflectit també en la redacció d'aquests treballs.

No és l'objectiu d'aquesta tesi aprofundir en els treballs i conclusions sobre les anàlisis químiques d'aigües que va fer Santponç, però l'estudi d'aquestes obres i la seva contextualització ens ha permès situar aquests treballs de Santponç en un moment en què aquests coneixements estaven just desenvolupant-se i eren objecte dels estudis més recents en química. La publicació dels treballs de Santponç va tenir lloc entre la publicació d'altres dues obres que tractaven el mateix tema tot i que d'un nivell científic molt diferent entre elles. El nivell científic i metodològic de les dues publicacions de Santponç són més comparables a la publicació del metge Juan de Dios Ayuda de les fonts d'Andalusia que la de Jaume Menós de la font de l'Espluga de Francolí. Santponç i Juan de Dios Ayuda citen pràcticament els mateixos experts estrangers que havien col·laborat en el desenvolupament de la química i la seva aplicació a les anàlisis d'aigües, com són Bergman, Morveau o Gioanetti. Una diferència en la forma d'aprendre i portar endavant el projecte entre Santponç i Juan de Dios Ayuda la trobem en els col·laboradors nacionals amb els que compta Juan de Dios Ayuda com per exemple Casimiro Gómez de Ortega (1741-1818), primer catedràtic de botànica del Reial Jardí Botànic, qui li analitza dos residus resultants de l'evaporació de l'aigua de Graena i a qui al mateix temps ajuda Pedro Gutierrez Bueno (1743-1826), catedràtic de Química en el Real Laboratorio de Madrid (Ayuda, 1793, xxiv-xxv). La forma de procedir d'aquests dos metges és similar a la del referent comú que tingueren en Gioanetti; primer feien una descripció acurada de la localització de la font amb un estudi dels minerals i la flora en la que es trobava la font, després feien una valoració de l'aigua; del seu aspecte, olor i sabor i aplicaven els primers reactius traient-ne les primeres conclusions sobre els seus components. A continuació realitzaven una anàlisi més en profunditat fent evaporar l'aigua amb cura d'obtenir un residu que analitzaven. Tots dos realitzaven els càlculs proposats per Bergman (Ayuda, 1793, 114-125) per a la separació i anàlisi del residu sòlid i mètode per detectar l'àcid carbònic explicat per Gioanetti (Ayuda, 1787, 126) (Santponç, 1792, xxiv-xxv). Tots dos utilitzaren el termòmetre de Réaumur per mesurar la temperatura de l'aigua en diverses ocasions al llarg del dia i el aeròmetre de Baumer per mesurar el seu pes específic. Tant Santponç com Juan de Dios Ayuda presentaren una relació de la quantitat de les diferències substàncies que identificaren en l'anàlisi de les aigües. Santponç i de Dios es diferencien en la descripció dels procediments; Juan de Dios Ayuda els explica amb molt més detall de forma que la lectura de la seva obra pot ser didàctica mentre que Santponç no ho fa de forma tan detallada ni descriu cada pas. A més, Ayuda exposa totes les infermetats que estan més indicades per a ser tractades amb l'aigua analitzada, aquelles que no tindran tan bon resultat amb el seu tractament i també les infermetats que seria contraproductiu tractar amb

l'aigua analitzada. En aquest aspecte, Santponç pren una decisió totalment diferent: exposa que ha de ser el metge qui determini el tractament que pot aplicar amb les aigües analitzades en les seves publicacions i decidir en cada pacient i malaltia si són les adequades una vegada tingui a les seves mans el resultat de les anàlisis.

Si bé el nivell científic entre els obres de Santponç i Ayuda és comparable, no podem dir el mateix de l'obra de Menós, que ell mateix defineix com *breve descripción*; Menós no analitza els gasos continguts a l'aigua, ni àcids ni minerals ni mesura el pes específic ni la temperatura. Tampoc fa una enumeració dels vegetals que creixen en l'entorn de la font ni els minerals i no escriu una relació dels components de l'aigua analitzada. El que sí que exposa són les bones qualitats de l'aigua i els seus efectes beneficiosos, enumerant un llarg llistat dels seus beneficis (Menós, 1787, 20). La memòria de Menós contribuï a donar fama a les aigües de l'Espluga de Francolí i és possible que la relació dels les malalties per a les que estava indicada fomentés l'interès entre la població.

No sabem perquè les dues obres d'anàlisi de les aigües de Santponç no foren citades ni pel *Diccionario Español* de Sempere ni pel *Memorial Literario* tot i constar en el *Resumen* que si que hi eren. La decisió de Santponç de no indicar les malalties per a les que estaven indicades, deixant aquesta valoració en mans de la comunitat mèdica, pogué disminuir l'interès entre la població, però tot i això la publicació d'aquestes obres demostra l'interès que despertaren, en un moment en què l'anàlisi química de les aigües era considerat entre els problemes més difícils de resoldre.

Aquest projecte va suposar un aprenentatge per a Santponç a partir d'obres publicades d'experts estrangers que estaven obrint un nou camí. Tot indica que va aprendre sense ajuda d'experts nacionals en un moment en què aquests coneixements estaven arribat a l'Estat Espanol; l'obra de Bergman no estava encara traduïda a l'espanyol i l'obra de Menós, anterior a les de Santponç, no tenia nivell científic suficient. Aquest camí de coneixement nou va ser seguit també per altres metges com Juan de Dios Ayuda, qui va analitzar aigües de diverses fonts d'Andalusia, i pel militar Ignacio Antonio de Soto qui va traduir al castellà els capítols de l'obra de Bergman sobre l'anàlisi química de l'aigua. Tant Juan de Dios Ayuda com Ignacio Antonio de Soto publicaren els seus treballs pocs anys després que s'imprimissin els treballs de Santponç, així que podem considerar que Santponç va ser pioner en aquest camp.

Aquesta experiència va suposar una planificació molt acurada d'un projecte amb el que Santponç va haver de posar-se al nivell dels últims coneixements en química i per al qual va haver de procurar-se les obres més reeixides i noves sobre el tema. Adquirint així una experiència, que de segur, li va aprofitar per seguir una forma de treballar i investigar que va haver d'aplicar 15 anys més tard, en un projecte encara més exigent: la construcció de la màquina de vapor. També volem assenyalar que l'anàlisi de les aigües tenia una motivació clarament mèdica i estava emmarcat en el compromís de Santponç en contribuir a la recerca en el camp de la medicina, compromís que també va portar endavant quan va acceptar l'encàrrec de l'Acadèmia Médico Práctica, d'engegar un pla de topografia mèdica organitzant, junt a Francesc Salvà, uns premis entre els metges que volguessin participar amb les seves memòries sobre el tema. Volem aprofitar també per presentar Santponç com un metge dedicat a la recerca mèdica que no va deixar de banda la seva professió per fer la seva aportació a la difusió de la tecnologia del vapor.

Volem assenyalar que, abans de començar les anàlisis d'aigües, Santponç va viure una experiència que necessàriament el va posar en contacte amb les fonts de coneixement més recent sobre gasos. Ens referim a l'elevació d'un globus aerostàtic a Barcelona que tingué lloc al gener de 1784. D'aquesta experiència en tenim una descripció bastant detallada del que va passar de la ma de Miquel Gamborino (1760-1828), un gravador valencià que va publicar una descripció de l'experiència de 17 pàgines precedida per un gravat del disseny d'un dels globus que es va llençar (Gamborino, 1784).

Foren els germans Montgolfier qui portaren endavant les primeres experiències de llançament de globus aerostàtics a Annonay al juny de 1783. Molt prompte, al desembre del mateix any, s'organitzaren aquest tipus d'experiències a Madrid i Aranjuez. A Barcelona aquests tipus de vols es portaren endavant des de gener de 1784. En la descripció de l'esdeveniment publicat per Gamborino s'explica que el 3 de gener Salvà i Santponç organitzaren una subscripció per recollir fons per portar endavant una experiència d'elevació d'un globus aerostàtic. A causa del mal temps es va haver d'ajornar, però, segons s'explica al peu de pàgina número 11, Salvà i Santponç llançaren globus més petits del dia 24 al 26 de gener. L'enlairament definitiu s'aplaçà fins el 30 de gener, dia en què s'elevà un globus amb una gallina a bord que posteriorment va aterrar suaument amb la gallina salva. El 31 s'enlairà un globus més gran que desaparegué endinsant-se al mar en direcció Mallorca (Roca-Rosell, 2014, 62-64). Aquests experiments aerostàtics causaren a Barcelona molta expectació entre els seus ciutadans; segons explica el Baró de Maldà en el seu *Calaix de Sastre* els subscriptors que pagaren mig duro pogueren veure aquestes experiències de prop. I tota Barcelona estava plena de gent pel port i als campanars i terrats de la ciutat per veure l'enlairament dels globus<sup>9</sup>.

Del disset fulls de la publicació de Gamborino, onze estan dedicats a peus de pàgina on es donen explicacions tècniques i científiques molt acurades. A la nota 7 es donen indicacions sobre la forma d'obtenir el gas que elevaria el globus en ser més lleuger que l'aire de l'atmosfera; en aquesta nota es cita el diccionari de química de Pierre Joseph Macquer, que és una obra que Salvà i Santponç citaren a la memòria de l'esgramadora i que Santponç cita també a la publicació de l'anàlisi de les aigües de Gavà. Segons Jesús Vega a la seva obra *Ciencia, arte e ilusión en la España Ilustrada* (Vega, 2010, 145), es considera obvi que aquestes notes a peu de pàgina foren escrites per un científic i sospita que va ser Salvà. Vega defensa que Salvà va preferir no donar-se a conèixer perquè estava en el punt de mira de les autoritats mèdiques més reaccionàries per les seves activitats fora del camp de la medicina. La necessitat de justificar les activitats científiques fora del camp de la medicina d'alguna manera apareix a la nota 2 a peu de pàgina en la que es dona una motivació per la recerca científica i s'escriu: "La primera invención es hija de la casualidad; però la perfección es de la aplicación y de la ciencia". Pràcticament amb les mateixes paraules es pot trobar la mateixa asseveració en la *Advertencia* de la memòria d'esgramar cànem, apareguda també en 1784 tot i que probablement més tard. Aquesta coincidència ESPAI podria indicar que Salvà estava al darrere d'aquestes notes tècniques.

La participació de Santponç en les experiències aerostàtiques de Barcelona demostra que Santponç sabia com manipular i produir gasos, com l'hidrogen, per fer pujar globus. Un gas que havia sigut descobert per Henry Cavendish el 1766. Segons Gamborino, la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona va impulsar aquestes experiències en un moment en què ni Salvà ni Santponç no eren encara socis d'aquesta acadèmia que els va admetre a tots dos en 1786.

---

<sup>9</sup> Amat i Cortada, *Calaix de Sastre*, anotacions de l'any 1784.

## 2.3 LA REAL ACADEMIA DE CIÈNCIES I ARTS DE BARCELONA: UN D'EXPERIMENTACIÓ I APRENENTATGE.

La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona va ser un escenari fonamental en què Santponç va aprendre sobre tecnologia. Aquesta acadèmia es va crear formalment el 18 de gener de 1764 sota el nom de Conferència Fisicomatemàtica Experimental. Aquest nom expressava la voluntat d'una formació que abastava totes les ciències i les tècniques com les entenem avui en dia. Segons Antoni Roca-Rosell l'adjectiu clau d'aquest nom és *experimental*, paraula que recollia la voluntat de referir-se al coneixement del món per mitjà de la l'observació de la naturalesa, descobrint-ne les lleis, inventant màquines o fent experiments i demostracions matemàtiques. Recull Roca-Rosell que els recels a la novetat, la ignorància i el temor a contravenir l'ortodòxia religiosa podien explicar la manca d'escoles de física, cosa que va provocar un endarreriment en el comerç, la manufactura i l'agricultura. El mateix Francesc Subiràs i Barra, primer director de la Conferència, explicava que tota l'Europa culta havia organitzat escoles de física i es preguntava perquè la física tenia tantes dificultats per establir-se a Espanya sense cap iniciativa semblant a la de Barcelona (Roca-Rosell, 2014, 29). Quan es va fundar aquesta conferència Santponç tenia 7 anys, i va ser en aquest moment quan es va començar a formar un dels escenaris per al seu aprenentatge científic i tecnològic.

La creació de la Conferència es va donar a partir de la nova ciència sorgida els segles anteriors, és a dir, a partir dels Bacon, Descartes i Newton i després que moltes acadèmies, societats, universitats i instituts fossin creats a França, Suïssa, Itàlia, Alemanya, Països Baixos, Rússia, Suècia, Dinamarca i el Regne Unit. En els seus inicis la Conferència, que tenia caràcter privat, donava un curs de física basat en l'*Assaig* de física de Musschenbroek i la filosofia newtoniana de Gravesande (Garcia-Doncel, 2000, 83). El 1765 va rebre el reconeixement reial per part de Carles III i, quan el 1770 es varen aprovar els seus estatuts, l'entitat va adoptar el nom de Reial Acadèmia de Ciències Naturals i Arts. L'any 1786 Santponç va ser admès per l'Acadèmia, coincidint en l'any que la Corona va cedir l'aulari que havia construït per impartir els ensenyaments de la Càtedra Pública de Matemàtiques, edifici que es va convertir en la seva seu.

En els següents paràgraf volem donar una visió de l'ambient de recerca científica experimental que hi havia a l'Acadèmia que permetrà entendre com es trobaven les investigacions i coneixements al voltant de la química. Anem a descriure l'aportació científica que feren altres dos membres de l'acadèmia: Antoni Martí i Franquès i Francesc Carbonell i Bravo. Així valorarem, en el seu context, l'aportació que va fer Santponç amb l'anàlisi química de les aigües i veurem en quin grau va participar Santponç en l'avanç científic que impulsaven els membres d'aquesta Acadèmia.

Igual que Santponç, Antoni Martí Franquès (1750-1832), va ser admès com acadèmic l'any 1786. Martí tenia dos laboratoris particulars a Tarragona on portava endavant els seus experiments amb plantes i gasos i enviava per correu les memòries que escrivia amb els resultats de les seves investigacions perquè fossin llegides a l'Acadèmia. Així quedava constància de la data en què feia les seves innovadores observacions científiques<sup>10</sup>. Disposava als seus laboratoris d'una màquina pneumàtica construïda pel altre membre de l'Acadèmia, Joan González, una campana pneumàtica i una gran lent òptica. En les seves cases particulars havia organitzat observatoris meteorològics amb, al menys, un baròmetre i un termòmetre, amb els que ell i els seus servents prenien dades meteorològiques. Martí repetia, amb molta cura,

---

<sup>10</sup> Informació tretada de la *Nòmina de l'Acadèmia* de l'any acadèmic de 1905 a 1906.

experimentos publicats per savis de del seu temps i en ocasions corregia errors comesos. Recopilà els seus experimentos sobre plantes i la seva fecundació en una memòria que va llegir a l'Acadèmia Mèdico Pràctica de Barcelona el 1786 i que va ser impresa el 1793. D'aquesta memòria es va fer un resum que quedà exposat en la Acadèmia de Ciències de París. Amb aquesta memòria, que va donar a Martí un ressò europeu, estava més que justificada l'entrada de Martí en l'Acadèmia de Ciències i Arts. Respecte les seves investigacions en química, el biògraf de Martí, Antoni Quintana Marí, explica que va portar endavant una depurada crítica als procediments dels químics d'aquell temps en l'anàlisi de l'aire fins arribar a una exactitud molt superior fins aleshores no assolida en aquella data (Iglésies, 1964, 213-219). Es tracta de la memòria llegida el 1790 Martí a l'Acadèmia la memòria titulada *Sobre la cantidad de aire vital que se halla en el aire atmosferico y sobre varios metodos de conocerla*. Segons els seus biògrafs aquesta memòria el va definir com un químic consumat i va ser un treball que no només va ser publicat al *Memorial Literario*, també va ser traduït al *Journal de Physique* de París, *Philosophical Magazine* de Londres, *Gilbert's Annalen* de Berlín i va ser comentat per Biot en els *Annales de Chimie* i per Longchamp a la *Bibliothèque du Chimiste*. La transcendència en l'estranger dels resultats de la seva recerca va portar a desfiguracions del seu cognom Martí a Mr. Mccarty en l'obra de Chaptal i altres com Marty i Marthy (Iglésies, 1964, 213-219). En la *Nómina* de l'Acadèmia de l'any 1905 a 1906, s'explica que Martí en aquest treball va perfeccionar els mètodes per l'anàlisi de l'aire que, fins aleshores, fixaven la quantitat d'oxigen en 0,28 i 0,72 per al nitrogen i va donar una millor mesura de 0,21 i 0,70 respectivament, dades que la comunitat científica acceptà com més acurades. També s'explica que el 1787 Martí va llegir a l'Acadèmia *Memoria sobre los productos que resultan de la union de varias substancias aeriformes* on, entre altres coses, exposa els experiments relatius a l'anàlisi i composició de l'aigua realitzats per Priestley, Warlhre, Cavendish, Lavoisier i altres que executaren en 1781. Així doncs, el mateix any que Santponç realitza la primera recollida d'aigües per a la seva anàlisi, Martí havia llegit a l'Acadèmia la memòria en la qual descriu experiments de científics de gran rellevància sobre l'anàlisi i composició de l'aigua. Per entendre millor les circumstàncies en les que la ciència es desenvolupava, és important conèixer que el 1819 Martí va viatjar de Tarragona a Barcelona expressament per cerciorar-se que les seves investigacions no contravenien les creences religioses cristianes; segons la *Nómina* de l'Acadèmia, Martí temia que, per ignorància, però més encara per malícia, fos acusat d'heretge o "impío" pels resultats de les seves investigacions científiques. Això va fer que el mateix Martí silenciés alguns aspectes de les seves investigacions segons va manifestar al bisbe d'Astorga.

Altre acadèmic que ens ajudarà a dibuixar el context en què s'assimilaven els últims avenços en la química és Francesc Carbonell i Bravo (1768-1836), que va ser admès com acadèmic l'any 1798 amb destinació a la direcció de Química<sup>11</sup>. Dona idea de la consideració d'aquest notable científic el fet que, a la seva mort, el seu bust va ser col·locat a saló d'actes de l'Acadèmia, així com a la botiga d'apotecari de l'Hospital i un retrat seu a la Universitat de Madrid; actualment, una de les efigies de la façana de l'Acadèmia és la de Francesc Carbonell i Bravo. Quan encara Carbonell estava formant-se, es va traslladar a Montpeller on cursà medicina i va completar la seva formació a l'escola de Chaptal qui promovia una química aplicada a la indústria, l'agricultura i la sanitat (Nieto-Galan, 1994). La seva obra *Pharmaciae elementa chemiae recentioris fundamentis innixa*, publicada el 1796 amb edicions en castellà (*Elementos de Farmacia fundados en los principios de la química moderna*), francès i italià, el va consagrar

---

<sup>11</sup> Amb Carbonell, Santponç va portar endavant un projecte del que parlarem més extensament; tots dos foren redactors de la revista *Memorias de Agricultura y Artes*, patrocinada per la Junta de Comerç en la que es descrivien els avenços tecnològics més novells.

com a farmacèutic (Roca-Rosell, 2014, 66-67). L'acadèmic Agustí Yáñez, qui posteriorment va ser rector de la Universitat de Barcelona, el va assenyalar com l'introduïdor de la química i altres ciències naturals a Barcelona. Segons la *Nómina* de l'Acadèmia, Carbonell va estudiar química i mineralogia a Madrid entre 1802 i 1803 en les escoles de Proust i Herggen. Nomenat catedràtic de química en la Junta de Comerç, va inaugurar l'ensenyament de química en Barcelona en 1805.

Segons el diccionari d'Elias de Molins, Carbonell va llegir a l'Acadèmia de Medicina una memòria titulada *Reflexiones sobre la nueva nomenclatura química* (llegida en tres sessions; al març i juny de 1797 i desembre de 1798). I una segona memòria, *Diccionario de la nueva nomenclatura química*, en la que proposava vàries correccions i reformes, presentada al desembre de 1798. En la *Nómina* de l'Acadèmia d'Arts (any acadèmic 1905 a 1906) figura que Carbonell també va llegir aquesta memòria en tres sessions; al març, abril i juny de 1802. Llavors, la nova nomenclatura química va ser objecte de reflexions després que, a l'any 1792, Santponç publicués els últims resultats sobre les anàlisis d'aigües i encara va ser objecte de reflexions 10 anys després. Això dóna idea que els treballs de Santponç sobre anàlisi d'aigua es van donar dintre d'un context precursor de la química a Catalunya i l'Estat Espanyol.

Segons la *Nómina* el 1792 Carbonell va llegir un article sobre les aigües artificials gasoses a la Conferència de Farmàcia. A maig de 1800 es va publicar, al *Diario de Barcelona*, un article sobre la formació, propietats i us del muriat de barita, un reactiu que Santponç va utilitzar per detectar la presència de àcid sulfúric en l'anàlisi d'aigües. També consta a la *Nómina* que Carbonell va publicar una interessant *Memoria químico-medica de las aguas minerales de Caldas Bohy en el Principado de Cataluña*.

L'Acadèmia es dividia en vàries seccions o direccions: Àlgebra i geometria, Estàtica, hidrostàtica i meteorologia, Electricitat i magnetisme, Òptica, Pneumàtica i acústica, Història natural, Botànica, Química i Agricultura. (Nieto-Galan A., Roca-Rosell A., 2000, 328) Santponç va ser director d'Estàtica i hidrostàtica de 1799 a 1805 i també el 1815 (Puig-Pla, Sánchez-Miñana, 2009, 117), càrrec que, segons els estatuts de la cèdula reial, s'elegia per votació cada any junt al de secretari de la secció. Tota l'activitat de Santponç com a inventor de la màquina d'esgramar canem i la difusió que se'n va fer d'aquest enginy, juntament a la seva activitat científica com a metge, convergiren en l'elecció de Santponç com director d'estàtica de l'Acadèmia de ciències i arts.

A la Reial Acadèmia de les Ciències i Arts de Barcelona es conserven els treballs que Santponç va presentar sobre mecànica teòrica i pràctica. En ells, Santponç mostra el seu interès per la hidràulica, les màquines de cavalleria, els molins de vent, els baròmetres i la tecnologia de vapor. Les onze memòries presentades per Santponç foren llegides entre els anys 1788 i 1819.

Els títols d'aquestes memòries i la data de la seva lectura a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona són les següents:



*Discurso sobre el Modo de aplicar a las Máquinas la caballería según el método Inglés (23/01/1788)*<sup>12</sup>.

Aquesta memòria de 15 pàgines conté figures explicatives de l'aplicació de forces al moviment circular, figures que demostren la veracitat de les afirmacions que es fan. Santponç s'esforça per explicar de forma planera definicions de forces i conceptes bàsics per entendre la nova física desenvolupada per Newton i Leibniz. La memòria reflecteix l'aprenentatge que va fer Santponç i cita diversos llibres de consulta i estudi sobre l'aplicació de forces.

Al principi de la memòria Santponç descriu l'ambient que es viu a la Acadèmia on es realitzaven experiments amb les màquines que es dissenyaven i construïen per portar-los endavant (un pla inclinat i una màquina per experimentar amb l'aplicació de diverses forces). L'aprenentatge i transmissió de coneixement dels continguts d'aquesta memòria es va donar amb la lectura d'obres de diversos autors i la reproducció d'experiments amb la imprescindible col·laboració dels tècnics de l'Acadèmia (socis artistes).

Amb la reproducció d'experiments, els socis de l'Acadèmia no només aprenien, sinó que també corregien algunes afirmacions dels autors que llegien. El propòsit de la memòria és explicar un mètode d'aplicar el timó a les cavalleries per transmetre de forma òptima el moviment circular a les màquines. A més, aquesta forma d'aplicar el timó va ser aplicada per l'acadèmic artesà Pere Gamell, constructor de la màquina d'esgramar cànem, a unes cavalleries aconseguint que millorés la seva eficiència. Explica Santponç que va ser Joseph Townsend (Londres, 1739 – 1816) qui, en al seva estada a Barcelona en el viatge que va fer per l'Estat Espanyol, va explicar a Santponç aquest mètode que s'aplicava a Oxford. La comunicació personal amb estrangers va ser també una forma transmissió de coneixements per a Santponç.

*Reflexiones Teóricas y Prácticas sobre las corrientes de los Ríos y obras hidráulicas que en ellos suelen construirse (16/12/1789).*

Aquesta memòria és un manuscrit de 15 fulls amb tres figures que fan més entenedores les explicacions. En ella Santponç adverteix dels perills de fer obres hidràuliques sense l'assessorament d'un expert hidràulic o sense el respecte degut a la força de la naturalesa. Descriu algunes obres hidràuliques del passat de les que es documenta utilitzant diverses fonts i explica els problemes que algunes obres, mal dissenyades, havien provocat al riu Llobregat. També defensa la construcció de canals de navegació elogiant la construcció del de Llenguadoc. La memòria té també una part pràctica en la que Santponç descriu un dispositiu per fer constant el cabdal d'aigua provinent d'un canal, el cabdal serà constant independentment del nivell d'aigua del canal. Aquest dispositiu va ser inventat per l'acadèmic Domingo Mariano Traggia (Saragossa, 1744 – Badajoz, 1818) i també proporciona dues fórmules matemàtiques per calcular l'àrea del punt de sortida de l'aigua. La defensa de la construcció de canals de navegació va tenir continuïtat en els articles que Santponç va redactar per a la revista *Memorias de Agricultura y Artes*, però de l'enginyer per mantenir un caudal d'aigua constant no n'hi ha cap més referència. Per la descripció que se'n fa, l'enginyer no denota consistència i és possible que

---

<sup>12</sup> Memories digitalitzades a:

<https://mdc.csuc.cat/digital/collection/mcmRACAB/search/order/subjec/ad/asc/page/1>

no s'arribés a construir mai. No s'indica l'autor de les figures, la seva perspectiva i qualitat és inferior a les figures de la memòria de l'esgramadora.

*Reflexiones sobre una nueva Máquina para elevar con ventaja y pesos mui considerables* (10/11/1790).

Aquesta memòria de 14 pàgines, més 1 adicional amb quatre figures, i és un exemple d'explicacions de conceptes bàsics de forma clara i entenedora amb progressió en la dificultat fins arribar a la explicació de l'enginy objecte d'estudi. L'interès d'aquesta memòria es basa en què mostra la vessant didàctica de Santponç amb la progressió de les seves explicacions i la utilització de figures per fer entenedor el discurs.

*Memoria sobre la utilidad, construcción y mecanismo de los Molinos de viento* (29/02/1792).

En aquesta memòria de 12 pàgines Santponç defensa la construcció de molins de vent per moldre grans. Explica quines són les parts d'un molí i dóna algunes dades de quines han de ser les seves dimensions i explica com calcular el pes de la les moles per poder fer altres càlculs a partir d'aquesta dada. Tots els càlculs els explica pas a pas, i el nivell d'aprofundiment en el tema no és elevat. Santponç reprèn el tema de la construcció de molins en un article que escriu el gener de 1817 per a la revista *Memorias de Agricultura y Artes*. En aquest article sí que hi ha figures per seguir les explicacions de Santponç i el nivell tècnic que emprà és més elevat. Tant en la memòria com en l'article Santponç explica les dificultats per emprar aquesta tecnologia en l'Estat Espanyol, assenyalant que la falta de bons tècnics que facin bons càlculs per dissenyar i construir un molí eficient és la major d'aquestes dificultats. L'article per a la revista acaba amb un paràgraf esperançador explicant que a l'Escola de mecànica gratuïta, de la que ell era el professor, està aconseguint molts progressos introduint la mecànica a propietaris, fabricants i artesans.

*Discurso sobre los Barómetros portátiles* (08/02/1797).

Memòria de 7 pàgines on Santponç explica l'experiment de Torricelli per mesurar la pressió atmosfèrica. Sense entrar en detall, exposa la col·laboració per construir baròmetres portàtils entre Francesc Salvà i el soci artista Josep Valls que ja tenia experiència en la construcció de baròmetres. Aquests dos socis de l'Acadèmia van trobar una solució per a la construcció de baròmetres portàtils, i s'especifica que va arribar a les mans de Valls un baròmetre espatllat que havia d'arreglar-se, el baròmetre tenia un estretament en el tub de vidre que contenia el mercuri que el protegia contra la pressió excessiva del mercuri. Es desconeix el constructor del baròmetre espatllat, però es valora la idea del seu disseny com molt adient per a construir baròmetres portàtils, especialment indicats per la navegació marítima.

Un motiu de pes per l'interès dels baròmetres portàtils és la predicció del temps, especialment útil per la navegació marítima. L'interès per la predicció meteorològica continua en els articles que Santponç va escriure per la revista *Memorias de Agricultura y Artes* en la descripció que fa d'un instrument anomenat "Pronostico", del qual Santponç té un exemplar. En el referit article, escrit al febrer de 1820, es va valorar la utilitat de l'aparell.

*Discurso sobre varias fuerzas físicas principalmente sobre la fuerza centrífuga* (09/01/1799).

Gràcies a aquesta memòria de 17 fulls sabem que una font de coneixement de Santponç va ser *Instituciones de Phisique* d'Émilie du Châtelet, obra bàsicament Newtoniana, però amb aportacions de la metafísica de Leibniz i les forces vives. Aquesta obra va ser escrita amb

profunditat i rigor amb la motivació que el seu fill pogués comprendre la física. Altra font que revela Santponç va ser *Dissertation sur l'estimation et la mesure des forces motrices des corps* de Jean-Jacques Dortous de Mairan.

*Del vapor de agua considerado como fuerza motriz y nueva aplicación de esta potencia* (17/01/1801)

Aquesta memòria d'11 pàgines és un repàs històric de les aplicacions que s'havien donat a la força del vapor. Santponç comença descrivint la eolípila i una màquina construïda emprant aquest tipus d'enginy que havia trobat descrita en un llibre de la seva propietat de 1689; la descripció s'acompanya amb una figura explicativa. Fa un repàs dels usos que se li donaven en l'època a les màquines de vapor nomenant la de Cartagena i Fresnes per drenar aigua. I una altra màquina de vapor construïda en Nismes dissenyada per pujar el nivell de l'aigua que s'aplicava per moure un molí de blat. També menciona l'aplicació de la força del vapor per aconseguir suficient potència calorífica en les fargues en substitució de les manxes, adjuntant una figura explicativa. Cal destacar que els dissenys d'enginyers que descriu són d'un nivell tècnic bàsic que estan lluny de la tecnologia de vapor de l'època. Menciona les investigacions de Désaguliers repetint experiments i acaba la memòria descrivint un dispositiu per proveir d'aigua les diverses altures d'un edifici. Aquesta descripció torna a aparèixer amb un poc més de detall a un article de febrer de l'any 1818 a *Memorias de Agricultura y Artes*, on Santponç lamenta que l'autor d'aquest disseny no hagi fet ús d'un dibuix per fer més entenedores les explicacions ni experiments per corroborar la simple descripció teòrica.

Un manuscrit conservat a l'Arxiu familiar de Santponç conté una traducció –comentada- d'una màquina de vapor dissenyada per l'enginyer de mines francès, Antoine de Gensane, una memòria que probablement reflecteix un estudi privat de Santponç (Montava, 2014). Hi demostra un coneixement una mica més avançat de la tecnologia del vapor, tot i que en una màquina que no superà les limitacions tècniques que tenia. J. Agustí Cullell confongué aquesta memòria amb la presentada a l'Acadèmia el 1801. Donat que no s'hi veuen encara senyals de coneixement a fons de la tecnologia de Watt, la vam datar el 1802. En tot cas, aquestes memòries van ser escrites poc abans que Santponç acceptés el repte de construir la màquina de vapor per l'empresari Jacint Ramon. Per consegüent, pensem que les va escriure mentre ell mateix aprenia les bases d'aquesta tecnologia que va arribar a dominar plenament.

*Máquinas inglesas.* (23/01/1805)

Aquesta memòria de 10 pàgines, escrita mentre Santponç estava immers en el projecte de la màquina de vapor, està dedicada a la descripció de dues màquines. La primera està dissenyada per a la impressió d'estampats en teles i la segona, per elevar a aigua mitjançant una bomba impulsada automàticament. La primera màquina va rebre, al seu moment, el reconeixement del parlament de Londres amb un honor d'invenció i la segona, una medalla de plata de la Societat de foment de les arts de Londres. Les dues màquines fan referència, en la explicació del seu funcionament, a dues figures que no apareixen en la memòria. En la descripció de la segona màquina, Santponç fa una anàlisi de les forces implicades.

*Discurso sobre el Ariete hidráulico de Montgolfier* (21/01/1807)

Aquesta memòria de 16 pàgines comença amb una cita de Desaguliers explicant la impossibilitat de la construcció del mòbil perpetu. Després, Santponç explica que va llegir al *Diari de Barcelona* dos casos en què dos particulars anunciaven que tenien a la venda màquines

de moviment perpetu. Santponç va demanar informació directament i, en els dos casos, es demanaven diners per avançat per finançar les màquines que encara no estaven construïdes. En el primer cas, la Junta de Comerç va fer una aportació econòmica, cap de les dues màquines va funcionar. Després d'aquesta introducció al tema, passa a descriure una màquina inventada el 1797 per Joseph-Michel Montgolfier (1740 – 1810) qui gaudia del prestigi científic per les experiències aerostàtiques que va dirigir. Aquesta màquina estava dissenyada per elevar aigua sense la utilització de bombes ni sènies; la memòria es refereix a unes figures, que no apareixen, d'un enginy anomenat ariet hidràulic, que va ser molt utilitzat al llarg de molt de temps i del que hi ha moltes referències en diverses obres i revistes de l'època (Ferguson, 1823, 288). En la memòria s'explica que estava en funcionament un ariet hidràulic en l'Escorial, la construcció del qual va ser dirigida pel maquinista Tomas Pérez Estala, membre de l'Acadèmia.

*Memoria sobre el Ariete hidráulico (06/12/1815).*

Aquesta memòria de 9 pàgines és la primera escrita després de la Guerra del Francès. Està dedicada a la memòria de Montgolfier, mort cinc anys abans, i en ella es descriu altre cop l'ariet hidràulic de la seva invenció. D'aquest invent es valora que només cal un desnivell d'aigua per tenir l'empenta necessària per pujar l'aigua a una altura superior a la inicial. Santponç valora que no sigui necessari l'ús de cavalleries, sínies, bombes hidràuliques o la màquina de vapor, per pujar l'altura de l'aigua. I aprecia que, amb l'ús de l'ariet hidràulic, farà molt més econòmica l'elevació d'aigua per fer qualsevol ús d'ella. Donat que la màquina de vapor dissenyada per Santponç va ser utilitzada per elevar aigua i aplicada a un enginy hidràulic que movia les filatures, és interessant que Santponç valorés de forma positiva aquest enginy que feia la mateixa funció que la màquina de vapor que va dissenyar i construir.

*“Es mui frecuente necesitarse elevar aguas a alturas considerables, y al mismo tiempo no poderse emplear los medios conocidos con aplicacion de hombres ó caballerias, por motivo de lo caro de su coste y manutencion. En estos casos para suplir estas potencias se recurre regularmente al agua corriente ó a su vapor excitado. En el primero ha sido preciso hasta ahora valerse de ruedas, ó de bombas de un modo mas o menos complicado, que siempre resulta caro á un particular. Y en el segundo la bomba de fuego tiene los mismos inconvenientes. Mr Mongolfier con el obgeto de evitarlos se propuso emplear la fuerza que nos porporciona la naturaleza en las caidas o saltor de agua, y elevar con economia una parte de este fluido á qualquiera altura necesaria, y abandonar absolutamente todo sistema de ruedas, y de bombas como menos capaces de producir igual efecto.”*

La descripció que fa Santponç de l'ariet hidràulic no és exhaustiva tot i que acompanya la memòria d'una figura, no dona la descripció de la vàlvula que considera complicada d'entendre. Per la descripció que fa del funcionament de la vàlvula pensem que Santponç la tenia ben estudiada i compresa; tanmateix, amb les explicacions que Santponç dona no és possible reproduir-la ni entendre bé el seu funcionament. Pensem que Santponç no va entrar en profunditat en el tema perquè, quan escrivia aquesta memòria per a l'Acadèmia, no tenia com objectiu fer descripcions detallades que requeririen més temps del que disposava per fer la seva exposició; de fet, en la introducció que fa en aquesta memòria Santponç s'expressa en els següents termes: *este descubrimiento es el que me ocupará este breve rato.*

Santponç anuncia que hi ha a París diversos ariets en funcionament i que l'estudi del seu disseny ha motivat la millora i l'aplicació per a elevar materials diferents a l'aigua. Apunta que donarà explicacions detallades en pocs dies de les noves màquines inspirades en l'ariet que,

segons li comuniquen des de París, s'han presentat al govern de França. Tot i aquest anunci, no es coneixen més descripcions de Santponç de màquines basades en l'ariet hidràulic.

*Del nuevo sistema de clasificación en mecánica (10/11/1819).*

En aquesta memòria de 16 pàgines Santponç presenta en l'Acadèmia un sistema de classificació d'elements de mecànica. En aquesta classificació es presenten tots els components que poden ser utilitzats per dissenyar una màquina ordenats en sis ordres que són: receptors, comunicadors, modificadors, sustentacles, reguladors i operadors.

Nomena a Prony, Lanz, Betancourt, Hachette i Borgnis com els enginyers que han proposat diversos sistemes de classificació de components mecànics així com de tipus de moviment. Amb aquesta classificació es pot trobar qualsevol component que es necessiti així com una figura o plànol del component amb una explicació. En la lectura de la memòria, Santponç explica com utilitzar el sistema de classificació per trobar qualsevol element del primer ordre de classificació que correspon als receptors. En aquestes explicacions podem veure que Santponç mostra la classificació de totes les màquines de vapor antigues o modernes incloent les d'alta pressió que s'havien desenvolupat recentment. Aquesta memòria, llegida dos anys abans de la seva mort, mostra un Santponç posat al dia de les últimes tecnologies amb una destacada claredat mental per donar les explicacions que requeria la classificació dels elements mecànics. Santponç va incloure aquesta classificació de màquines en les seves classes de la Càtedra de Mecànica de la Junta de comerç, com veurem en els següents apartats.

Com a conclusió podem dir que les memòries llegides per Santponç a l'Acadèmia complien amb el propòsit, expressat en els seus estatuts, d'estudiar els experiments coneguts i guiar el coneixement dels nous fenòmens de les ciències naturals. Santponç demostrava la seva formació enciclopèdica en la introducció inicial de les seves memòries i exposava el tema de forma clara, les seves explicacions començaven amb un nivell bàsic que anava en progrés. Santponç va començar la divulgació de les ciències i la tècnica amb la publicació de la memòria de la màquina de bregar cànem i va poder continuar la seva tasca divulgativa amb les memòries de l'Acadèmia de Ciències i Arts. A més, la seva tasca a l'Acadèmia va propiciar el seu propi aprenentatge i va concitar la seva incansable curiositat.

Les memòries de Santponç també mostren la forma en què Santponç estudiava. La consulta de llibres i revistes estrangeres era una de les fonts de coneixement on trobava descripcions de màquines o enginys destacats, per exemple que havien estat premiats amb medalles. També aprenia Santponç comunicant-se directament amb viatgers o experts estrangers com es veu en la memòria en què descriu la nova forma d'aplicar el timó a les cavalleries. Aquesta novetat la va saber a través del viatger Joseph Townsend en la seva estància a Barcelona. Joseph Townsend va ser un metge anglès que va fer un viatge per Espanya, els anys 1786 i 1787. Va conèixer personalment a Santponç i a Salvà, dels que assegurava que eren els més distingits i de major pràctica entre els 70 metges que hi havia a Barcelona (Puig-Pla, 2009, 117). A més, en la memòria sobre l'ariet hidràulic, Santponç nomena que rep notícies directament de París, tot i que no sabem quin contacte el va informar sobre aquest enginy. En aquest aspecte sabem que mantenia correspondència sobre novetats de tècniques i científiques amb Jean Claude Pingeon (1730-1795) qui, segons l'inventari de la Real Acadèmia de Ciències i Arts, era corresponsal estranger de la mateixa. Pingeon era un enginyer de formació militar qui va mantenir una correspondència amb Santponç de la qual es coneixen tres llargues cartes entre 1785 i 1787

(Agustí, 1983, 81-83). Però Pingeon no va poder ser l'informador en aquest cas, ja que l'ariet va ser inventat en 1796 amb patent de 1797 i Pingeon ja havia mort.

Amb tot el que hem vist fins ara podem afirmar que, en començar el nou segle, Santponç havia arribat a un nivell de coneixement i experimentació científica molt notable que encara havia de anar a més. La construcció de la màquina de bregar cànem va ser, sens dubte, un gran projecte amb el que Santponç va fer la seva entrada en el món de la tecnologia. En les acadèmies de Ciències i Arts i de Medicina Pràctica Santponç va trobar dos entorns ideals per aprendre i posar en pràctica els coneixements a través de l'experimentació. En el cas l'Acadèmia de Medicina Pràctica l'experimentació de Santponç amb les anàlisis d'aigües va donar com a resultat la publicació dels seus dos treballs d'anàlisis. Amb la redacció de les memòries presentades a l'Acadèmia de Ciències i Arts Santponç es desvela com un estudiós incansable de la nova física desenvolupada per Newton i Leibniz a la que s'aproxima instruint-se amb diversos llibres amb els que aclareix els nous conceptes. Els instruments, que es dissenyaven i construïen en l'Acadèmia per reproduir els experiments que publicaven els grans físics del moment, foren imprescindibles per assimilar els nous coneixements.

Amb les memòries escrites per l'Acadèmia de Ciències i Arts Santponç va fer difusió del seu coneixement científic i tecnològic de forma planera, començant des de la base i augmentant el nivell. S'ajudava de dibuixos per fer-se entendre i per demostrar algunes afirmacions que feia. A més es preocupava de citar llibres d'estudi que donaven autenticitat als seus escrits. Els primers anys del nou segle serien els de major productivitat tecnològica de Santponç qui posaria en pràctica tot el seu coneixement científic i tecnològic amb el seu major projecte: la màquina de vapor per a l'empresari Jacint Ramon. La posada en funcionament d'aquesta màquina va ser, sens dubte, determinant perquè Santponç aconseguís la Càtedra de Mecànica en la Junta de Comerç. Les circumstàncies que donaren lloc al disseny i construcció de la màquina de vapor seran l'eix dels següents paràgrafs.

#### **2.4 LA TRANSFERÈNCIA DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL: UN LLARG CAMÍ.**

És important donar una visió de la situació industrial i tecnològica de l'estat espanyol que posi en context la construcció de la màquina de vapor de Santponç. El coneixement del context ajudarà a entendre la importància que va tenir aquest repte tecnològic.

Segons Helguera, l'estat espanyol va patir una desindustrialització a partir del segle XVI. Al llarg d'aquest segle es constata una baixada en la producció de teles i el nombre de telers en funcionament en els nuclis urbans amb tradició tèxtil com Córdoba, Granada, Segovia, Toledo i altres ciutats i comarques. Aquesta desindustrialització es va reflectir inevitablement en una dependència de les importacions que es va aguditzar a la segona meitat del segle XVII; no es podia satisfer la demanda interna amb la indústria existent i les potències d'Europa aprofitaren la seva posició de força respecte Espanya, debilitada pels últims governs dels Àustria, per a consolidar els seus avantatges competitius en el mercat nacional i colonial amb la signatura de tractats desfavorables als interessos de les manufactures de l'estat espanyol. L'absència d'una política aranzelària proteccionista i les especials circumstàncies de la guerra de Successió van portar la falta de competitivitat de les manufactures espanyoles amb el seu punt àlgid a principis del segle XVIII. Les dues grans potències Anglaterra i França imposaren avantatges per la importació dels seus productes i el tràfic mercantil a través de Cadis. Una altra de les causes del declivi de les manufactures de l'estat espanyol es trobava en el seu endarreriment tècnic, fet que

encaria el preu final del producte i propiciava la invasió de productes d'importació. (Helguera, 2005, 47-50)

Una de les solucions que es van intentar per part de l'Estat va ser la contractació de tècnics i artesans estrangers amb l'objectiu d'aconseguir que introduïssin nous productes i procediments productius per ensenyant les seves habilitats i tècniques als treballadors autòctons. Hi hagueren iniciatives d'aquest tipus tant a nivell particular com a nivell d'entitats estatals durant dels segles XVII i XVIII. La Junta General de Comerç, mitjançant les seves Juntes Particulars, com les de Granada, Sevilla, València i Barcelona, va obtenir bons resultats en la contractació de tècnics i artesans estrangers per engegar la reindustrialització. Tot i que els efectes eren lents i van trigar en apreciar-se, s'aconseguí instal·lar una manufactura de vidre en San Martín de Valdeiglesias, dotzenes de telers a Cuenca, i també a Toledo amb la contractació d'artesans flamencs. El recolzament financer de la Junta de Comerç per a la contractació d'estrangers va continuar al segle XVIII tot i el canvi de dinastia després de la Guerra de Successió. Ara bé, cal assenyalar que, a l'entrada del segle XVIII, amb la incorporació de la dinastia borbònica a la cort espanyola, s'aplicà una política que afavoria convertir l'estat espanyol en un mercat reservat per a les manufactures franceses. Així va ser com, des del govern, no es va donar autorització a l'arribada de tècnics i artesans experts en manufactures tèxtils, de vidre i miralls argumentant que el mercat espanyol ja era abastit per les manufactures franceses i que encara ho seria més en unir-se les dues dinasties (Helguera, 2005, 50-52).

Aquesta política, típica d'un pacte colonial, va començar a canviar a partir de la pau d'Utrecht i cap a 1717 ja començaren fomentar-se des del govern la vinguda d'experts estrangers holandesos, francesos, alemanys, anglesos i irlandesos als que la Cort espanyola oferia bones condicions salarials, organitzant la seva arribada mitjançant els ambaixadors i cònsols. Els inconvenients de la transferència tecnològica basada en la immigració de tècnics eren, en primer lloc, la resistència a revelar els procediments i habilitats per part dels tècnics estrangers i, en segon lloc, les dificultats perquè la tecnologia importada fos transmesa als aprenents i aclimatada al territori. De forma que, llevat de comptades ocasions, quan els estrangers tornaven al seu país, morien o es jubilaven es perdien els coneixements o es quedaven obsolets front els nous avenços de la indústria europea (Helguera, 2005, 52-58).

Davant les dificultats que generava la transmissió de tecnologia mitjançant l'arribada d'experts estrangers, es va complementar aquesta política amb l'enviament d'artesans o tècnics de l'estat espanyol a l'estranger per ampliar la seva formació en importants centres industrials. Aquests viatges, que s'anomenaven viatges pensionats, es planificaven també per fomentar l'espionatge industrial. Gràcies a aquest tipus de viatges es va desvetllar la tecnologia de les màquines de vapor de doble efecte, dissenyades i patentades per James Watt. Una tecnologia a la qual Santponç va poder accedir per construir la seva màquina de vapor. Cal remarcar que la tecnologia de les màquines de doble efecte va ser revolucionària en aconseguir que el moviment del pistó fos molt més homogeni i, per tant, pogués transferir-se directament el moviment del pistó a les màquines de teixir o filar que necessitaven un moviment uniforme per aconseguir uns acabats de teles i fils amb la igualtat suficient i de qualitat. També és important assenyalar que, sota el regnat de Carles IV, va ser difícil obtenir informació directa Regne Unit a causa les contínues guerres que l'Estat Espanyol mantenia amb aquest país amb qui disputava l'hegemonia marítima i el comerç amb Amèrica; aquesta circumstància va ser també un impediment per organitzar viatges pensionats al Regne Unit per esbrinar del secret de la tecnologia del doble efecte.

En aquest context, l'any 1785, Agustín Betancourt y Molina ( 1758 - 1824) va ser enviat a França en un viatge pensionat per la cort d'Espanya. El propòsit del viatge va ser fer una col·lecció de models de tecnologia hidràulica i amb aquest objectiu el 1788 va viatjar a Regne Unit per adquirir els coneixements necessaris per al perfeccionament de les màquines de vapor. En arribar a Londres es va posar en contacte amb diferents mecànics amb els quals va tractar sobre tecnologia de vapor de tipus Newcomen, que Betancourt denomina com antiga i manifesta que no treu cap informació nova d'aquests encontres amb tècnics ni res que no fos ja conegut a França. Betancourt va decidir traslladar-se a Birmingham per posar-se en contacte amb Watt i Boulton dels qui sabia que havien fet descobertes sobre la tecnologia de vapor. Boulton va rebre amb cordialitat a Betancourt, i li va ensenyar la fàbrica on estava en funcionament una de les noves màquines de doble efecte, però no li va ensenyar ni la màquina ni li va donar cap explicació de com havien aconseguit un moviment regular, controlar la velocitat i estalviar combustible. Clar que Boulton ja estava escarmentat d'altres tècnics, que, prèviament a l'arribada de Betancourt, van intentar arribar al secret de funcionament de la nova tecnologia aprofitant la seva cordialitat. Així va ser com Betancourt va tornar a Londres sense cap més informació. Però va aconseguir que amb un permís especial, pogués visitar Albion Mills, una fàbrica instal·lada a prop del pont de Black-Friars, que havia d'estar accionada per tres màquines de vapor de doble efecte, de les que només una estava acabada i en funcionament. Així va ser com Betancourt va veure l'exterior d'una màquina de doble efecte i per els tubs que arribaven al cilindre i la disposició de les vàlvules Betancourt va entendre que, en el moment que el vapor entrava al cilindre per la part de sota del pistó, es buidava de vapor la part de dalt del pistó, i quan entrava el vapor per la part de dalt es buidava la part de sota. I amb aquesta alternança s'aconseguia un moviment molt més homogeni. Respecte el mecanisme que feia possible controlar la velocitat, Betancourt no va poder veure cap part d'ell (Gouzévitch, 2018, 79 - 83). En realitat, segons Gouzévitch, en veure la màquina funcionar va confirmar els seus estudis sobre el doble efecte d'un temps abans.

En el camí de tornada a França, Betancourt va pensar en diversos dissenys de màquina de vapor per fer possible el doble efecte i quan va arribar a París va continuar amb els seu projecte de construcció de models de màquines hidràuliques. Però al novembre, abans que acabés l'any 1788, encara va fer altre viatge a Londres. Allí va observar diverses màquines, algunes només de passada, Betancourt va ser capaç d'entendre el disseny de les màquines que va visitar i en tornar a París, el 10 de desembre, les va reproduir, a escala, al seu taller. El segon viatge a Londres va ser molt productiu en el sentit que gràcies a ell Betancourt va canviar moltes peces del model de màquina de vapor de doble efecte que havia construït, del que només va salvar el cilindre. Els germans Périer van quedar tan convençuts de les possibilitats del disseny de Betancourt que construïren una màquina seguint els seus plànols. Els germans Périer: Jacques-Constantin (1742-1818) i Auguste-Charles Périer (17?- 18?) eren dos tècnics i empresaris molt reconeguts a França que instal·laren diverses màquines de vapor (Gouzévitch, 2018, 83 – 84).

El 16 de desembre de 1789 Betancourt va presentar una memòria a l'Acadèmia de Ciències de París sobre la màquina de vapor de doble efecte i a l'any 1796 Prony va publicar el segon volum de *Nouvelle Architecture Hydraulique*, obra en la qual es descriu la màquina de vapor de doble efecte amb disseny de Betancourt (Gouzévitch, 2018, 100 – 103). Les principals circumstàncies, aquí descrites, sobre com es va desvetllar la tecnologia de les màquines de vapor de doble efecte, ens mostren la quantitat de recursos que es van destinar a fer possible aquesta transferència de coneixement tecnològic. Betancourt tenia a la seva disponibilitat els recursos necessaris per aconseguir llibres, artistes i materials per fer models de màquines sofisticades i de



qualitat així com també per fer viatges per diverses regions de França i els viatges a Londres i Birmingham que hem descrit (Gouzévitch, 2018, 82). Aquest relat també ens ajuda a entendre el context de recerca tecnològica capdavantera en el qual Betancourt va viure, va aprendre i va fer evolucionar ell mateix. Amb tot això podem veure que les circumstàncies amb les quals Santponç va fer possible la transmissió de la tecnologia de vapor de doble efecte a Barcelona foren molt diferents de les que va gaudir Betancourt.

## **2.5 ELS PRIMERS INTENTS D'INTRODUCCIÓ DE LES MÀQUINES DE VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL.**

A principis del segle XIX s'havien donat a l'estat espanyol poques experiències amb la posada en marxa de màquines de vapor. El primer intent es va donar l'any 1722 i va ser una màquina de tecnologia Newcomen. Recordem que la tecnologia Newcomen va ser definida per Betancourt com antiga, així com també per Santponç. Amb l'objectiu de subministrar aigua a la ciutat de Toledo, es va signar un contracte amb un enginyer britànic per portar endavant el projecte. Va ser necessària la creació d'una companyia per la recaptació de diners entre els socis per adquirir materials i equipament que va fer possible l'enviament de 6.000 quintars de materials i 10 tècnics per començar els treballs. Però la falta de diners i la lentitud dels treballs va fer que, finalment, en 1727, es cancel·lés el projecte. La màquina de Newcomen va poder finalment aclimatar-se a l'Estat Espanyol en una època tardana. El 1773 es va posar oficialment en marxa la primera màquina de vapor tipus Newcomen en un dels dies de l'Arsenal de Cartagena. I en 1774 va començar a funcionar una segona màquina en el mateix Arsenal. Ambdues màquines funcionaven per drenar aigua. La implantació d'aquesta tecnologia va ser impulsada per Jordi Joan (1713 – 1773) qui, després de fer un viatge a Londres al 1749, va enviar un model de màquina de Newcomen que va servir per l'ensenyament de física fins que dues dècades més tard es va emprar com model per la construcció de les màquines de Cartagena. La instal·lació d'aquesta tecnologia va requerir la instrucció de tècnics per al seu manteniment. Aquestes circumstàncies van fer possible que un expert en bombes d'aigua, Antonio Delgado, i el seu nebot es convertiren en experts en la construcció de màquines Newcomen en Espanya; van construir en 1785 altres dues màquines a Cartagena més perfeccionades. També construïren altres semblants per al Ferrol i la Carraca a finals del segle XVIII que funcionaren durant molt temps (Helguera, 2005, 83-85).

A les mines de mercuri d'Almadén va prendre forma altre projecte: la instal·lació de màquines de vapor, dissenyades per James Watt, amb condensador separat i d'efecte simple. Aquest projecte va requerir un viatge a Londres el 1789 amb l'objectiu de contractar amb Boulton i Watt la construcció i instal·lació de tres màquines. Però, finalment, probablement per error, s'encarregaren tres màquines a Wilkinson, qui les construïa de forma il·legal en lloc de fer la comanda a Boulton i Watt. Aquestes circumstàncies portaren a dos inconvenients: la tecnologia de les màquines comprades ja era antiquada per a l'any 1789, donat que Boulton i Watt comercialitzaren les màquines de doble efecte des del 1784. El segon inconvenient va ser que Wilkinson, a diferència de Boulton i Watt, no oferia cap servei d'assistència tècnica i muntatge, la qual cosa va endarrerir el projecte. Amb tot això, el 1793 encara no s'havia instal·lat la primera de les tres màquines. La documentació trobada indica que a mitjans de 1805 va començar a prestar servei només una de les tres màquines a Almadén (Helguera, 2005, 85-87).

Paral·lelament, es va materialitzar el primer intent d'instal·lació d'una màquina de doble efecte a l'Estat Espanyol. Aquest projecte, dirigit per un comerciant instal·lat a Cadis, va ser encarregat a Boulton i Watt, i per tant, va requerir d'un viatge a Birmingham per signar el

contracte. Però quan va arribar la màquina a Cadis, la fàbrica de farines, on calia instal·lar-la, no estava construïda i després de moltes esperes i dilacions les peces s'abandonaren al port de la ciutat (Helguera, 2005, 86-88).

El segon intent d'instal·lació de la màquina de doble efecte de Watt va tenir lloc entre 1789 i 1798. L'escenari, en aquesta ocasió, va ser el serrador mecànic a vapor en l'Arsenal militar de la Carraca, unes instal·lacions que han sigut considerades el major projecte de mecànica industrial fins a l'any 1800. La signatura del contracte amb l'empresa de Boulton i Watt va requerir d'un viatge a Birmingham l'any 1789; després de difícils negociacions es va signar el contracte en 1790. El 1792 va arribar la màquina, però, altre cop, les instal·lacions necessàries no estaven construïdes. En 1785, quan ja estava gairebé tot a punt per instal·lar la màquina, una quantitat important de peces van ser robades i el projecte va ser cancel·lat el 1798, any en que, altre cop, es van furar més peces fent el projecte irrealitzable. L'última notícia de l'arribada d'una màquina de doble efecte al segle XVIII es va donar el 1795, any en què un empresari britànic, instal·lat a Sevilla, va encarregar a Boulton i Watt una màquina de vapor per a la seva fàbrica de pells, però es coneixen molt poques dades d'aquesta màquina (Helguera, 2005, 89 - 90).

A principis del segle XIX es tenen notícies de la instal·lació de dues màquines de doble efecte importades de Boulton i Watt. El seu comprador va ser el diplomàtic Carlos Martínez de Irujo, que va encarregar en 1800 i 1806 dues màquines de doble efecte per impulsar una fàbrica de farina. La situació de guerra amb Anglaterra segurament en va dificultar l'arribada i és possible que les dues màquines no arribessin abans de 1808. Després de la Guerra del Francès (1808 - 1814) es completaren les instal·lacions del molí que és considerat la primera empresa privada espanyola en emprar amb èxit l'energia del vapor (Helguera, 2005, 90-91).

## **2.6 EL GRAN REPTE: LA MÀQUINA DE VAPOR PER A L'EMPRESARI JACINT RAMON.**

Coneixem les circumstàncies en què l'empresari Jacint Ramon va contactar amb Santponç per proposar-li la construcció d'una màquina de vapor per moure les filatures de la fàbrica que tenia al carrer Sant Pau de Barcelona. El mateix Santponç ho explica en la memòria sobre la màquina que va escriure per ser impresa. La memòria comença donant un breu repàs històric als principals avanços que es donaren en la tecnologia de vapor des de l'any 1663 fins 1804, any en el que Jacint Ramon va demanar ajuda a Santponç per posar en marxa aquest projecte. Per a Santponç, els principals problemes que donaven aquest tipus de màquines assenyalant els elevats costos, la dificultat de l'execució d'algunes peces, els desajustos que es produïen amb l'ús i la dificultat per coordinar l'acció de les vàlvules perquè una màquina de vapor funcionés de forma automàtica. D'altra banda, es posa en relleu el pas endavant que va suposar l'invent del cilindre de doble efecte de James Watt, que va permetre donar pas a unes màquines de vapor que proporcionaven un moviment continu del pistó amb pulsacions molt regulars.

Explica Santponç que Jacint Ramon va estar documentant-se sobre la construcció d'una màquina de vapor per a la seva fàbrica. El convenciment sobre la seva utilitat el va portar a intentar construir-ne una amb l'ajuda d'artesans. El projecte fracassà, però, lluny de desistir, es va posar en contacte amb Santponç, que era el director d'Estàtica de l'Acadèmia de Ciències i Arts, per demanar-li que acceptés la direcció de l'intent de construcció d'una màquina de vapor per a la seva empresa. En principi, la finalitat de la màquina era cardar, filar, pujar aigua de nivell i les demès operacions que executava una màquina molt coneguda que funcionava a Manchester.

En altre document redactat per Santponç, trobem més informació sobre les circumstàncies que envoltaren la construcció de la màquina. El document al que ens referim és la redacció que Santponç va fer d'un projecte per establir escoles de mecànica en totes les províncies espanyoles<sup>13</sup> (Puig-Pla, C, Roca-Rosell, A., 2007). En la introducció d'aquest document, Santponç admet que quan Jacint Ramon el va anar a buscar com a director de la secció d'Estàtica, Hidrostàtica i Meteorologia de l'Acadèmia de Ciències i Arts només coneixia la teoria sobre les màquines de vapor; mai havia vist funcionar cap d'elles, tot explicant que en el seu viatge a París del 1780 va veure que n'estaven construint una per abastir d'aigua les fonts d'un barri de la ciutat (Chaillot, on tenien els tallers els germans Périer), però les obres estaven molt al començament. A més, aquest document, del que parlarem en altres apartats, dona un poc de llum a la raó perquè Santponç va decidir dissenyar ell mateix una màquina de vapor i dirigir un equip d'artesans per construir-la, en lloc de dirigir el projecte cap a la compra de materials i pagant per l'expertesa d'experts estrangers. Segons explica Santponç, Jacint Ramon volia que no hi hagués cap estranger implicat en el projecte, doncs ell sempre seguia aquesta norma i volia que la màquina fos *enteramente hija del país*. Santponç expressa que aquesta idea el va motivar i decidiren tirar endavant el projecte amb gent local. Cal tenir en compte que aquest document el va redactar en 1813 des de Cadis, on estava el govern provisionalment a causa de la Guerra del Francès (1808-1814), moment escaient per expressions nacionalistes.

Després de vuit dies de reflexió, Santponç va acceptar el repte conscient de què un fracàs en aquest projecte podria posar-lo en evidència, però segons les seves paraules no va voler desapropiar la oportunitat per contribuir, de forma altruista, a un bé de gran interès. En el primer intent de disseny i construcció es presentaren els primers inconvenients difícils de superar. Els problemes es centraven en la coordinació de l'obertura i tancament de les vàlvules de manera automàtica i en el moment precís perquè la màquina funcionés correctament. Santponç explica que, dintre del termini acordat, la màquina estava funcionant, però qualifica el moviment de la màquina com violent i indica que els jocs de peces que obrien i tancaven les vàlvules es descompensaven amb facilitat. La tecnologia amb la que es va dissenyar la màquina era la del cilindre de doble efecte que admetia el vapor per la part de sota del pistó i per la part de dalt alternativament; aquest disseny, ideat per James Watt i revelat per Agustín de Betancourt, requeria de la utilització de més vàlvules que havien de ser coordinades correctament per l'automatització de la màquina.

Santponç estava convençut de què podia aconseguir solucionar els problemes que s'havien presentat. Per finalitzar el projecte amb èxit calia replantejar el Registre de la màquina, que era el mecanisme amb el que s'aconseguia la seva automatització. Llavors el projecte entrà en una fase d'experimentació amb la construcció d'una maqueta de màquina de vapor de menor tamany per fer experiments amb la idea d'aplicar les millores resultants a la màquina gran. No coneixem amb detall aquesta fase d'experimentació, però Santponç va descriure algunes circumstàncies força interessants que ajuden a entendre les dificultats i les solucions amb les que les superaren. El finançament del model per fer l'experimentació va ser afrontat per Jacint Ramon i en aquesta fase els artesans que estaven involucrats en el projecte varen participar activament en la gran quantitat d'experiments que es portaren endavant. Santponç lloa la seva implicació escrivint els seus noms a la memòria reconeixent el seu mèrit.

---

<sup>13</sup> *El manuscrit té el nom: Ensayo sobre el modo de establecer en España escuelas de mecanica para fomento de las artes y de la agricultura.*

En el transcurs dels experiments els artesans volgueren prescindir del condensador per refredar el vapor d'aigua. Tot i que Santponç els va advertir que la màquina no podria funcionar sense l'acció del condensador, l'equip d'artesans va decidir portar endavant l'experiment. Per anular el condensador del cicle del vapor utilitzaren una aixeta de doble sortida, dissenyada per Bernard Forest de Bélidor (1698-1761). No trigaren en adonar-se que el moviment de l'èmbol s'aturava sense la condensació del vapor, però la utilització de l'aixeta de doble sortida va fer reflexionar Santponç i va propiciar que dissenyés un vàlvula especial amb la que crearia un nou registre capaç de millorar la màquina simplificant el sistema d'automatització que donava tants problemes.

El model que es va construir per la experimentació es va aplicar directament a una màquina de filar per fer-la funcionar. Es va ajustar el model a 16 impulsos de pistó per minut i el moviment va ser molt homogeni donant lloc a uns moviments dels fusos molt parells. En comparació al moviment de les mateixes màquines de filar que funcionaven al costat i que estaven impulsades per cavalleries, la màquina de vapor proporcionava un moviment molt més uniforme i sense els inevitables cops de força de les cavalleries. Estigué en funcionament durant tres setmanes amb resultats satisfactoris després de les quals Jacint Ramon disposà que s'apliqués la màquina de vapor a un segon assaig consistent en aplicar-la a dues bombes d'extracció d'aigua per proporcionar un salt continu d'aigua que impulsés una roda hidràulica que fes funcionar les màquines de filatures amb la intenció de reutilitzar l'aigua contínuament. Aquest segon ús de la màquina va resultar igualment satisfactori.

El període d'experimentació i el plantejament del registre amb un disseny totalment diferent, prescindint dels mecanismes habituals que automatitzaven les màquines de vapor, va donar lloc a una màquina de doble efecte amb un registre molt més senzill. A la memòria Santponç es mostra molt optimista respecte la innovació que suposarà el disseny del seu registre i compara la seva contribució al progrés que va suposar la invenció del cilindre de doble efecte respecte al de les màquines antigues.

Abans de passar a la descripció de les parts de la màquina i el seu funcionament, Santponç relata que anaren a veure-la funcionar gent nacional i estrangera, tots ells amb nivell cultural o d'instrucció. Entre tots ells l'Intendent de l'Exèrcit En Blas de Aranza i Doyle va tenir la iniciativa de comunicar a la Cort l'èxit de funcionament de la màquina de vapor de Francesc Santponç. El 23 d'agost de 1805 el ministre d'Hisenda Miguel Cayetano Soler, en nom del rei, trasllada a Santponç l'encàrrec de redactar una memòria descriptiva de les parts de la màquina i el seu funcionament per fomentar aquest tipus de tecnologia entre tècnics i fabricants.

Tal era la confiança que Santponç tenia en l'innovador sistema d'automatització de la seva màquina de vapor que es refereix a ella com *Nueva bomba de registro de Barcelona* i, a la memòria descriptiva, com *Esta noticia històrica de la nueva maquina de registro*.

## **2.7 ELS FRUITS DE L'ÈXIT DE LA MÀQUINA DE VAPOR: LA CÀTEDRA DE MECÀNICA EN LES ESCOLES DE LA JUNTA DE COMERÇ.**

En el document que Santponç va redactar per l'establiment d'escoles de mecànica va explicar que l'èxit de la màquina de vapor va propiciar que es creés una escola gratuïta de Mecànica per la Junta de Comerç de Barcelona. La realització del projecte de la màquina de vapor va tenir un impacte suficient com per disposar-ho, des de la Corona, i que Santponç fos el catedràtic nomenat pel rei. Així va ser com el 1808 es creà l'escola de Mecànica de la Junta de Comerç (Puig-Pla, Roca-Rosell, 2007, 349). Per portar endavant les seves classes, l'Acadèmia de

Ciències i Arts va permetre a Santponç utilitzar les màquines del seu gabinet per completar les seves explicacions i fer demostracions. Ell també va traduir del francès *Elementos de geometria* del pare Martin i *Principios de mecànica* de l'Abat Sauri. En la publicació d'aquestes obres traduïdes s'adjuntaren làmines del dibuixos necessaris per seguir les explicacions. Santponç es va encarregar d'imprimir-les, tot indicant que no pretenia instruir els seus alumnes en matemàtiques avançades, sinó formar a artesans, fabricants i hisendats. Santponç va defensar la idea que les escoles de mecànica farien avançar el país en fer difusió de la tecnologia i de les idees noves que millorarien les arts, la agricultura i la economia.

El primer curs de l'escola de mecànica es va portar endavant i Santponç va instruir els seus alumnes en estàtica, cinemàtica i dinàmica. Amb la peculiaritat de què, com ja hem dit, feia us de màquines i models per recolzar les seves explicacions i demostracions. A més a més, Santponç es procurava dissenys de nous invents que venien de Londres i París i que utilitzava també en les seves classes. Per al segon curs, Santponç es va proposar ensenyar hidrostàtica, hidrodinàmica i neumàtica amb el propòsit d'entendre els fonaments del funcionament de bombes d'extracció d'aigua, molins d'aigua i vent, màquines de vapor i construcció de canals hidràulics. També es va proposar ensenyar a fer plànols per traslladar al paper qualsevol projecte. Els ensenyaments del segon curs permetrien aprofundir en coneixements pràctics entre els quals Santponç feia èmfasi en la construcció de canals per navegació i regadiu. Malauradament el segon curs no va poder ni tan sols començar a causa de la Guerra del Francès (1808-1814). Després de la guerra es van reprendre les classes fins l'any 1821, any de la mort de Santponç.

En el projecte per l'establiment d'escoles de mecànica Santponç reflexiona sobre la utilitat dels canals hidràulics com una de les bases sobre la que es fonamentarà el desenvolupament econòmic. Amb aquest convenciment Santponç explica que estava planejant construir un model de canal a escala; la idea era fer una peça cada curs acadèmic per a que, de forma pràctica, els alumnes poguessin veure com els vaixells podien circular per la maqueta salvant pendents amb encluses, plans inclinats i tots els elements que anirien construint-se al llarg dels cursos. Respecte a la construcció de canals, Santponç va pensar que amb la seva construcció per al reg i transport de mercaderies es podrien cobrir les despeses de les escoles de mecànica. Va proposar que, amb les quotes per l'ús del canal que haurien de pagar els pagesos que utilitzessin les seves aigües o els que en fessin us per al transport de mercaderies, es podrien finançar les escoles de mecànica.

L'interès per la construcció de canals venia d'anys enrere, en el *Diario de Barcelona* del 23 de setembre de 1800 apareix publicada una carta de Santponç a Salvà en la que explica algunes solucions per aconseguir que els vaixells poguessin desplaçar-se en contra del desnivell d'un canal en sec. En aquesta interessant carta, Santponç explica que Salvà va demanar a Santponç que presenciés uns experiments al voltant del canal en sec que es realitzaren en l'Acadèmia en dos dies diferents, en els quals es va propiciar la reflexió al voltant de solucions per superar els desnivells dintre un canal. Aquesta és doncs altra prova de l'ambient d'investigació al voltant de les tecnologies en desenvolupament que es vivia a l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona.

A principis del segle XIX l'interès per aquest tipus d'infraestructures començava impulsar projectes de construcció. De fet, el Canal del riu Llobregat va començar a construir-se el 17 de setembre de 1817, però a finals del segle XVIII, els terratinents que podien beneficiar-se de les aigües del Llobregat, ja havien desenvolupat un projecte a partir d'una línia hidràulica existent (Lloret-Rios, 2015, 47-49).

En altre document escrit per Santponç i guardat en l'arxiu de la família de Pere Basil, trobem més informació sobre l'escola de mecànica. Aquest document és una relació de les despeses per al normal funcionament de l'escola. Entre la relació de compres realitzades trobem materials pel manteniment de màquines i per la realització de plànols que constaten que les classes de Santponç eren efectivament pràctiques i que estaven realitzant-se com ell havia previst. També hi consta que s'entregaven gratuïtament els llibres de text traduïts per Santponç i impresos per ell mateix als alumnes que tenien dificultats econòmiques, i dels que en consta el nom al document. Santponç cobrava a la Junta de Comerç 10 rals de velló per cada llibre de geometria i 14 rals de velló per cadascun dels dos volums de mecànica. El document reflecteix les despeses des de l'any 1814, any en què es tornà a obrir l'escola de mecànica després de la guerra, però hi ha tres pàgines anteriors sense data. La relació de materials acaba el 12 d'abril de 1821, el mateix mes de la mort de Santponç (segons Elias de Molins, volum II, pàg 584, Santponç va morir l'11 d'abril de 1821).

El llistat de despeses és una relació d'utilatge que es necessitava per al dia a dia de l'escola, per fer el manteniment de màquines, material per realitzar plànols i portar endavant experiments<sup>14</sup>. Hi ha materials que consten com *tubos de vidrio para experimentos, cordones i trencilla para experimentos, recipientes de cristal para experimentos* que indiquen clarament que l'objectiu de Santponç de fer demostracions i experiments a les classes es va fer com havia previst. També la compra de planxes de metall, tubs de llauna i mercuri indica igualment treball pràctic. Amb aquest llistat hem conegut que Santponç podia disposar d'una màquina pneumàtica, una balança hidrostàtica i d'aeròmetres.

S'adjunta al llistat de materials un full imprès per emplenar en el que Santponç va haver de fer un seguiment d'alguns aspectes del curs de mecànica. Aquest full té data de gener de 1821 i en l'apartat *Mejoras introducidas* Santponç apunta esquemàticament que a l'escola es segueixen els ensenyaments dels millors autors de mecànica i s'ha millorat molt el mètode d'ensenyament amb les taules tecnogràfiques arreglades i impreses per Santponç. S'afegeix que s'ha incorporat a l'ensenyament del curs la nova nomenclatura mecànica publicada a París per Hachette. Pierre Hachette (1769-1834) va començar l'any 1806 un curs de màquines a l'École polytechnique de París dintre la seva càtedra de Geometria descriptiva. Aquest curs va ser donat fins 1816 i va començar fent una descripció de les màquines, posant-les en ordre fins que va establir una classificació de les màquines seguint criteris geomètrics. Al llarg d'aquests 10 anys Hachette va publicar *Tableau des Machines élémentaires* i també va sortir *Essai sur la composition des Machines* de José Maria Lanz i Agustín de Bétancourt en 1808. Pocs anys després, l'any 1811, Hachette va publicar *Traité élémentaire des Machines*. Amb Hachette les màquines esdevenen un objecte d'estudi científic que fins aleshores s'havien construït a base d'assaig i error per inventors; la visió d'Hachette va ser quantificar les característiques mecàniques i calcular les possibilitats de les màquines. Aquesta forma d'estudi de les màquines es consolidarà als anys vint i trenta del segle XIX (Dupont, 2000).

Com apunta Santponç en el seguiment del curs de mecànica de 1821, una de les innovacions didàctiques que va introduir en les seves classes van ser les taules tecnogràfiques. Aquestes taules, que hem consultat al Fons Històric de l'Escola d'Enginyeria Industrial de Barcelona (Santponç, 1816) consisteixen en un primer quadre general on hi ha un esquema de tots els punts que s'exposaran a les diferents taules, que en són tretze en total. Santponç va descriure en els

---

<sup>14</sup> Apareixen al llard del document materials com camusses, oli, amalgama d'estany, mistos, carbó, llapisseres, tinta xina i de colors, pinzells, papers, vidres per a quinqués, cordells per a corrioles.

tretze quadres sinòptics, de forma organitzada mitjançant claus, les propietats dels cossos. Amb les taules va proporcionar una estructura global i molt visual de les relacions entre definicions i conceptes. Santponç va deixar espais entre parèntesis per a escriure a mà el número de pàgina del llibre de text on s'explicava el concepte descrit a la taula. La idea de Santponç era que les taules poguessin ser utilitzades per qualsevol escola de mecànica amb el llibre que seguissin en cada cas.

Volem destacar que l'última relació de despeses, que comprenia des de març fins al 12 d'abril de 1821, la lletra canvia respecte la de Santponç. Com que Santponç va morir l'11 d'abril, aquesta última relació de materials va ser escrita, amb tota seguretat, per altra persona. Entre les despeses habituals d'abril hi consta una despesa en oli molt més alta del que era habitual; hi consten 122, una despesa que normalment variava entre 1 lliura i 11. Aquesta anomalia en els comptes pot explicar-se com una irregularitat comesa per pagar a la vídua de Santponç una proporció del sou pendent de cobrar a la seva mort. Això és coherent amb el sou de Santponç, que era de 8.000 rals de bilió anuals per la càtedra de Mecànica, més 2.000 com a redactor de la revista *Memorias de Agricultura y Artes*<sup>15</sup>. Com que 1 lliura corresponia a 10 reals (Thomson, 1994, 311), el sou de Santponç en lliures seria de 800 lliures anuals i pot encaixar amb aquest desajust de 120 lliures de despeses en oli. De fet, en morir Santponç, la seva vídua, Eulàlia Barba, va demanar, per escrit, a la Junta de Comerç que li fessin entrega de la part proporcional del sou de catedràtic i de redactor de la part de mecànica de la revista *Memorias de Agricultura y Artes*, a més d'unes despeses que va afrontar Santponç per avançat que estaven relacionades amb la Càtedra de Mecànica. La Junta va recolzar la vídua i va escriure a la Junta Nacional explicant la situació i advertint que no disposava dels fons de l'impost de pariatge, que era la seva única font d'ingressos<sup>16</sup>. Entre els documents de la Junta de Comerç hi consta una sol·licitud de Joan March, qui manifestava que havia estat tres anys complint les absències de Santponç en la càtedra de Mecànica amb un salari de 20 reals anuals promesos per Santponç i que no va cobrar. Per aquest motiu va demanar suspendre l'entrega del salari de Santponç a la seva vídua fins que no es resolgués la qüestió<sup>17</sup>.

Francesc Santponç desenvolupà una trajectòria molt rellevant com a metge-científic-enginyer, aprofundint en la química i en la mecànica. Al mateix temps, es comprometé en una tasca institucional tant a l'Acadèmia de Ciències i Arts com en la Junta de Comerç. La docència i la divulgació ocuparen igualment la seva activitat. Com a investigador, procurà estar al dia dels desenvolupaments del seu temps, buscant informacions en llibres i revistes, a més de mantenir correspondència amb diversos col·legues estrangers, tot i que fins ara no es coneix prou bé aquesta correspondència. D'altra banda, col·laborà amb Francesc Salvà i Campillo en diversos projectes, tot i mantenir-hi una veritable amistat. En els seus treballs en diferents àmbits, podem destacar la metodologia científica que li serví per aprofundir en els projectes en què s'implicà. Li interessaren tant els principis teòrics com les experimentacions i les aplicacions pràctiques

---

<sup>15</sup> Biblioteca Nacional de Catalunya. Fons de la Junta de comerç, caixa 138 lligall CIX, 4,41

<sup>16</sup> Biblioteca Nacional de Catalunya. Fons de la Junta de comerç, caixa 138 lligall CIX, 4,41-45

<sup>17</sup> Biblioteca Nacional de Catalunya. Fons de la Junta de comerç, caixa 138 lligall CIX, 4,41-46

### **CAPÍTOL 3: ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A ANGLATERRA, FRANÇA, PAÏSOS BAIXOS I ESPANYA. INFRAESTRUCTURES, MITJANS, PERSONATGES I LLOCS.**

Per entendre millor la complexitat de portar endavant un projecte com el de Santponç amb la construcció de la seva màquina de vapor hem estudiat tres casos diferents d'introducció de la tecnologia de vapor en altres llocs per veure quines circumstàncies s'hi presentaven, els problemes que calgueren solucionar i les solucions que es donaren. Aquests casos són, en primer lloc l'aclimatació de la tecnologia de vapor a França amb la instal·lació de màquines de simple i doble efecte. En segon lloc, el projecte de la instal·lació de dues màquines de vapor a Cuba i finalment, els primers cassos d'aclimatació de la tecnologia de vapor en els Països Baixos.

En aquest capítol es parlarà de cinc tipus de tecnologia de vapor, que cronològicament segueixen la següent seqüència: Savery, Newcomen, màquina de Watt de simple efecte, màquina de Watt de doble efecte i màquina d'alta pressió de Betancourt. Aquesta seqüència va de menor a major complexitat, però també de menor a major eficiència i fiabilitat. Per entendre el funcionament de les màquines de vapor sota aquestes tecnologies remetem el lector al capítol 4 d'aquesta tesi.

Els primers impulsors que aconseguiren construir màquines de vapor suficientment eficients per començar la seva comercialització foren del Regne Unit. En aquesta tesi hem buscat la historiografia referent a com es va establir la tecnologia del vapor en altres llocs fora del Regne Unit. La màquina que va dissenyar i construir Santponç va ser de doble efecte, així que ens hem centrat més en aquest tipus de tecnologia i en els problemes que presentava. Tot i això, començarem descrivint com es va donar la construcció a París de dues màquines de vapor de simple efecte amb condensador separat. La instal·lació d'aquestes dues màquines es va donar sota unes circumstàncies que ens permeten entendre el moment tecnològic que es vivia en aquell moment. Hem pogut indagar en les circumstàncies que facilitaren la transmissió tecnològica i com aquesta instal·lació va afavorir la posterior transmissió a París de la tecnologia de vapor de doble efecte, que seria la que arribaria a Barcelona de la mà de Santponç. Maniobrar i treballar amb una màquina de vapor de doble efecte va ser un repte més difícil, ja que el número de vàlvules que entraven en joc era major que per a la de simple efecte.

També ens fixarem en casos de transferència de tecnologia Newcomen, anterior a la de Watt i considerada antiga pel mateix Santponç, les circumstàncies d'aquests casos també ens ajuden a definir les condicions favorables a l'aclimatació de la tecnologia de vapor en nous llocs.

#### **3.1 REGNE UNIT; BRESSOL DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR.**

James Watt (1736 – 1819) va concebre el condensador fora del cilindre en 1765, obtenint la primera patent per aquesta disposició el 1769. Amb aquest disseny de màquina de vapor s'aconseguia una reducció del consum de carbó d'un 25%. Juntament amb el seu primer soci John Roebuck (1718 – 1794) van començar a comercialitzar màquines de vapor amb condensador separat al Regne Unit. A finals de 1776, quan Watt ja estava associat amb Matthew Boulton (1729 – 1809) començaren les comandes d'aquest tipus de màquines per a les mines de Cornouailles. A l'any següent s'iniciaren les negociacions amb els francesos que també estaven interessats en aquest tipus de màquines de vapor. L'empresa francesa que va començar les negociacions era la Compagnie des eaux de Paris i l'encarregat del tracte va ser Jacques-Constantin Périer (1742 – 1818), del que hem parlat. L'empresa va ser creada en 1778 per Jacques-Constantin Périer assistit



pel seu germà Augustin per proveir d'aigua la ciutat de París. Jacques-Constantin, qui era enginyer, ja havia dissenyat i instal·lat bombes d'aigua per pujar de nivell l'aigua del riu Sena i distribuir-la per la ciutat. Aquests dos germans provenien d'una família de gran influència i altres dels seus germans van ocupar càrrecs d'alt nivell en la societat francesa. Una de les preocupacions de Watt era que, en adquirir una d'aquestes màquines, els francesos comprendrien el mecanisme del condensador, i es revelaria la tecnologia del seu funcionament. Però va considerar que no serien capaços de fer cilindres de suficient qualitat. Aquesta reflexió, expressada en la correspondència de Watt, indica que un dels elements que calia confeccionar amb molta cura era el cilindre. La dificultat en la construcció del cilindre va ser resolta per John Wilkinson (1728 – 1808) qui, en 1774, va aconseguir una patent per un nou mètode que permetia ajustar amb exactitud els cilindres. Wilkinson va construir, en exclusiva, els cilindres de les màquines de Watt fins l'any 1795. La seva precisió en la construcció dels cilindres va permetre a Watt desenvolupar la tecnologia de les màquines de vapor (Payen, 1969, 101-106). Gràcies a aquesta precisió desenvolupada a l'empresa de Wilkinson, l'ajust entre el cilindre i el pistó es va poder fer molt millor i Watt va poder resoldre aquest problema tècnic com explica en la seva correspondència privada (Dickinson; Jenkins, 1989, 95, 104 – 111)

L'empresa de Watt i Boulton va ser creada el 1775 sota el nom Boulton and Watt Company. Va ser Boulton qui, prèviament, va iniciar el negoci començant a construir la fàbrica el 1761. Per començar el negoci de sivelles, botons i petites eines metàl·liques, Boulton va triar un camp situat a gairebé dues milles de Birmingham anomenat Soho Hill. Allí es va organitzar un projecte d'envergadura; es van agrupar instal·lacions i tècniques de tota mena a càrrec d'una gestió global, amb una organització més racional del treball, fomentant la innovació tècnica i la unitat en la publicitat i control de vendes. Així, el cost de producció es va reduir dràsticament, augmentant els beneficis i expandint el mercat més enllà de les fronteres d'Anglaterra. Es pot considerar Soho com un prototip de fàbrica moderna amb la gestió centralitzada i fabricació en cadena (Jones, 2008, 53 – 55), (Gouzévitch, 2018, 89) .

La ciutat de Birmingham estava ubicada a una regió rica en carbó on, a partir de la segona meitat del segle XVIII, estava produint-se un augment de la població molt acusat, i una demanda de maquinària bàsica procedent dels emprenedors que estaven obrint el subsòl per explotar les matèries primeres. Aquestes circumstàncies, suficientment avantatjoses de per si, van ser afavorides per la construcció d'una xarxa de canals que va permetre el transport de mercaderies i l'abaratiment de costos (Jones, 2008, 22 – 31). A final dels segle XVIII la ciutat de Birmingham, i els seus voltants, va ser considerada pels contemporanis com la primera ciutat productora de mercaderies metàl·liques des d'on s'abastia de maquinària a gran part del món. Cal també remarcar que les habilitats tècniques i inventives eren reeixides, fet que es comprova en el rècord de patents provinents de ciutadans de Birmingham que es van registrar entre 1760 i 1850<sup>18</sup>. També és significant que a viatgers britànics de visita a París i altres capitals europees els cridava l'atenció la divisió de les feines entre artesans que impedia que, fins i tot tenint la tècnica i les habilitats adients, es pogués donar una organització del treball en fàbriques per unificar objectius i minimitzar costos com es feia a Birmingham (Jones, 2008, 37-39). Al 1765 els edificis construïts a Soho atreïen l'atenció de molta gent tant per la seva sumptuositat com per l'organització del treball. El 1774 la primera màquina de vapor hi va ser instal·lada, la seva funció era bombejar aigua per fer funcionar dotze rodes hidràuliques que posaven en funcionament la seva maquinària. Es van construir també apartaments per les famílies que hi treballaven i van anar construint-se més edificis fins constituir un complex manufacturer que al 1790 va ser descrit com una petita ciutat. Aquest

---

<sup>18</sup> Consulteu figura de la pàgina 41 de Jones, 2008.

mateix any hi va haver a Soho un punt d'inflexió quan Boulton i Watt remodelaren el negoci per a incloure els seus fills majors; decidiren construir una foneria d'enginyeria pesada a prop del canal i separada de la resta d'edificis. Aquesta foneria es va dedicar a la construcció de màquines de vapor amb una tecnologia basada en dissenys i creacions pròpies (Jones, 2008, 53 – 55). La quantitat de màquines de vapor fabricades en 25 anys de col·laboració (1775 – 1800) s'eleva a 500 de les quals un terç van ser de simple efecte, la resta d'efecte doble (Gouzévitch, 2018, 90). Cal notar que, com veurem en els propers paràgrafs, els germans Périer tingueren el mateix propòsit de construcció de màquines de vapor a la seva foneria de Chaillot, tot i que amb la tecnologia de vapor desenvolupada a Soho.

### **3.2 ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A FRANÇA: LA MÀQUINA DE SIMPLE EFECTE AMB CONDENSADOR SEPARAT DEL CILINDRE.**

En aquest apartat anem a relatar els principals fets i protagonistes que van fer possible l'aclimatació de la tecnologia de la màquina de vapor d'efecte simple i condensador separat del cilindre a París. En el cas de França, foren els germans Périer qui contractaren Watt i Boulton per instal·lar a París dues màquines de simple efecte amb condensador separat per subministrar amb aigua el barri Chaillot de París. Des de 1774 els germans Périer tingueren la protecció de la casa d'Orleans que recolzaren les seves grans iniciatives empresarials. Per subministrar aigua a uns dels barris de París, es va dissenyar un projecte que va requerir de la constitució d'una empresa que s'anomenà: Compagnie des eaux de Paris. Aquesta empresa va obtenir l'aprovació del Bureau de la Ville el 1776. Aquest projecte, molt ambiciós, va requerir que els germans Périer es comprometessin, encara més, amb el coneixement de la tecnologia del vapor. En aquell moment Anglaterra era el lloc de desenvolupament d'aquesta tecnologia sense competidors en la matèria. Els germans Périer, i en particular Jacques-Constantin, van participar de manera molt activa i gairebé constant en les proves dels vaixells de vapor realitzades entre 1772 i 1783 per Joseph d'Auxiron i Claude Jouffroy d'Abbans. Entre 1773 i 1774, Constantin va arribar a dissenyar i construir el seu propi vaixell de vapor, les proves del qual el 1775 van acabar amb un fracàs. No tenim cap dubte que aquesta implicació va suposar un aprenentatge molt profund per Jacques-Constantin ampliant els límits de les seves habilitats tècniques, i també afavorint una interiorització dels problemes que no va poder resoldre.

Entre 1776 i 1779, just un any després del desencís amb els vaixells de vapor, Jacques-Constantin Périer va viatjar a Anglaterra en diverses ocasions. El viatge que va fer l'any 1776 va ser per encarregar tuberes de ferro fos molt resistents que les foneries franceses no podien proporcionar. Jacques-Constantin Périer es va dirigir a John Wilkinson per aquest encàrrec i en els successius viatges a Anglaterra va descobrir els enormes beneficis econòmics de la màquina de Watt amb el condensador separat del cilindre. Com que Watt i Boulton obtingueren el privilegi de construcció exclusiva a França de la seva màquina a l'any 1778, els Périer hagueren de fer el tracte amb ells, amb un acord que tancaren en febrer de 1779 (Gouzévitch, 2018, 84 – 85).

El negoci de Watt i Boulton no consistia exactament en vendre màquines de vapor, el que venien era un permís per construir i utilitzar la màquina durant 15 anys. Preparaven tots els plànols, ajustats a les necessitats del client, amb totes les instruccions del muntatge per escrit. Dirigien l'execució de les peces, i treballs de foneria que només podien fer-se a Anglaterra. En el cas de la implantació d'aquest tipus de tecnologia a França, van arribar a un acord amb la Compagnie des eaux de Paris per instal·lar dues màquines de vapor a Chaillot que quedaren enllestides el 1780.

Com que la finalitat de les màquines era distribuir aigua per un gran nombre de cases particulars, aquestes màquines de vapor es dissenyaren per accionar bombes d'aigua de 28 polsades. La Compagnie des eaux de Paris garantia que l'aigua arribés a la planta baixa de la casa dels seus accionistes. És conegut que alguns dels components de les màquines foren construïts a França, a la foneria que els germans Périer tenien a Chaillot. També se sap que per fer els cilindres de les màquines, Watt i Boulton contractaren, com era habitual, a Wilkinson, qui era l'especialista en trepants d'aquella època. Wilkinson va fabricar també els mecanismes de distribució del vapor pels elements de la màquina i les tuberes de conducció de l'aigua i vapor.

La construcció de dues màquines amb condensador separat a París va ser un projecte que va requerir una forta inversió de capital que es va aconseguir amb la venda de 1.200 accions de la companyia i unes complicades negociacions pel preu final del projecte. Una dada que mostra l'esforç econòmic que va requerir va ser que l'any 1782, després que les màquines es possessin en funcionament, els germans Périer posaren a la venda més accions per poder fer front a les despeses generades. Aquest mateix any comissaris de l'Académie des Sciences de Paris examinaren les màquines que només pogueren arribar a 4 impulsos per minut, també hi va acudir el rei de França en companyia dels comissaris. Treballant sobre les màquines, i superats els nervis inicials, les màquines arribaren a 9 o 10 impulsos per minut. Quan les màquines deixaren de funcionar, en l'any 1850, la mitjana d'impulsos era de 9 per minut. Les dues màquines tenien 63 polsades de diàmetre en el cilindre i 9 peus de recorregut de pistó (Payen, 1965, 110 – 130).

Els germans Périer van obtenir, doncs, una gran victòria amb la instal·lació de les dues màquines de vapor a Chaillot; en aquest projecte van aprendre aquesta tecnologia i començaren a fabricar ells mateixos aquestes màquines als tallers de la foneria que dirigien a Chaillot, en uns terrenys de la Compagnie des eaux. Així doncs, les pors de James Watt no trigaren gaire temps a materialitzar-se i l'any 1788 els germans Périer construïren una màquina vapor amb condensador separat als seus tallers. Aquesta màquina va ser utilitzada per distribuir aigua a altre barri de París: Gros – Caillou, saltant-se el privilegi que França havia concedit a Watt i Boulton per la construcció de màquines de vapor amb condensador separat del cilindre. Als tallers de Chaillot hi estaven instal·lades una gran varietat de màquines i hi funcionaven quatre forns de reverberació que, segons Payen, era una tècnica poc coneguda a França. El treball de construcció d'una màquina de vapor exigia tota classe de coneixements en una època en què la mecànica estava poc desenvolupada. A part que a França no es coneixia la reverberació o l'ús de carcasses de ferro per a fer motlles, tampoc es dominava la foneria en sorra per a peces grans i l'escalfament amb carbó no arribava a temperatures suficientment altes per a certs processos (Payen, 1965, 107-139). Però a França hi va haver un lloc, del que parlarem en el següent paràgraf, on totes aquestes tècniques van ser introduïdes amb antelació: Indret.

L'any 1777, deu anys abans que els germans Périer començaren a construir màquines de vapor pel seu compte, es va instal·lar una foneria a l'illa d'Indret, al riu Loira. Aquesta foneria va ser un lloc d'innovació industrial on es construïren canons per la Marina Reial francesa. Considerem que van portar endavant unes tècniques mecàniques molt avançades que necessàriament van contribuir a que en França s'assentessin uns coneixements i uns processos que facilitaren la posterior construcció de màquines de vapor. França va aconseguir contractar William Wilkinson, germà de John Wilkinson, qui construïa els cilindres per les màquines de Watt en exclusiva i gran coneixedor de les tècniques de perforació de metall. William Wilkinson va instal·lar a l'illa d'Indret, entre 1777 i 1778, una foneria de segona fusió amb un forn de reverberació i motllura de sorra. Es va notar la influència britànica amb la instal·lació d'unes vies metàl·liques per transportar els canons des de la foneria fins al lloc per foradar els canons, que distaven més d'un kilòmetre. Per millorar la

tècnica de trempat, es substituïren els engranatges de fusta per engranatges metàl·lics en les màquines de foradar canons. Per fer anar les màquines del complex metal·lúrgic de l'illa d'Indret es va construir una gran presa d'aigua que accionava, pel principi de les marees, dues rodes que feien anar quatre trepants de perforació de canons. Tot i que es produïen nombroses avaries mecàniques i el seu funcionament depenia del nivell d'aigua de l'embassament, aquest enginy va perdurar fins 1828, any en què l'establiment va ser transformat per construir màquines de vapor per a la Marina. El perfeccionament de les màquines de foradar canons va ocupar un lloc important en la mecanització de la metal·lúrgia; no només perquè la producció de canons era estratègica, sinó perquè dominar la tècnica de perforació de canons sòlids va suposar un repte tecnològic que va fer avançar la mecànica (Bret, 2009, 53 – 59). Es coneix molt bé que al complex manufacturer d'Indret es va construir la primera perforadora de canons impulsada per una màquina de vapor a França; l'acceptació d'aquest projecte es va signar el 1785 i tres anys després, el 1788, set trepants més, a part dels hidràulics, estaven en funcionament en Indret impulsats per la força del vapor. Aquest últim projecte va sorgir de l'associació d'Ignace de Wendel (1741 – 1795) i Jacques-Constantin Périer que constituïren, junt a Wilkinson i altres, una societat amb la que proveïren, a l'any 1787, màquines de rotació impulsades per màquines de vapor d'efecte simple (Bret, 2009, 60 – 62). Així va ser com es van establir les estretes relacions entre Indret i la fàbrica dels germans Périer a Chaillot. Aquesta associació va facilitar la circulació de coneixement i processos que es posaren en pràctica el taller de Chaillot dels germans Périer. Aquesta circulació de coneixements tècnics va permetre dotar la foneria dels germans Périer d'unes tècniques necessàries per la construcció de màquines de vapor.

La descripció del context en el que es va donar a França la aclimatació de la màquina de vapor d'efecte simple amb condensador separat del cilindre dóna idea de la quantitat de circulació de coneixements que va ser fomentada pels experts en els llocs de fabricació mecànica on s'aplicaven les últimes tècniques. Així va ser com la foneria de Chaillot va ser proveïda de tot tipus de tallers: tallers de martinet, màquines per tallar, tallers de fusteria, caldereria, fontaneria, marqueteria, màquines perforadores en horitzontal i vertical. Les descripcions d'aquest gran taller per part de viatgers de l'època expliquen que es feien 5.000 processos de fusió en tres hores, i es fabricaven cilindres de màquines de vapor de 0,67 m de diàmetre fins a 2 m arribant a longituds de 2,60 m fins a 3,25 m. Es construïren més de 100 màquines de vapor, tant de simple efecte com de doble efecte, multitud de màquines hidràuliques, talladores de gran potència, es feien tuberes de plom, màquines per fer reblons. Hi havia màquines que calibraven cilindres de bombes de vapor i es va crear una escola d'obrers. A una de les descripcions de viatgers de l'any 1787 s'explica que les màquines del taller eren mogudes per una petita màquina de vapor que elevava suficient aigua per fer anar tres rodes hidràuliques que posaven en moviment els martinets, els torns i una màquina de foradar tubs de fusta amb un ajust i velocitat extraordinàries (Payen, 1965, 138 – 139). Definitivament, James Watt va subestimar el coneixement de mecànica dels germans Périer i el seu potencial per aprendre i fomentar la circulació de saber fer, quan va considerar que seria difícil que poguessin fer un cilindre de precisió suficient per poder construir amb èxit una màquina de vapor amb el condensador separat. Watt i Boulton, allotjats a París, el 1787, per invitació del govern francès, van visitar les instal·lacions de Chaillot i van haver d'enfrontar-se als fets; segons James Watt escriu a una carta, els germans Périer havien aconseguit una "fabricació còmoda i magnífica on es realitzaven totes les peces molt bé" (Gouzévitch, 2018, 85).

Per situar en el seu context la foneria dels germans Périer cal reflexionar sobre com van ser fomentades i implantades les tècniques mecàniques més innovadores a França. Per al cas de les tècniques mecàniques necessàries per construir una màquina de vapor, i segons el mateix Watt

defenia, el cilindre de la màquina era una peça que requeria de molta precisió. Un dels impulsors de les innovacions mecàniques a França, va ser Jean Maritz fill (1711 – 1790) qui va introduir, en no menys de 40 foneries, innovacions com la foneria en motllos de sorra<sup>19</sup>, acoblament de manxes hidràuliques a alts forns i vàries innovacions en un sector estratègic: la perforació de canons que requeria de molta precisió. Jean Maritz va instal·lar màquines per barrinar canons en sòlid. En aquestes màquines era el canó el que girava sobre ell mateix, de forma que s'apropava al trepant horitzontalment. Amb aquesta tècnica s'aconseguia major precisió i es disminuïa considerablement el número de canons que calia rebutjar per defectuosos. Aquest treball de perforació de canons es veia facilitat per la cavitat, somerament formada al canó gràcies a foneria amb mascles. Va ser Maritz qui va equipar la foneria d'Indret per a la producció de canons de ferro el 1778. Tot i que la perforació de canons era un treball mecànic diferent a la construcció d'un cilindre per una màquina de vapor, amb unes característiques del producte final diferents, l'assimilació de tècniques cada vegada més precises en foneries i tallers afavorien i feien possible la construcció de cilindres cada vegada més precisos. És conegut que Maritz va equipar Barcelona (1754 – 1756) i Sevilla (1772 – 1773) amb la nova tècnica de perforació de canons, sota les especials circumstàncies **de proximitat** entre la monarquia borbònica espanyola i la francesa. Els coneixedors de les tècniques més innovadores sembraven el fruit per poder continuar el desenvolupament mecànic, tot i que l'èxit de la implantació de les innovacions tècniques va ser desigual entre països o entre un establiment i altre (Bret, 2009, 54 – 57).

Tot i aquest context construït amb gran determinació per una gran quantitat d'experts i tècnics, els problemes, a vegades, eren generats per situacions polítiques o socials. L'any 1788, després de diverses especulacions, en un turbulent clima polític, la Compagnie des eaux va fer fallida, passant a mans del rei. Els germans Périer van ser destituïts de les seves funcions com a directors i van ser privats de la important pensió que tenien assignada. Els tallers de Chaillot, tot i ser un establiment totalment autònom de la companyia en fallida, van patir serioses conseqüències amb la requisició de bens.

### 3.3 VINCLES ENTRE FRANÇA I L'ESTAT ESPANYOL.

Hi ha dos nexes d'unió entre la foneria d'Indret i la corona espanyola. En primer lloc, com ja hem nomenat, el procediment per la fabricació de canons de Maritz va ser implantat per ell mateix a Barcelona i Sevilla (d'aquesta part en parlarem en els següents paràgrafs). El segon nexa d'unió té com a protagonista l'enginyer espanyol Agustín de Betancourt i la seva constant recerca de coneixement tècnic. El nexa d'unió és un àlbum que Betancourt va regalar al Rei d'Espanya Carles IV l'any 1791 on es descriu la foneria d'Indret amb 49 làmines a color molt detallades de les màquines que hi funcionaven i una descripció de les instal·lacions d'Indret amb 45 pàgines manuscrites. Betancourt va visitar Indret a final del segle XVIII, en un moment en què el sistema de perforació de canons de Maritz estava força generalitzat en diversos països a Europa, així com també a Barcelona i Sevilla. Però els resultats d'aquesta tècnica eren molt desiguals d'un establiment a altre i d'un tipus de metal·lúrgia a altre. En les Reales Fundiciones de Liérganes y la Cavada, a Cantabria, un 82% dels canons de ferro produïts eren defectuosos; així que resoldre el persistent problema de la producció de canons va poder motivar Betancourt a interessar-se per Indret, a part de les moltes innovacions tècniques que allí tenien lloc. Quan Betancourt va visitar Indret l'any 1788, en una carta privada va expressar que el que li va cridar més l'atenció va ser una

---

<sup>19</sup> La foneria amb mascles, coneguda en francès com font au noyau, en anglès com coremaking i en castellà com macheria, va suposar un salt tecnològic en permetre la construcció de motllos que donaven lloc a unes peces amb parts còncaues més profundes. En general, peces amb major complicació tècnica.

grua en forma de trípod que llençava des d'una altura considerable canons de rebuig per desballestar-los; també va atraure la seva atenció la foneria hidràulica, així com la innovadora foneria de vapor i una màquina que obria els forns. Com que la realització d'un àlbum tan detallat suposava el treball de varies setmanes i un estudi de mesos, tot indica que aquest àlbum no va poder ser fet per Betancourt, que va estar un matí visitant Indret, segons ell mateix explica a la correspondència. Irina Gouzévitch conclou que aquest àlbum va ser una donació de cortesia a Betancourt per haver aportat a França la principal innovació industrial d'aquell període: la màquina de vapor de doble efecte, una tecnologia que és la que ens interessa per aquesta tesi per ser la que va utilitzar Santponç en la seva màquina. Amb tot l'afer de l'àlbum emergeix el dubte de perquè França va donar uns documents de tanta importància estratègica a un enginyer estranger. Es pot considerar que aquesta donació es va realitzar després de valorar que un projecte tan gran, car i que presentava tantes dificultats, com el de les instal·lacions d'Indret, no podia transferir-se a Espanya només amb aquestes làmines. També cal aclarir que Indret s'enfrontava a problemes realment difícils de resoldre com ara aconseguir matèries primeres de suficient qualitat per a la construcció de canons. Aquest problema es va intentar solucionar amb la reunió dels millors experts químics i metal·lúrgics, com Gaspard Monge, Claude-Louis Berthollet, Alexandre Vandermode, Antoine Lavoisier, Antoine Forcroy o Guyton de Morveau. Hi ha correspondència de l'any 1789 entre alguns d'aquest experts de primera línia sobre mostres de material per a la foneria d'Indret per fer canons. Tot i que es considera Indret com un complex de producció metal·lúrgica d'èxit en el que tingueren lloc moltes innovacions, les esperances sobre la qualitat de producció d'Indret que tenien els seus administradors i els governants no foren complertes. Amb aquesta valoració insatisfactòria de la producció de les instal·lacions d'Indret, es comprèn el gran esforç que suposava l'avanç en la tecnologia i la metal·lúrgia i com era de difícil assolir els objectius (Bret, 2009, 63 – 66).

Per la nostra investigació és interessant el cas de la difusió, per l'estat espanyol, de les tècniques mecàniques que va promoure Jean Maritz perquè podem situar a Barcelona la instal·lació de dues màquines de perforar canons a les Drassanes de Barcelona. En la dècada del 1760 començà el trasllat de l'antiga foneria de la Rambla a les Drassanes per a la millora de les la foneria de bronze que era molt deficient en aquell moment. El bronze, com al·ligació de coure i estany, s'havia imposat per a la fabricació de canons en ser més fàcil de treballar i sense presentar els problemes d'oxidació del ferro. A les Drassanes havien deixat de produir-se vaixells a la dècada de 1740 i el trasllat allí de la foneria de les Rambles proporcionava un major espai i més seguretat. Jean Maritz va arribar amb un equip de tècnics per dissenyar una foneria a les Drassanes de nivell tècnic paregut a les de França. Maritz era Inspecteur General de toutes les Forges de l'Artillerie de Terre et de Marine a França. El 1766 es va construir un forn de reverberació a les Drassanes i les màquines de barrinar i tornejar es posaren en funcionament el 1767. Aquestes millores tecnològiques a la ciutat fomentaren uns treballs tècnics que quedaren reflectits en la descripció de viatgers que visitaren la ciutat com Peyron, Townsend i Young que mencionaren i descrigueren el taller de foneria de les Drassanes, en el que, fins i tot en guerra, treballaven 300 persones. Aquests testimonis avalen la qualitat i quantitat del canons que sortien de la foneria, la moderna maquinària de la que es disposava i el gran nombre de personal tècnic i obrer que hi treballava (Segovia, 2008, 63 – 80). El trasllat de la foneria i les millores tecnològiques van fomentar el treball directe i indirecte beneficiant el comerç de matèries primeres i convertint les Drassanes en un complex industrial per a la fosa i construcció de canons amb una producció elevada. Segons explica el baró de Maldà en agost de 1778 es feren proves de qualitat a més de 100 canons que s'enviaren a Màlaga junt a 22 obusos. A més, a les Drassanes hi havia un taller gran de fargues i altre petit que es remodelaren completament sota la direcció de Maritz amb ordre d'execució d'aquestes obres l'any 1774. També se sap que al 1776 es van fer obres de remodelació dels forns de la foneria, que

requerien d'una forta actuació de manteniment, sota les ordres, novament, de Maritz (Segovia, 2008, 70 – 76).

A partir de la segona part del segle XVIII les Drassanes de Barcelona van ser, doncs, un lloc de producció industrial que tenia com a precedent l'antiga foneria de la Rambla, que havia sigut una instal·lació fabril, existent des del segle XV, dedicada a la fabricació de peces d'artilleria. La foneria de la Rambla va ser una dependència municipal fins al 1652, quan, després de la guerra dels Segadors, va passar a dependre de la Corona. A partir d'aquell moment va adquirir el nom de Reial foneria i va funcionar amb bon rendiment, gràcies a la capacitat dels seus dos forns de foneria i els dos d'afinament. Quan va ser traslladada a les Drassanes, tot i que es disposava de molt d'espai i els processos tècnics de fosa, taller de motlles i modelatge funcionaven a ple rendiment, la Reial Foneria de la Rambla va continuar fent els processos d'afinament; el 1775 encara es refinaven les matèries primeres allí (Segovia, 2008, 70). Donat que la foneria instal·lada a les Drassanes estava dissenyada per a arribar al nivell tècnic de les foneries de França podem dir que era el lloc on s'estaven aplicant les tècniques mecàniques més novadores de l'època a Barcelona. Però només s'hi produïen canons, peces d'artilleria i carruatges, no consten activitats de construcció de cap altre tipus de màquines. Santponç no va explicar a la seva memòria on es van construir les peces de la màquina de vapor, però de ben segur que tota la expertesa que necessitava la producció de canons a les Drassanes de Barcelona va afavorir que a la ciutat hi hagués el coneixement d'uns procediments mecànics necessaris per la construcció de les peces de la màquina de vapor. Hem d'assenyalar que una ordenança de 1802, abans que Santponç comencés a construir la seva màquina de vapor, dictaminava que la foneria de les Drassanes havia de ser tancada, traslladant tota la fosa de canons de bronze a Sevilla. Les fargues, per contra, continuarien funcionant fins a principis del segle XX. Tot i aquest trasllat, ha quedat constància que la foneria de les Drassanes va continuar funcionant de forma puntual, per exemple en 1808 per causa de la necessitat d'artilleria per la Guerra del Francès (Segovia, 2008, 25).

### **3.4 ACLIMATACIÓ DE LA TECNOLOGIA DE VAPOR A ANGLATERRA: ALBION MILLS.**

Fins aquí hem fet una descripció de la situació de desenvolupament tecnològic que es vivia a Anglaterra, a França i a Barcelona en el temps en què es va produir la difusió i aclimatació de la tecnologia de vapor de doble efecte que va ser l'elegida per Santponç per construir la seva màquina de vapor. Els tres escenaris eren molt diferents: per un costat Anglaterra va ser el lloc on els artífexs de la tecnologia de vapor la van desenvolupar i promoure amb la finalitat de comerciar amb ella. Allí va evolucionar la tecnologia de vapor des de Savery a Newcomen fins arribar a Watt. El complex industrial metal·lúrgic de Soho a Birmingham va ser on aquesta tecnologia va ser ideada en un entorn industrial dotat de matèries primeres i infraestructura per al transport de mercaderies.

El segon escenari que hem estudiat és França, i ens interessa per ser el lloc on es va aclimatar la tecnologia produïda a Soho. L'aclimatació de la màquina de vapor d'efecte simple a França es va donar a París de la mà dels germans Périer que contractaren els serveis de Boulton i Watt per instal·lar a París dues màquines de simple efecte amb condensador separat. Jacques-Constantin Périer era enginyer i tenia experiència en la construcció de maquinaria en la foneria que tenien a Chaillot. Aquesta foneria tenia lligams empresarials amb la foneria de l'illa d'Indret, de la Marina Francesa, on es posaven en pràctica les tècniques més avançades de metal·lúrgia. Amb aquest

context de circulació de coneixements els germans P erier no trigaren en començar a fabricar m aquines de vapor sense respectar el privilegi de construcció que Watt tenia del govern francès.

El tercer escenari que hem descrit correspon a Barcelona, la ciutat on Santponç va construir la seva m quina de vapor. A Barcelona hi havia la foneria de les Drassanes, on es constru ien canons. Com ja hem dit, la foneria de les Drassanes va ser dissenyada per Jean Maritz, amb un sistema innovador per la perforació de canons. Maritz va ser qui va instal lar el mateix sistema a Indret anys abans; les tècniques més innovadores per la perforació de canons requerien del desenvolupament de les tècniques metal rgiques, per tant, la circulació d'aquestes tècniques estava donant-se també a Barcelona. A la foneria de les Drassanes de Barcelona no hi havia empreses dedicades a la producció de maquinaria o processos de foneria amb finalitats comercials de la magnitud de les que hi havia a Anglaterra o França. En el cas d'Anglaterra amb el complex manufacturer de Soho i en el cas de França amb la foneria de Chaillot on es va consolidar una gran varietat de tecnologia innovadora i processos tècnics. Podem concloure aquí que, entre París i Barcelona, l'escenari més desfavorable a la climatització de la m quina de vapor de doble efecte era el de Barcelona, que patia un retard respecte la posada en pr ctica dels processos industrials que Anglaterra i França estaven portant endavant.

Albion Mills va ser una gran instal laci  de molins de farina a la ciutat de Londres que va ser dissenyada per abastir els habitants d'aquesta ciutat que era, probablement, la ciutat més gran del món en aquella època, amb un milió d'habitants. Era l'any 1784 quan es va donar la oportunitat a Watt i Boulton de subministrar l'energia per moure els molins d'aquesta gran instal laci  amb la força del vapor. La tecnologia de vapor que van decidir instal lar va ser la de doble efecte, mitjançant dues màquines d'aquest tipus que serien construïdes a Soho. Es considera que Albion Mills va ser la major instal laci  de molins mai construïda a l'època i dotada d'una sèrie d'innovacions de gran futur en el món de la mec nica, com ara l'extensió de l'aplicació del vapor a moltes operacions abans només manuals, com la pujada i baixada del gra de blat i el seu processament sacsejant-lo i garbejant-lo. També es van substituir els engranatges de fusta per met l lics i es va aplicar el regulador de velocitat a la m quina de vapor. Aquesta instal laci  estava construïda a la vora del riu Tàmesi i les seves aigües entraven a dintre de les seves instal lacions facilitant l'ingrés de matèria primera i la comercialització de la farina. Molta gent, curiosos i entesos en mec nica van visitar aquest molins tot i les protestes de Watt que volia preservar en secret els mecanismes que desenvolupava. Els recels de Watt van aconseguir que no es permetés l'accés a estrangers; tot i aix  alguns experts en mec nica de fora d'Anglaterra pogueren accedir a les seves instal lacions. Per entendre les dificultats d'un projecte com aquest, dotat de la tecnologia més nova en l'època, cal dir que des de la seva obertura l'any 1786 no va complir les expectatives dels associats de l'empresa que esperaven que el rendiment hagués estat de 15 vegades el d'un molí normal. Esperaven moure 30 rodes de molí, però només van arribar a moure'n entre 6 i 10. La curta existència d'aquestes instal lacions va acabar el 1791 en un incendi, sense tenir temps per superar totes les dificultats tècniques que es van presentar i fer realment rendible el negoci. No obstant això, es va guanyar una oportunitat per provar la innegable eficàcia de l'aplicació del vapor a la indústria de la m lta de cereals (Gouzévitch, 2018, 91-93).

El secret de la m quina de doble efecte va ser desvetllat a partir d'una visita a Albion Mills que va fer el nostre següent protagonista: Agustín de Betancourt. Amb aquest episodi històric, molt estudiat per diversos historiadors, pretenem fixar-nos en la preparació t cnica de Betancourt i els mitjans de què disposava per aconseguir entendre el mecanisme de la m quina de vapor de doble efecte. Va ser Betancourt qui va poder fer difusió d'aquest coneixement tècnic per poder aplicar-lo de forma pr ctica. En els següents paràgrafs anem a explicar com es va portar endavant la



instal·lació de màquines de vapor tipus Newcomen en Cartagena. Alguns dels protagonistes que intervingueren en la instal·lació d'aquestes màquines tenien relació amb els llocs d'estudis de Agustín de Betancourt. També relatarem la participació de Betancourt amb la redacció d'unes memòries que valoraven les condicions d'explotació de les mines d'Almadén en les que es va instal·lar una màquina de vapor de simple efecte amb condensador separat. I finalment, relatarem com es va desenvolupar el projecte de la instal·lació de, en principi, dues màquines de vapor en Cuba per la producció de canya de sucre. El relat dels fets que presentem a continuació té l'objectiu de poder valorar millor el projecte tècnic de Santponç.

En els següents paràgrafs descriurem com es va produir el procés d'aclimatació de la màquina de doble efecte en diversos espais fora d'Anglaterra. Parlarem ara de les contribucions de nous personatges com Agustín de Betancourt, Gaspard Riche de Prony, Rinze Lieuwe Brouwer i Francesc Santponç, i d'altres ja coneguts com els germans Périer. Referirem nou llocs com l'illa de Cygnes a Paris, Cuba, els Països Baixos i la fàbrica de filatures de Jacint Ramon a Barcelona.

### **3.5 ORIGEN I PRIMERS ESTUDIS D'AGUSTÍN DE BETANCOURT I MOLINA.**

Agustín de Betancourt i Molina (1758 – 1824) va néixer a l'illa de Tenerife provinent d'una bona família de llarg llinatge molt arrelada a la història de l'arxipèlag. Com era costum allí, va estudiar als Dominics i als 20 anys va partir cap a la península per completar els estudis amb una beca de la Corona. Quan va marxar de Tenerife a Madrid, l'any 1778, ja tenia el grau militar de Tinent; entre les famílies de la noblesa una carrera militar accelerada era habitual per mantenir la seva classe social. En arribar a Madrid va començar a assistir als Reials Estudis de San Isidro i l'Acadèmia de Nobles Arts de San Fernando. En la primera institució s'impartia una formació general que incloïa matèries filosòfiques i humanistes (llengües, lògica, filosofia moral), aritmètica, geometria i altres matemàtiques a més de disciplines religioses i de dret. El nivell d'aquests estudis era intermedi entre un nivell primari i estudis superiors. L'Acadèmia de San Fernando seguia un programa de tres anys que incloïa pintura i dibuix, gravat, arquitectura, perspectiva i matemàtiques. Aquesta acadèmia ofería estudis en certa manera orientats a la indústria i estava, en aquell moment, sota la protecció del Comte de Floridablanca. Se sap que Betancourt va seguir les classes de dibuix de l'Acadèmia de San Fernando en les que va rebre molts elogis i alguns premis. Allà hi treballaven Diego i Celedonio Rostriaga, mestres en la construcció d'instruments científics. En el Gabinet de Física de l'Acadèmia de San Fernando Betancourt va poder observar els instruments que es guardaven per l'ensenyament. Quan Betancourt va arribar a Madrid, Diego Rostriaga (1713 – 1783) havia treballat sota la direcció de Jordi Joan per a la construcció de dues màquines de vapor tipus Newcomen per al drenatge dels dics de Cartagena. El disseny d'aquestes màquines el va fer Jordi Joan (1713 – 1773) i Rostriaga les va construir; Julian Sánchez Bort<sup>20</sup> es va encarregar de la seva instal·lació. La primera d'aquestes màquines va entrar en funcionament el 1773 al dic petit, amb 10 cops de pistó per minut i buidant d'aigua el dic en 24 hores, un treball que abans feien 330 homes consumint 100 quintars de fusta de rebuig. La segona màquina, instal·lada el 1774 al dic gran, era més potent amb 12 cops de pistó per minut (Helguera, 2005, 82 – 84) (Gouzévitch, 2018, 2 – 10). És important també conèixer que aquesta tecnologia va tenir continuïtat a Cartagena, ja que en els mesos següents alguns operaris van ser instruïts en el funcionament d'aquestes màquines. Entre aquests operaris, Antonio Delgado va mostrar una especial habilitat, fins a tal punt que, amb ajuda d'un nebot seu, va construir a Cartagena altres dos màquines de vapor tipus Newcomen més

---

<sup>20</sup> Per veure el plànol del disseny de Jordi Joan consulteu figura 1.17 de la pàgina 84 de Helguera (2005).

perfeccionades que començaren a funcionar el 1785. Aquests tècnics es van convertir en els majors especialistes en la construcció de màquines Newcomen a Espanya; en els últims anys del segle XVIII van construir màquines d'aquest tipus als arsenals del Ferrol i la Carraca, a Cadis, on funcionaren durant molt de temps<sup>21</sup> (Helguera, 2005, 84 – 85).

L'any 1783, quan feia 5 anys que Betancourt estava a Madrid, va rebre un encàrrec important. Per explotar les mines de plata de Sud-Amèrica es requeria mercuri i a les mines d'Almadén (Ciudad Real) hi havia gran quantitat de cinabri, mineral compostat principalment per mercuri. Com que l'extracció d'aquest mineral a Almadén no resultava eficient el comte de Floridablanca va enviar Tomás Pérez de Estala (1754 – 1827) per què inspeccionés el sistema d'evacuació d'aigua de les mines i fes un informe per millorar l'extracció del mineral. Pérez de Estala, natural d'Aragó, va ser un tècnic especialista en arts mecàniques per a les quals estava sobradament dotat. De la mateixa generació que Betancourt, Pérez de Estala va ser becat l'any 1778 per la Junta de Comerç de Barcelona per anar a França a aprendre mecànica. Allí va visitar centres de producció industrial com les mines de carbó de Fresnes on va aprendre la tecnologia del vapor aplicada a drenatge d'aigua. Va fabricar instruments i dispositius industrials de tota mena i va copiar els plànols de les noves màquines aprovades per la Acadèmia de Ciències de París. A més a més, va fer invents propis que foren elogiats pels especialistes. El cònsol espanyol de Le Havre, encarregat de supervisar els seus progressos, va passar un informe molt elogiós dels seus esforços. Pérez va sol·licitar de la Junta de Comerç de Barcelona poder continuar la seva formació a Anglaterra, però la Junta va declinar aquesta proposició al·legant falta de mitjans i les dificultats derivades de la guerra amb Anglaterra (Gouzévitch, 2018, 12 – 13)

Després d'inspeccionar les mines de Almadén, Pérez de Estala va ser molt crític amb les antiquades tècniques de drenatge que va observar-hi, qualificant-les d'obsoletes i proposant com a solució la màquina de vapor que va veure funcionar a Fresnes: una màquina de tipus Newcomen, tecnologia molt antiquada respecte els últims invents de James Watt. Tot i això, només necessitaria dos treballadors per al seu manteniment en lloc dels 20 empleats i 50 cavalls que s'empraven aleshores a Almadén per als treballs de drenatge. Però aquesta proposta segurament va resultar massa agosarada per a les autoritats oficials, tot i que aquesta tecnologia ja s'havia posat en funcionament, deu anys abans, per drenar aigua dels dics de l'arsenal de Cartagena. Abans de fer al·l' inversió, Floridablanca va preferir assegurar-se i va encomanar a Betancourt que visités les mines per elaborar un informe. Aquest va ser el seu primer treball professional i el va dividir en tres memòries: la primera, la dedicava als problemes de drenatge d'aigua que presentaven les mines; la segona tractava de l'extracció i transport del material; i la tercera, del procés de producció del mercuri. Betancourt va proposar mesures de millora del sistema de drenatge amb bombes hidràuliques i també millores en les màquines existents per extraure i transportar el mineral. Respecte el procés de producció de mercuri pur es va centrar en la construcció dels forns i els mètodes de rentat i embalatge. Va acompanyar les memòries amb inventaris de màquines, detallades descripcions i làmines amb plànols molt acurats de màquines. El seu mètode és rigorós, coherent i lògic, cenyint-se als fets extrets de l'estudi de documents i observacions personals i sorprèn com va poder un jove que no havia estudiat enginyeria de mines convertir-se en un expert en el procés en pocs mesos.

En opinió d'Irina Gouzévitch les propostes de Betancourt no foren innovadores i perpetuaven les tècniques tradicionals amb mesures pal·liatives per a mantenir l'equilibri del conjunt del sistema amb la mínima inversió. Els informes de Betancourt suposaven alleugerir de feina i problemes la

---

<sup>21</sup> Per veure els plànols d'aquestes màquines consulteu figura 1.18 de la pàgina 85 de Helguera (2005).

secretaria d'Estat, però, finalment, a causa del desastrós estat del drenatge de les mines, el sistema va col·lapsar (Gouzévitch, 2018, 10 – 15) . La inspecció d'Almadén i la redacció tan meticulosa de les tres memòries van ser un trampolí per a Betancourt, de manera que el va portar a un viatge d'estudis a París que serà determinant per revelar, finalment, la tecnologia de vapor de doble efecte que arribaria a mans de Santponç. Però abans de passar a analitzar aquest viatge, ens interessa reflexionar sobre com es va solucionar el problema de les mines d'Almadén.

Com ja hem dit, el sistema d'extracció de mineral d'Almadén va deixar de ser viable definitivament i el 1785, després de dos anys dels informes de Tomás Pérez i d'Agustín de Betancourt, José Gálvez, secretari d'Índies, va decidir que Tomás Pérez marxés a Anglaterra per gestionar l'adquisició de tres màquines de vapor per a Almadén. A principis de 1786 Pérez va arribar a Londres, i allí va contactar amb el gran expert en siderúrgia, Wilkinson, aconseguint visitar les seves fàbriques on va veure funcionar, per primera vegada, les màquines de simple efecte amb condensador separat, la fabricació de les quals, com ja hem dit, havia començat el 1775. Convençut dels avantatges que presentaven aquestes màquines front les de Newcomen, va fer un anàlisi comparatiu amb una memòria que va enviar a Gálvez el qual va donar el seu consentiment per comprar tres màquines d'aquesta tecnologia. Però Pérez no va contactar amb Watt i Boulton per sol·licitar els seus serveis sinó que Wilkinson el va convèncer perquè fos ell mateix qui portés endavant el projecte. Wilkinson havia construït prop de trenta màquines “il·legals” per a les seves fàbriques i també per vendre-les a Anglaterra i a l'estranger. A més de participar en una activitat il·legal que no respectava les patents de construcció de James Watt, Wilkinson no oferia cap servei d'assistència tècnica per a la instal·lació i muntatge de les màquines, servei que la empresa de Boulton i Watt sí que oferia. Aquesta circumstància va endarrerir el projecte enormement. A sobre de tot això, com explicarem en els propers paràgrafs, la tecnologia de vapor de doble efecte va ser comercialitzada a partir de l'any 1777, per tant, la màquina que s'encarregà a Wilkinson no era la capdavantera (Helguera, 2005, 84 – 85) .

El procés d'instal·lació de les tres màquines de simple efecte amb condensador separat a les mines d'Almadén va començar l'any 1786, moment en què les fàbriques de Wilkinson ja les tenia enllestides. Els diàmetres dels seus cilindres mesuraven 50, 38 i 26 polzades i arribaren a Almadén entre maig i juny de 1787. Els problemes començaren quan el 4 de juny va iniciar-se la seva instal·lació; passaren els mesos i els anys i ningú pareixia interessar-se per la seva instal·lació. Així va ser com l'any 1793 ni tan sols s'havia acabat la instal·lació de la primera màquina, mentre que les altres dues continuaven emmagatzemades i, finalment, enviades a Cadis, de manera que actualment no es coneix el seu destí final. En els documents de la comptabilitat de la mina hi figuren les despeses d'instal·lació de la màquina fins a juny de 1805 la qual cosa pot indicar que no va ser fins meitat d'aquell any que la màquina no va començar a funcionar de forma continuada (Helguera, 2005, 84 – 85), (Tann; Brecking, 1978, 542)

Totes les dificultats que va comportar la posada en marxa d'una màquina de vapor de simple efecte amb condensador separat a les mines d'Almadén evidencien com de difícil era que la tecnologia de vapor, desenvolupada a Anglaterra, pogués ser adoptada o assimilada a l'Estat Espanyol. A l'estudi sobre la difusió internacional de la màquina de Watt, Tann i Beckin conclouen que sorgien majors dificultats en la implantació de la tecnologia Watt en aquells països endarrerits econòmicament i que no tenien tècnics instruïts en la tecnologia de vapor. La falta d'instrucció tècnica portava a vegades a prendre decisions errònies contractant constructors de tecnologia Watt que no tenien la professionalitat suficient per acabar amb èxit el projecte. Però, a més, els tècnics locals havien de instruir-se en el funcionament de la màquina per portar endavant el procés d'instal·lació, uns tècnics locals que eren imprescindibles per fer el manteniment de la màquina i les seves

reparacions. Tann i Brecking classifiquen Espanya en el primer estadi per la assimilació adequada de la tecnologia de Watt, en una classificació que considera tres estadis possibles: el primer es considera que el país té una predisposició a la recepció de la tecnologia, però amb tendència a descartar la idea o abandonar-la. En els països classificats en aquest estadi hi existia una dispersió de la tecnologia, però no una vertadera difusió (Tann; Brecking, 1978, 565). Aquests investigadors consideren que Espanya va estar en el primer estadi fins l'any 1825.

Per al cas de les mines d'Almadén comptaven amb un tècnic amb experiència a França com era Tomàs Pérez de Estala qui en el seu viatge a Londres per comprar les tres màquines per a Almadén va incórrer en l'error de contractar Wilkinson per construir unes màquines que no eren les més avançades en aquell moment. Aquí ens podem plantejar com haguessin succeït els esdeveniments si la Junta de Comerç de Barcelona hagués continuat invertint en la seva formació aprovant el viatge a Anglaterra. També ens plantejem altre interrogant respecte el transcurs dels esdeveniments: Si Pérez de Estala havia aconsellat la màquina de vapor tipus Newcomen, que era la que coneixia, per resoldre els problemes de les mines de Almadén, perquè no es posaren en contacte amb els Delgado? Les millores que els Delgado havien introduït en les màquines dels dics de Cartagena havien tingut lloc dos anys després de la presentació dels informes de Betancourt i avalaven l'expertesa que havien aconseguit. Tot indica que s'actuava de forma molt local i no hi havia una autèntica difusió de la tecnologia del vapor, sinó més bé dispersió puntual i poca comunicació entre regions i mitjans. Tot i això, aquesta comunicació entre Cartagena, Galícia i Cadis sí que es va donar als últims anys del segle XVIII quan els Delgado instal·laren allí màquines Newcomen que funcionaren durant molt anys.

Els esdeveniments d'Almadén ens ajuden a situar el projecte de Santponç per entendre millor les dificultats de contractar la construcció d'una màquina de vapor a Anglaterra amb els costos econòmics que suposava, inclosos viatges a aquell país per la seva contractació. Aquestes despeses difícilment eren assumibles per una empresa privada com la de Jacint Ramon. L'Estat Espanyol va apostar fort per un projecte estratègic com eren les mines d'Almadén, amb les expectatives posades en l'extracció de plata de les colònies espanyoles. La implicació de Pérez de Estala el va conduir a Londres en un viatge que hagués aportat més beneficis si la seva preparació hagués estat completada a aquest país, com ell mateix va sol·licitar anys abans.

### **3.6 EL VIATGE D'ESTUDIS A FRANÇA D'AGUSTIN DE BETANCOURT.**

Betancourt no va participar en el projecte de la instal·lació de la màquina de vapor a Almadén, però els seus informes sobre la situació d'aquestes mines van propiciar que fos becat per un viatge d'estudis a França. Aquest viatge va tenir lloc el 1784, dos anys abans que Pérez de Estala viatgés a Londres per comprar tres màquines de vapor per a Almadén. Betancourt va viatjar a França becat per la secretaria de les Índies amb l'objectiu que es formés en 'arquitectura i geometria subterrània'; el propòsit era que s'instruís com un expert en enginyeria de mines i l'assignació de la seva beca va ser de 12.000 rals anuals, quantitat important si la comparem amb els 500 rals que la Junta de Comerç de Barcelona va assignar a Pérez de Estala sis anys abans. El viatge de Betancourt formava part de l'estratègia del govern de Carles III, que intentava suplir l'endarreriment tècnic i industrial acumulat per Espanya al llarg del segle XVIII (Gouzévitch, 2018, 12 – 15). Una vegada es va establir a París, Betancourt va començar a assistir a l'École Royale des Ponts et Chaussées on hi havia eminents enginyers. D'acord amb l'objectiu del viatge, hagués estat més adient assistir a l'École Royale des Mines, creada pocs anys abans de l'arribada de Betancourt. El pla d'estudis per

a Betancourt i els objectius a aconseguir a la seva estada a París van començar a enforçar-se més cap a la hidràulica que cap a l'enginyeria de mines (Gouzévitch, 2018, 16 – 22). En efecte, i d'acord amb la Secretaria d'Estat, es va gestar un nou projecte que consistia en establir a Madrid una escola especial d'enginyers hidràulics de la qual Betancourt seria el responsable. Per començar a definir aquest projecte calia que Betancourt es formés a l'École Royale des Ponts et Chaussées, o en altres similars, i aconseguir una bona formació en mecànica. Es va dotar Betancourt de mitjans per portar endavant aquest projecte: per una banda van enviar un equip de becaris ben instruïts en matemàtiques que es prepararien igualment per ser professors del nou establiment; per altra banda, van dotar Betancourt d'una pensió més substancial amb 1.500 rals mensuals. Un objectiu que havia d'aconseguir aquest equip, de manera col·lectiva, era crear una col·lecció de models de maquinària d'utilitat general per a obres públiques i indústria (Gouzévitch, 2018, 16 – 23 ). El 1786 es sol·licita l'acceptació de Betancourt i altres dos becats espanyols a l'École Royale des Ponts et Chaussées els dos becaris enviats comptaven amb una beca de 15.000 rals anuals cadascú.

El grup de treball, dirigit per Betancourt, es va constituir en dues etapes, en cadascuna de les quals no hi va haver més de cinc col·laboradors simultàniament. El nombre de col·laboradors totals, en sis anys de funcionament (1786 – 1791) va ascendir a vuit individus a part de Betancourt i els dos membres inicials, qui n'eren membres oficials. Perquè l'equip hidràulic pogués treballar a Espanya es van comprometre grans sumes de diners; les transferències de diners es feien mitjançant l'ambaixada espanyola a París i l'ambaixador va ser informat de què no s'havia d'inquietar davant les altíssimes despeses que podia suposar; només les despeses que suposarien les maquetes representaven una petita fortuna (Gouzévitch, 2018, 41 – 43).

L'École Royale des Ponts et Chaussées va ser creada l'any 1747 i, des del començament, va ser dirigida per Jean-Rodolphe Perronet (1708 – 1794). Aquesta escola no admetia estudiants estrangers, però l'equip hidràulic de Betancourt va poder assistir-hi com oients gràcies a la recomanació de l'ambaixador espanyol. El gran enginyer i matemàtic Gaspard Riche de Prony (1755 – 1839) es va unir a la direcció de l'escola el 1783. Prony va ser qui va publicar, al segon volum de la seva obra *Nouvelle Architecture Hydraulique*, el disseny de màquina de vapor de doble efecte proposat per Betancourt després del seu viatge a Anglaterra en el qual va desvetllar aquesta nova tecnologia de vapor. L'any 1786, quan Betancourt i els dos membres inicials de l'equip hidràulic començaren a assistir a les classes de l'Escola, hi va haver una matriculació de 75 alumnes. Com que Betancourt no va ser alumne oficial de l'escola, als seus arxius no apareixen les seves dades, però si que hi consten nombrosos dibuixos i memòries realitzades per ell. Algunes d'aquestes memòries van ser fruit del seu viatge a Anglaterra, del que parlarem a continuació. Perronet i Prony van donar el seu suport a l'equip hidràulic posant a la seva disposició els valuosos materials del taller de maquetes i els seus fonts gràfics i manuscrits (Gouzévitch, 2018, 45 – 47).

La primavera de 1788 Betancourt va emprendre un viatge a Bretanya on visitaria llocs davanters en tecnologia aplicada a ports, navegació i indústria. Aquest viatge el va fer junt al seu germà José Betancourt i junts van aconseguir molta informació de tecnologia puntera: molins de diversa tipologia, politges capaces de traslladar grans pesos, fonerries de canons, fabricació de formigó, elements tècniques per fer eficients les màquines, processos tècnics nous i fonts d'energia. Aquest recull d'apreciada informació pels interessos del govern espanyol la aprofitaren en dos sentits: per una part, la col·lecció de maquetes es va ampliar amb 8 models provinents de l'aprenentatge d'aquest viatge, així com també dues memòries i un plànol; per altra part, aquest viatge va ser aprofitat per José per tornar a Madrid i fer carrera en la Cort Reial; l'ascendiren a Tinent Coronel i es va encarregar del disseny d'una fàbrica de politges a La Carrara en Cadis. El viatge a Bretanya

va ampliar els horitzons de l'equip hidràulic dirigit per Betancourt i s'ha acreditat la seva vessant d'espionatge industrial fomentada per la corona espanyola (Gouzévitch, 2018, 47 – 79) .

En tornar del viatge a Bretanya, entre el 9 i el 10 d'abril de 1788, Betancourt es va concentrar en els treballs del taller de construcció de maquetes per preparar la visita de l'ambaixador, qui valoraria la utilitat de la feina que estava fent l'equip hidràulic. Aquesta visita era molt important perquè en depenia que el projecte continués endavant. Les valoracions de l'ambaixador foren molt positives i quedà admirat per la perfecció i sofisticació de les maquetes. Les valoracions foren tan positives que el Secretari d'Estat va proposar crear, a partir d'aquella col·lecció, el Gabinet de màquines de Madrid, del qual Betancourt en seria el seu director. Totes aquestes propostes foren aprovades pel Rei. Després d'aquesta visita tan esperançadora, Betancourt es va disposar a un segon viatge.

### **3.7 ACLIMATACIÓ DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE DOBLE EFECTE A FRANÇA.**

El següent viatge de Betancourt va tenir lloc d'octubre a novembre de 1788 i es va dirigir a Anglaterra. Aquest viatge ha sigut molt estudiat pels historiadors en tenir com resultat la importació al continent del principi de funcionament de la màquina de vapor de doble efecte, gelosament protegit pel seu inventor: James Watt. Aquest viatge va ser organitzar no només amb el propòsit de desvetllar els fonaments de la tecnologia de doble efecte, sinó per ampliar els coneixements sobre altres procediments i màquines que es donaven a Anglaterra. Després de la visita de l'ambaixador, Betancourt ja es veia com director del Gabinet de màquines de Madrid i estava planificant la seva ampliació. El viatge va ser tremendament productiu, perquè a part d'engrandir el material per al Gabinet de Màquines, Betancourt va poder entendre el mecanisme de funcionament de les màquines de vapor de doble efecte que estava produint Watt. En arribar a París, Betancourt va escriure una memòria on va explicar la seva interpretació i disseny de la tecnologia de vapor de doble efecte. En aquest memòria el mateix Betancourt va narrar que, quan va arribar a Londres, va parlar amb tècnics coneixedors del tema, però ningú li va explicar res que no fos conegut a França. Així que Betancourt va viatjar a Birmingham, amb l'objectiu de desvelar les innovacions que havien aconseguit Watt i Boulton. Si ho aconseguia construiria una maqueta d'una màquina de vapor amb aquesta tecnologia. A Birmingham va ser rebut per Watt i Boulton i li mostraren els processos de les seves fàbriques, però no va poder veure cap part de la màquina de vapor que subministrava l'energia a les màquines. Betancourt va tornar a Londres on va aconseguir visitar Albion Mills, on només estava construïda una de les tres màquines de doble efecte que estaven projectades en aquest establiment de molins de farina. Només va poder veure aquesta màquina per fora, però en veure que hi arribaven dues tuberes al cilindre, una a part de dalt i altra a la part de sota, va comprendre que s'injectava vapor per sota i per dalt del pistó alternativament. També va veure que hi havia quatre vàlvules i va entendre que el buit es realitzava també alternativament a la part de sota i a part de dalt del pistó en el moment en què entrava el vapor a la part contrària. Betancourt ho explica a la memòria que va entregar a l'Académie des Sciences de Paris: (Gouzévitch, 2018, 79 – 83)

*Je fus d'abord frappé de voir que l'on avait ôté la chaîne qui tenait au balancier et qui suspendait le piston dans le Cilindre à vapeur, on y avait substitué un Parallélograme [...]. Je remarquai ensuite qu'au lieu du tuyau qui dans les machines de Wast, où celle de Chaillot, communique la vapeur de la partie Supérieure à l'inférieure du Cilindre, il y avait deux tuyaux, dont je ne pus d'abord deviner l'usage, et quatre Soupapes qui se mouvaient à chaque oscillation du balancier. Je fus frappé aussi de la petitesse du Cilindre à vapeur, Vû le prodigieux effet de la machine, tout cela me fit soupçonner*

*qu'il pouvait y avoir un double effet [...], c'est-à-dire que tandis que la vapeur appuyait sur la partie Supérieure du Piston, le vuide se faisait à la partie inférieure, Et que réciproquement, tandis que la vapeur poussait le Piston de bas en haut le vuide se faisait à la partie supérieure. Quant à la Pompe à Air au Condenseur et au modérateur de la vitesse, je ne pus en prendre connaissance parceque toutes les pièces étaient cachées (Betancourt, 1789).*

Al dia següent de veure la màquina de Watt, Betancourt va viatjar a París, i només arribar va fer diversos plànols per dissenyar una màquina amb doble entrada de vapor al cilindre, composant així una màquina de doble efecte. L'encarregat de fer un model del disseny de Betancourt va ser François – Étienne Calla (1762 – 1836) qui estava associat amb Betancourt per la fabricació de maquetes per al Gabinet de màquines. Calla va ser creador d'establiments mecànics i de les Fonderies Calla a París on es construïen màquines–eina per a filatures i màquines de vapor. El model a escala complia amb escriu les expectatives de Betancourt i es va convèncer que seria de gran utilitat per a la mecànica. Aquest model va ser examinat pels germans Périer, que, convençuts dels seus avantatges, es decidiren a construir la màquina a tamany real. Només un mes després, el 18 d'abril de 1789, els germans Périer obtingueren el privilegi de construcció per aquesta màquina.

El reconeixement científic arribà molt prompte: Betancourt es va afanyar en comunicar a l'Académie des Sciences de Paris el seu disseny de màquina de vapor de doble efecte i, després d'una de les seves reunions, l'Acadèmia hi va constatar que el 16 de desembre de 1789 Betancourt va presentar una memòria sobre una màquina de vapor de doble efecte i va designar per la seva valoració a Jean – Charles de Borda (1733 – 1799), astrònom que va participar activament en les comissions per l'acceptació del metre com mesura universal, i el gran matemàtic Gaspard Monge (1746 – 1818). El 10 de febrer de 1790, Borda i Monge van presentar un informe de cinc pàgines en el que recomanaren la publicació de la memòria de Betancourt tot considerant que calia aplaudir aquest descobriment ofert a la nació francesa. A les sessions del 5 i 12 de juny de 1790 Prony va llegir la memòria de Betancourt. El mateix any, Prony va explicar en la publicació del primer volum de la seva obra *Nouvelle Architecture Hydraulique* que la maqueta del disseny de la màquina de doble efecte havia sigut vista per molts artistes i estudiosos de París. Prony va qualificar la invenció com enterament pròpia de Betancourt, ja que, a causa del secretisme que envoltava les màquines de vapor de doble efecte, no se sabia si el funcionament intern era el mateix que Watt i Boulton estaven aplicant a les màquines que construïen. Prony va anunciar que oferiria la descripció de la tecnologia de les màquines de vapor de doble efecte en el segon volum de la seva obra. Va anunciar, a més a més, que els germans Périer estaven construint màquines de doble efecte, seguint el disseny de Betancourt, per accionar molins i que finalitzarien el projecte d'utilitzar aquesta tecnologia per posar en marxa molins de farina a final de l'any 1790 a l'illa de Cygnes. Prony va complir el que havia anunciat i al segon volum de *Nouvelle Architecture Hydraulique* (1796) va publicar els treballs de Betancourt junt a la descripció de totes les parts d'una de les màquines de vapor de doble efecte que els germans Périer havien construït a Cygnes. Al 1796 la tecnologia de vapor de doble efecte havia sigut aclimatada a França després de considerables esforços econòmics i grans projectes mecànics de diversos tipus que van propiciar una circulació de coneixements i una formació d'experts que van fer possible que la màquina de doble efecte fos assimilada pel país receptor; en va ser testimoni Prony en afirmar que els germans Périer van deixar de construir màquines d'efecte simple donada la superioritat tecnològica que tenien les de doble efecte. Va ser aquest segon volum de Prony el que Santponç va seguir per construir la seva màquina de vapor a Barcelona (Gouzévitch, 2018, 99 – 102).

Reflexionem una mica sobre els principals protagonistes dels que hem parlat. Per un costat, Boulton i Watt formaven un tàndem en un context empresarial a un país on la lliure empresa i el

comerç es desenvolupaven amb força. Boulton havia impulsat una gran empresa a Soho on es manufacturaven diversos productes sota una direcció comuna i on tenia lloc el disseny d'innovacions tecnològiques. Allí la tecnologia de vapor de doble efecte va ser pensada i desenvolupada per a ser comercialitzada. Els germans Pèrier, igual que Boulton i Watt, tenien una motivació comercial i el seu èxit empresarial feia possible el desenvolupament tecnològic que impulsaven. La foneria que els germans Pèrier dirigien a Chaillot emprava les tecnologies més noves, acollint i aclimatant la nova tecnologia que es produïa a Soho. Per que fa a Betancourt, havia nascut en un país on la lliure empresa i el comerç estaven menys desenvolupats i el seu poder estava excessivament centralitzat i era extremadament burocràtic. Amb la direcció del Gabinet de Màquines de Madrid Betancourt va poder aspirar a un alt càrrec en l'administració pública amb un sou assegurat i una sòlida posició social. Per a Betancourt els capricis del mercat i la competència no havien d'influir en les seves accions. Tot i aquestes diferències, tots ells eren, seguint el llenguatge de l'època, filòsofs il·lustrats.

Amb el disseny i maqueta de vapor de doble efecte, Betancourt va aconseguir el reconeixement internacional com a mecànic erudit deixant la seva comercialització als germans Pèrier. Els germans Pèrier van aconseguir comercialitzar la tecnologia de doble efecte, la més eficient que es coneixia, en un moment molt delicat pels seus negocis; recordem que la Compagnie des eaux va fer fallida el 1788 i que la foneria de Chaillot va patir embargaments per aquest motiu. En 1790 els molins impulsats per vapor a l'illa de Cygnes a París van ser la continuació dels Albions Mills de Londres, que entraren en declivi fins el seu incendi. Els molins de vapor de Cygnes es convertiren en referència europea (Gouzévitch, 2018, 104) gràcies a la ràpida aclimatació de la tecnologia de vapor de doble efecte de la mà dels germans Pèrier que van seguir el disseny de Betancourt.

Tornem ara a la col·lecció de maquetes de l'equip hidràulic que Betancourt dirigia a París. Poc després que Betancourt desvelés el funcionament de la tecnologia de vapor de doble efecte amb un disseny de màquina propi, Betancourt va haver d'organitzar el trasllat de tota la col·lecció de maquetes cap a Madrid, on arribà al novembre de 1791. I així, el Gabinet de Màquines de Madrid va obrir l'1 d'abril de 1792 amb Betancourt com director oficial amb el sou corresponent (Gouzévitch, 2018, 106). El catàleg de la col·lecció, manuscrit per ell, ofería una descripció sistemàtica d'un repertori que és realment impressionant i que es va fer al llarg de 7 anys, amb 270 models, 359 plans i 99 memòries. Aquest gabinet va ser creat amb un doble objectiu: per una part, la seva finalitat va ser la de ser consultat per realitzar projectes d'obres públiques o industrials; l'altra finalitat va ser didàctica, per a ser emprada en l'ensenyament d'una futura escola d'enginyeria d'hidràulica, que es va dir finalment Escuela de Caminos y Canales en inaugurar-se l'any 1802.

Entre els models que hi havia al Gabinet hi era el model de màquina de doble efecte, que tantes vegades havia sigut estudiat per experts francesos i amb els que els germans Pèrier es van convèncer de la seva superioritat tècnica respecte les de simple efecte amb el condensador separat. Però al contrari del que estava passant a França amb la comercialització d'aquesta tecnologia, a Espanya no hi va tenir cap repercussió immediata. Betancourt es trobava a Espanya en un ambient tecnològic totalment diferent; era un expert en tecnologia aïllat sense canals de comunicació amb altres tècnics, igualment aïllats, que seguien iniciatives puntuals que tenien poca repercussió. No hi havia institucions de formació que haguessin preparat un quadre d'experts tècnics amb condicions per posar en pràctica aquesta tecnologia i assimilar-la realment. A part d'aquestes mancances, també es necessitaven fortes inversions econòmiques amb perspectives comercials que motivessin la inversió de diners.



Tot i que a Espanya les condicions per l'acimatació de la tecnologia de doble efecte diferien molt de les de França no es va trigar molt en presentar-se la primera ocasió per la seva acimatació. A continuació analitzarem com, des de Cuba, es va materialitzar la oportunitat de grans inversions econòmiques, privades i estatals, per assimilar definitivament la tecnologia del vapor a les plantacions de canya de sucre. Va ser una oportunitat que comptava amb una sòlida inversió econòmica amb recolzament estatal i molta determinació per part dels personatges implicats en aquest projecte.

### **3.8 UN INTENT REEIXIT PER ASSIMILAR LA TECNOLOGIA DE VAPOR A L'ESTAT ESPANYOL. SEGON VIATGE DE BETANCOURT A ANGLATERRA (1793 – 1796).**

Pocs anys després que Betancourt va escriure la memòria del disseny de la màquina de doble efecte es va gestar un gran projecte en el qual es volia aconseguir aplicar la tecnologia de vapor per moldre les canyes de sucre de les plantacions de Cuba. Aquest projecte acabaria sent dirigit per Betancourt. Abans de continuar explicant les circumstàncies d'aquest nou projecte cal tornar al Gabinet de Màquines de Madrid i al seu director, Agustín de Betancourt. Malauradament, no es va treure tot el potencial a la col·lecció de maquetes del Gabinet Reial de Madrid. La seva acollida no va ser planificada i no hi havia un lloc suficientment gran i habilitat per acollir-la. Quan finalment es va organitzar la seva ubicació al Palau del Buen Retiro, el Gabinet es va convertir en una espècie de museu gairebé oblidat en estat de letargia. Betancourt, com a director del Gabinet, va instal·lar allí el seu despatx, però ell era una persona activa, desbordant d'idees i no va trigar en demanar amb insistència marxar altre cop cap a Europa. Entre 1793 i 1798 va viatjar a Anglaterra i França en diverses ocasions, enriquint la col·lecció de màquines del Gabinet (Gouzévitch, 2018, 116).

Betancourt va estar a Anglaterra des del 1793 fins 1796; al llarg de la seva estància a Anglaterra va col·laborar en diversos projectes, i va ser en aquest període de temps quan el projecte de la construcció de dues màquines de vapor per premsar les canyes de sucre de les plantacions de Cuba va arribar a Betancourt, qui va col·laborar d'una forma decisiva per engegar aquest projecte. L'any 1794, dos influents ciutadans cubans anomenats Pedro Montalvo y Ambulodi (1748 – 1795) i Francisco Arango y Parreño (1765 – 1837) es posen en contacte amb Betancourt quan aquest estava en Anglaterra. Arango liderava els interessos de la elit cubana del sector del sucre que havia emergit i era, en aquell moment, el primer productor mundial. Era una persona cultivada que havia destacat en els estudis i tenia escrita una memòria on plantejava els problemes i possibles solucions als problemes del sector agrícola cubà. Montalvo i Arango van començar un viatge, des de Cuba per recórrer Europa, amb el propòsit d'aprendre les possibilitats tecnològiques i econòmiques per a la producció de sucre. Tenien un especial interès per les fonts d'energia i en particular per la màquina de vapor. Ells no eren experts en tecnologia, el seu objectiu era comparar les opcions, avantatges i inconvenients que la tecnologia oferia. En una de les anotacions d'Arango escriu que a Cuba els molins de sucre funcionen amb palanques impulsades per bous, mentre que a Jamaica, que era colònia anglesa, s'accionaven per la força de l'aigua o per la força del vapor. Aquest viatge els va portar a Espanya on estigueren a Madrid entre 1791 i 1793. Marxaren cap a Anglaterra el 1794 per continuar aprenent sobre tecnologia i les opcions que oferia per a l'agricultura. En arribar a Londres es posaren en contacte amb Betancourt a qui van explicar que buscaven solucions tecnològiques per la producció de sucre. Betancourt els va proposar un projecte per premsar la canya de sucre utilitzant la tecnologia de vapor. Després de fer els càlculs corresponents i d'informar-se de tots els defectes que tenien les màquines utilitzades per al mateix propòsit en les

illes angleses, franceses i espanyoles Betancourt va dissenyar una màquina amb dos cilindres (Gouzévitch, 2018, 133-135).

En la correspondència de l'empresa de Boulton i Watt hi consta la sol·licitud d'informació per la construcció de dues màquines de vapor per premsar canya de sucre provinent de la casa Montalvo de la Havana; per tant, ha de tractar-se de la mateixa gent i el mateix projecte. A través de Fermín Tastet, corresponsal de Boulton i Watt a Espanya, Montalvo i Arango van enviar un qüestionari a Boulton i Watt amb vuit qüestions que es plantejaven respecte la implantació de la tecnologia del vapor per premsar canyes de sucre a Cuba; el seu cost, el cost del carbó o fusta que necessitaria per funcionar i el cost d'un mecànic expert en tecnologia de vapor que en fes el manteniment. En la correspondència entre Tastet i Watt s'aprecia motivació pel projecte, ja que es podria obrir un mercat nou per la indústria de les màquines de vapor en el camp del sucre de canya, però també preocupació per dos punts problemàtics. En primer lloc hi havia inquietud per la seguretat en el pagament; només acceptarien cobrar mitjançant una casa de comerç anglesa i si els compradors poguessin acreditar un compte solvent en una casa de comerç de Madrid o Cadis. I per altra part temien que una màquina instal·lada en un lloc tan llunyà no pogués tenir un manteniment per part d'un tècnic solvent que en comprengués bé el seu funcionament amb disposició per poder arreglar-la i fer-la funcionar correctament. Temien que, en llocs on la tecnologia de vapor no estava encara implantada, un projecte fallit pogués donar mala fama a aquest tipus de tecnologia. Segons Irina Gouzévitch el fet que Montalvo i Arango iniciessin una via de negociació mitjançant Tastet i també abordessin el projecte amb la implicació de Betancourt mostra la determinació que tenien per gestionar eficaçment el projecte de recerca de solucions tecnològiques. Un projecte que, finalment, no va tirar endavant amb l'empresa de Boulton i Watt sinó que es va optar per un disseny de Betancourt i la construcció de les màquines a càrrec de l'empresa Reynolds. Betancourt va treballar com director dels treballs i l'empresa de Reynolds va ser la que va fabricar les màquines (Gouzévitch, 2018, 140 – 152).

L'empresa Reynolds era un complex metal·lúrgic de Coalbrookdale que va ser fundat l'any 1707. A partir de 1718 va fabricar peces per a les màquines de tipus Newcomen. Produïa cilindres de ferro colat en lloc de coure i bases de cilindres i tuberes per la construcció d'aquestes màquines. A part d'això, també produïen una ampla gama d'altres productes. L'empresa, disposada a expandir-se i fomentar les innovacions tecnològiques, va obtenir llicència per construir les noves màquines de vapor de Watt. En el moment en què Betancourt buscava fabricant per a les màquines cubanes, Reynolds estava en el punt àlgid de reputació; l'administrador del complex, William Reynolds (1758 – 1803), era mestre forjador i pertanyia a la família propietària. En aquesta empresa es van construir màquines de vapor de tipus *compound*, consistents en dos cilindres que evitaven la patent de Watt del condensador separat del cilindre de 1765. Les màquines *compound* no feien ús de la condensació del vapor en cap moment i deixaven escapar el vapor del cilindre en lloc de condensar-lo, amb un funcionament a altra pressió. Betancourt va buscar el millor fabricant que podia trobar per construir un disseny de màquina amb dos cilindres *compound*, però de doble efecte, que havia concebut per a les necessitats de moldre canya de sucre (Gouzévitch. 2018, 150 – 152).

Historiadors com Dickinson estableixen que la primera màquina d'alta pressió va ser dissenyada per Richard Trevithick (1771 – 1833) i construïda el 1800 en una mina de Cordwall. Dickinson situa Trevithick a Coalbrookdale el 1802 per portar endavant construccions experimentals de màquines de vapor (Dickinson, 1957, 188 – 189). Es produeix llavors un desacord en les dades, ja que la màquina de Cuba va arribar a la seva destinació el 1796 i el viatge de Betancourt a Anglaterra amb les seves estades a Coalbrookdale es va tenir lloc entre 1793 i 1796. En aquest

sentit, segons la recerca d'Irina Gouzévith, el disseny de Betancourt, tot i funcionar efímerment, fou pioner. De tota manera, podem indicar la idea que la construcció d'una màquina de vapor amb cilindre sense condensació podia estar ja circulant d'alguna manera. De fet, no ens sembla estrany que la idea de prescindir del condensador fos considerada sovint pels constructors de màquines de vapor. El mateix Watt va expressar la idea de la descàrrega del vapor a l'aire obert en una de les seves patents, però la va considerar perillosa. També és conegut un disseny de Jacob Loupold de 1725 d'una màquina de vapor d'efecte simple sense condensació (Dickinson, 1957, 188). Nosaltres volem afegir que els artesans de l'equip de Santponç també van apostar per aquesta idea, que finalment no va fructificar. Però per eliminar el condensador del circuit de vapor el fuster Antoni Pujades va fer ús d'una aixeta de doble sortida de la que parlarem al capítol 4 (Annex I, paràgraf 7), (Agustí, 1983, 146).

Així va ser com una màquina *compound* de doble efecte va arribar a Cuba el 1796 on s'instal·là en mig d'un clima d'expectació febril i molts nervis. L'11 de gener de 1797 premsaren canya de sucre durant unes setmanes, però el resultat no va ser un èxit. Tot i això, no hi hagué desànim i es va treballar en solucionar els problemes que presentava la màquina. Aquests problemes estaven ben identificats: la màquina no presentava cap problema, el problema estava en el sistema de transmissió del moviment entre la màquina de vapor i el molí que calia accionar. Segons Anastasio Carrillo y Arango, parent de Francisco Arango, bastants anys després de la seva instal·lació encara funcionava la màquina amb alguna regularitat, tot i que es parava freqüentment. Finalment va ser abandonada per falta d'un mecànic amb capacitat material i amb coneixement tècnics per posar-la en producció, les despulles de la màquina encara es podien veure l'any 1837. A part del sistema de transmissió del moviment i la falta d'un adequat manteniment i posada a punt, hi havia altres problemes, com ara el rovell que generava en la màquina un clima tan humit. En aquella època l'únic lubricant de què es disposava era l'oli de palma, un producte que s'importava de Nigèria, aleshores colònia d'Anglaterra. El carbó tampoc era fàcil d'obtenir i, com passava en altres llocs, els boscos estaven bastant desforestats, resultant de tot això que el cost econòmic per engegar la màquina era elevat (Gouzévitch, 2018, 161 - 162).

Però ja hem dit que no hi hagué desànim, quan Montalvo, Arango i Betancourt es trobaren a Anglaterra l'any 1795, Arango ja havia proposat a Betancourt anar a Cuba per una estada de 4 anys amb la finalitat de transferir els seus coneixements sobre maquinària i canals. Quan es trobaren en els problemes per engegar la màquina de forma eficient, van decidir que aprofitarien l'estada de Betancourt per solucionar els problemes de la màquina. Mentre l'estada de Betancourt a Cuba estava encara sense concretar, Betancourt va tenir la oportunitat de dirigir, des d'Anglaterra, la construcció de les màquines de vapor amb destinació a Cuba. Però no només això; va aprofitar molt bé el seu temps amb la realització d'altres projectes paral·lels que assenyalem breument a continuació. Per la construcció de les màquines de vapor, Betancourt va visitar les instal·lacions de l'empresa Reynolds en diverses ocasions entre 1795 i 1796. Però no només per dirigir la construcció de les màquines de vapor de Cuba; en aquest període Betancourt va desenvolupar un disseny de màquina per drenar fons de canals d'aigua o rius, un molí per moldre sílex i un sistema de transferència de vaixells en sec per superar desnivells en canals amb l'ajuda de plans inclinats. Aquests projectes es van dissenyar per l'empresa de Reynolds i amb la seva col·laboració. Betancourt va romandre a l'empresa el temps necessari per poder estudiar els tres projectes paral·lels; prenia mesures, dibuixava plànols, feia esbossos i discutia les opcions amb Reynolds. Reynolds era una part interessada en què els projectes de drenatge de fons d'aigua i sistema de transferència de vaixells es desenvolupessin, donat que la navegació per canals era una infraestructura necessària pel transport de mercaderies a la seva empresa. En efecte, la vegetació

que creixia i s'acumulava als canals era un problema, el mateix William Reynolds, per la seva banda, mesurava diàriament les profunditats del riu Severn, una feina que havia dut a terme durant 11 anys seguits, des de la tardor de 1789 fins al desembre de 1800 (Gouzévitch, 2018,165 -169).

Podem imaginar aquesta nova etapa a Anglaterra en mig d'un ambient amb tots els camps interessants de la tecnologia oberts per a Betancourt. Aquesta etapa d'aprenentatge i aplicació de coneixements va donar un dels seus fruits el 1796 amb la construcció d'un vaixell per netejar canals i rius navegables. La Royal Society of Arts, institució que publicava la revista *Transactions*<sup>22</sup>, va donar a Betancourt un premi de 40 guinees per aquest vaixell dissenyat sobretot per netejar canals. Es va publicar a la revista *Transactions* la descripció i plànol al volum XIV de l'any 1796. (Gouzévitch, 2018, 167 – 168). Respecte la solució per pujar de nivell un vaixell a un canal es tractava de la construcció d'un pla inclinat pel qual un vaixell que baixés de nivell faria que altre pogués pujar aprofitant la força del que baixava. D'aquest enginy se'n va fer una maqueta que va ser inclosa en el Gabinet de Màquines de Madrid (Gouzévitch, 2018,170).

Mentre aquests projectes sortien endavant junt la direcció del projecte de les dues màquines de vapor per a Cuba, la Junta del Consolat de l'Habana va sol·licitar a la corona espanyola que aprovés el viatge de Betancourt a aquesta ciutat per treballar en la realització d'obres públiques i privades, un projecte que, com ja hem dit, portaria a Betancourt a Cuba durant 4 anys. La junta demanava que la Corona assumís les despeses del viatge i assignés a Betancourt una pensió, amb una gratificació anual de 4.000 pesos. Betancourt estava en disposició de fer aquest viatge donades les escasses possibilitats que tenia la seva carrera a Espanya, estancat com a director del Gabinet de Màquines. Segons Irina Gouzévitch les motivacions de Betancourt van ser d'ordre intel·lectual i creatiu donades les perspectives d'experimentació i aplicació industrial a gran escala al camp de canya de sucre que li permetrien aplicacions de les seves invencions. També hi existia la motivació econòmica amb l'afany de treballar per propietaris adinerats (Gouzévitch, 2018,170 – 172).

Es va gestar un projecte molt ambiciós que no només consistia en la instal·lació de la tecnologia de vapor per mecanitzar la producció de sucre de canya. El projecte es va ampliar amb la construcció de carreteres per connectar diversos punts de l'illa i la construcció d'un canal pel transport de mercaderies. Betancourt va assumir la direcció de la part pràctica i tecnològica d'un projecte que va generar molt nervis per la superació de molts entrebancs i per al compliment dels terminis en un moment polític molt complicat entre Anglaterra i Espanya que va acabar en la declaració de guerra a l'octubre de 1796. A meitat d'octubre de 1796 Betancourt tenia preparada una recopilació dels millors instruments per dur a terme treballs topogràfics i cartogràfics de la màxima precisió. Tots aquests instruments, encarregats als millors tallers d'Anglaterra, eren suficients per la creació d'una xarxa de triangulació i d'organització d'observacions meteorològiques, baromètriques i d'altures. A principis de juny de 1797, després de moltes dificultats, el viatge de Betancourt cap a Cuba amb tots els instruments embalats al vaixell l'*Infante*, estava a punt. Però només deixar el port, el vaixell va ser capturat, amb tota la tripulació, per l'atac d'un vaixell anglès que va requisar la nau i tota la càrrega que tenia. Després de sortir il·lès d'aquest greu incident, Betancourt va demanar a la Corona tornar a París per començar de nou una altra recopilació d'instruments. Tot i que se li va concedir i Betancourt va viatjar de nou a París, la missió a Cuba va acabar aquí. El destí de la màquina *compound* a Cuba podria haver tingut altre destí, amb altre context, i hagués pogut donar un impuls a la indústria cubana i a la tecnologia en el seu temps. Irina Gouzévitch aclareix les intencions íntimes de Betancourt en relació la missió cubana: el seu entusiasme inicial amb grans

---

<sup>22</sup> *Transactions of the Society Instituted at London, for the Encouragement of Arts, Manufactures, and Commerce.*

expectatives amb les aplicacions a gran escala que podia tenir la màquina dissenyada per les plantacions de sucre a Cuba van acabar esvaint-se enfront la decisió de la Junta del Consolat de Cuba de què Betancourt es fes càrrec del treball de camp. Betancourt no podia oposar-se a la missió de posar-se a treballar per un govern local, una tasca que contrastava amb el seu objectiu inicial de engegar una Escola d'Enginyeria a Madrid per a la qual havia completat el Gabinet de Màquines. La disciplina i professionalitat de Betancourt el van portar a organitzar aquesta missió, tot i que, quan va haver d'organitzar el seu propi viatge a Cuba, hi va mostrar inacció en alguns moments. La captura del vaixell va ser per Betancourt un nou començament amb 39 anys, amb una ampla experiència adquirida en l'àmbit de la tecnologia del vapor, la construcció d'aparells de precisió i, en definitiva, un sòlid cos de coneixements que va fer servir per dissenyar una màquina de vapor amb característiques especials per al premsat de la canya de sucre i per dirigir la seva construcció (Gouzévitch, 2018, 187 - 201).

En tornar-se a instal·lar a França va participar activament en el desenvolupament del telègraf òptic junt al gran rellotger Breguet. Després d'obtenir informes molt favorables, per part de grans científics de l'època. A causa d'una situació política desfavorable per desenvolupar aquesta branca tecnològica no es pogué instal·lar cap línia amb el disseny de Betancourt i Breguet. Però Betancourt va tornar a Espanya per fer una línia des de Madrid a Cadis. Aquest nou projecte de Betancourt queda fora del nostre estudi, però volem acabar explicant que la línia va arribar fins Aranjuez amb uns sobre costos tan grans que impediren la continuació del projecte. Es tornava a repetir, com en el cas de la màquina de vapor a Cuba, un projecte brillant impulsat per un gran esforç d'apropiació, una inversió de molta consideració i una renúncia final. Respecte a Betancourt, l'any 1801 va ser nomenat inspector general de camins i canals. El següent any va esdevenir el cap de l'Escola de Camins i Canals, per a la qual el Gabinet de màquines havia sigut creat. El govern havia creat una gran branca pel desenvolupament tècnic que va posar totalment sota la merescuda autoritat de Betancourt. Però l'any 1807 es va produir un gir inesperat: el fracàs en els esforços empresarials de Betancourt li van generar un gran deute i això junt a desavinences amb Godoy i el pressentiment d'una guerra imminent, que de fet es va produir, van impulsar Betancourt a acceptar la invitació del l'emperador Alexandre I per posar-se al servei de la corona Russa. Mai més va tornar a Espanya.

### **3.9 INTRODUCCIÓ DE LA MÀQUINA DE VAPOR ALS PAÏSOS BAIXOS.**

Donada la preocupació dels Països Baixos pel control del nivell de l'aigua no és sorprenent que en aquest context les màquines de vapor fossin introduïdes. La majoria de les màquines de vapor construïdes entre el segle XVIII i XIX s'utilitzaren per drenar aigua. Als Països Baixos no es va promoure la tecnologia de vapor de la mateixa manera que a Anglaterra o França, en el sentit que no es van produir empreses que transformaren el paisatge emplenant-lo de fàbriques. En opinió de Lissa Roberts la màquina de vapor va ser utilitzada allí per mantenir el paisatge tractant de tornar l'època daurada del segle XVII. En aquest sentit es destinaven a substituir els molins de vent, que accionaven les bombes de drenar aigua, per màquines de vapor que feien la mateixa funció. A més, tot i que els Països Baixos estaven molt urbanitzats, no tenien cap ciutat com Londres o París en les que els seus habitants pressionaven per ser proveïts de serveis com aigua corrent. Per contra, a Londres tan prompte com 1712 la York Building Company va treballar per bombejar aigua del Tàmesi amb màquines de vapor per tal de satisfer la demanda de subministrament d'aigua. I el mateix va passar a París, tot i que més tard, l'any 1778, amb l'aplicació de la tecnologia de vapor amb la que els germans Périer subministraren aigua des del riu Sena. Aquest dos projectes estaven separats en el temps, també geogràficament i culturalment, però tenien interessos comuns: els dos projectes foren finançats amb la formació de companyies i tots dos necessitaren influents

patrocinadors per assegurar l'aprovació del govern. En el cas de Londres la tecnologia que primerament es va instal·lar, per proveir d'aigua els habitants, va ser la de Savery, substituïda l'any 1726 per una màquina Newcomen que va funcionar, al menys, fins a 1731. La quantitat de combustible que consumia la màquina Newcomen era molt gran, així com la quantitat de sutja que desprenia en l'atmosfera de Londres, les queixes dels veïns contra aquesta pluja de sutja es van aixecar en contra de la màquina, que popularment es va anomenar *The York Building dragon*. Finalment, l'empresa va aconseguir reduir pèrdues substituint la tecnologia del vapor per la potència subministrada per cavalls. Tot i que aquest final pot interpretar-se com una renúncia a la tecnologia del vapor, arribar a aconseguir engegar un projecte d'aquesta magnitud va ser un gran repte i val la pena estudiar els factors que el feren possible. L'èxit d'aquesta empresa es va aconseguir mitjançant dues estratègies: per una part, la utilitat científica i social va ser avalada per Desaguliers que va ser contractat l'any 1720 per revisar aspectes tecnològics i superar tots els entrebancs tècnics que un projecte com aquest comportava; per altra part, el capital invertit en el projecte va ser igualment crucial per al seu èxit, sense poder ignorar la quantitat de persones que s'emplenaren les butxaques i les intrigues per desacreditar els rivals i guanyar els patrocinadors governamentals. El cas de subministrament d'aigua a París, tractat a aquesta tesi, difereix respecte al cas de Londres en que Jacques-Constantin Pèrier tenia uns ingressos garantits com a membre de l'Acadèmia de Ciències de París, estava en contacte amb el coneixement científic i amb els sol·licitants de patents franceses que presentaven els seus treballs a l'Acadèmia. A més tenia llibertat per engegar projectes privats pel seu compte. Per contra, Desaguliers era soci de la Royal Society que donava reconeixement públic als seus socis com aficionats a la ciència, però havia de guanyar-se la vida fent conferències, assessorant científica i tècnicament projectes d'enginyeria i mitjançant el mecenatge del duc de Chandos (Roberts, 2000, 57 – 58).

Els historiadors solen lligar als inicis del desenvolupament de la tecnologia de vapor amb la mineria, les manufactures, o el bombeig d'aigua i sempre amb una motivació industrial. Però la introducció de la màquina de vapor en el cas dels Països Baixos està relacionada amb la jardineria i, a partir del segle XVIII, amb el drenatge de les terres i la gestió de l'aigua. Les discussions al voltant de l'aposta per la tecnologia del vapor dels Països Baixos al segle XVIII han tendit a lligar aquesta aposta a una visió industrial i una afiliació política. D'acord amb aquesta visió els neerlandesos que creien en la introducció de la tecnologia del vapor al segle XVIII estaven motivats per la reconstrucció econòmica del país mitjançant la indústria i fomentant la democràcia. Aquesta visió s'ha associat als Patriotes que s'oposaven als partidaris de la Casa d'Orange. El cas d'aclimatació primerenca que anem a estudiar va ser impulsat per John Hope, qui en 1781 va adquirir la primera màquina de vapor totalment dissenyada i construïda als Països Baixos. Aquest cas no s'ajusta a la visió establerta, John Hope pertanyia a una família que recolzava la Casa d'Orange i que va instal·lar la màquina de vapor a les seves terres. John Hope era un banquer qui, l'any 1765, va comprar Groenendaal, una gran propietat que es va voler transformar amb arbredes, estanys i rierols. A causa del nivell freàtic baix de la zona, mantenir un flux suficient d'aigua per mantenir l'estètica de les seves terres va ser un repte. Hope va apostar primerament per una estació de bombeig d'aigua impulsada pel vent, però quan es va provar que era insuficient, es va substituir per una màquina de vapor que va esdevenir una atracció turística local. Llavors Hope no tenia una visió industrial i tampoc es pot dir que els Patriotes estiguessin motivats per una urgència industrialitzadora; volien potenciar l'economia, però en el context de la Il·lustració basant-se en principis morals. Llavors, la màquina de vapor simbolitzava la regeneració nacional i el reforç de la identitat com a país amb la cura del paisatge i la unió amb la natura, d'una forma que s'ha vist en poques nacions (Roberts, 2004, 252 – 253).

La utilització de la tecnologia del vapor per controlar el nivell de l'aigua en el disseny de jardins amb fonts, rierols o estanys artificials no ha sigut estudiada a fons. Tot i això hi ha abundants casos de la utilització de la potència del vapor per a impulsar projectes hidràulics en el disseny de jardins i hi ha constància del profund coneixement que tenien d'aquesta tecnologia els jardineros, arquitectes i enginyers que es dedicaren a aplicar la força del vapor al disseny de jardins. Hi ha obres escrites sobre tecnologia de vapor per part d'aquests tècnics així com concessió de patents per enginyers de la seva invenció. Al primers anys del segle XVIII aquest tipus de mecànics podríem dir que eren invisibles, però a mesura que va anar avançant el segle es van unir altres amb major notorietat com John Theophilus Desaguliers i William Gravesande qui van dissenyar fonts en les que s'aplicava la força del vapor per impulsar brolls d'aigua (Roberts, 2004, 254 – 256).

L'any 1721 Gravesande es va implicar en la construcció de màquines de vapor per al drenatge i ampliació de terres útils. En col·laboració amb altres dos tècnics<sup>23</sup> construïren màquines Newcomen per a la jurisdicció de Hesse – Cassel. Quan Gravesande va tornar a la ciutat de Leiden va ensenyar a l'Escola Universitària d'Enginyers cursos pràctics i altres de física experimental més teòrics. Per a portar endavant els seus ensenyaments feia ús d'eines de demostració pràctica i tenia un primitiu model de motor de vapor de tipus Savery. El seu successor Petrus Van Musschenbroek faria ús d'una màquina més sofisticada construïda el 1730 i que va instal·lar en el jardí per propulsar l'aigua d'una font (Roberts, 2004, 255 – 257). Va ser Gravesande qui va ser el primer en considerar que la tecnologia de vapor era millor que els molins de vent per a la gestió de l'aigua als Països Baixos. Aquesta asseveració la va fer pública a la traducció que va fer de *Course of Experimental Philosophy* de Desaguliers, tot i que, curiosament, no va seguir aquesta idea quan en va tenir la oportunitat (Roberts, 2004, 258).

Altre tècnic que va impulsar l'aclimatació de la tecnologia de vapor als Països Baixos va ser William Blakey, un tècnic anglès que va dissenyar una màquina de vapor a partir d'unes modificacions que va fer d'una màquina tipus Savery. Va construir aquesta màquina al seu propi jardí l'any 1760 i a l'any 1766 va rebre per ella una patent. Blakey va instal·lar màquines de vapor per diversos usos, però va tenir serioses desavinences amb Coalbrookdale per l'explosió de calderes i va decidir traslladar-se a París en busca de nous contractes. Va rebre reconeixement de l'Académie Royale d'Architecture i l'Académie Royale des Sciences; amb aquestes acreditacions pels seus coneixements va viatjar als Països Baixos on l'any 1776 va rebre patents pels seus dissenys de màquines per solucionar diversos problemes de gestió de l'aigua (Roberts, 2004, 257 - 258).

L'any 1776 el primer projecte d'envergadura per a la gestió d'aigües es va materialitzar amb l'impuls de la Societat Batava per a la Filosofia Experimental de Rotterdam i amb el finançament del seu fundador Steven Hoogendijk. L'objectiu d'aquest projecte era controlar el nivell de l'aigua dels canals de Rotterdam. En aquest projecte es va construir una màquina de Newcomen sota la supervisió de l'enginyer anglès Jabez Carter Hornblower. La màquina Newcomen estava connectada a un complex sistema de bombes d'aigua dissenyat per Hoogendijk, però el sistema no va funcionar adequadament. Finalment acabaren instal·lant un sistema amb potència eòlica de capacitat i limitacions assumibles.

Només un any després, el 1777, la ciutat d'Amsterdam es va determinar a solucionar el greu problema que tenia amb les fortes olors que desprenien els seus canals. Per solucionar-lo contractaren Blakey per que construís un sistema de bombes d'aigua que incrementés el flux

---

<sup>23</sup> Els tècnics eren J.P. Reman Van Badeveld i Joseph Emmanuel Fisher Van Erlach

d'aigua neta pels seus canals i acabar així amb el problema. Blakey va aplicar la tecnologia de vapor que havia ja aplicat als jardins de l'aristocràcia francesa passant de l'aplicació al món rural a l'adaptació de la tecnologia a la ciutat, i des d'un finançament privat a un de públic. Aquest projecte va acabar malament: el dia que l'alcalde d'Amsterdam va visitar els treballs que estava portant endavant va rebentar una bomba d'aigua, emportant-se per davant la carrera de Blakey que va marxar cap a Rússia en busca de millor fortuna. (Roberts, 2004, 259 – 262)

El següent projecte amb tecnologia de vapor va ser el de John Hope, del que hem parlat al principi d'aquest apartat. Com ja hem dit, John Hope va pensar en fer córrer rierols per les seves terres i adequar estanys artificials en la seva propietat. Per aconseguir gestionar l'aigua va fer ús d'una estació d'energia amb un molí de vent, però va resultar insuficient. Hope va contractar Rinze Lieuwe Brouwer, un enginyer aficionat, perquè construís una màquina de vapor amb l'esperança que fos més eficaç. Brouwer estava ben informat sobre la tecnologia de vapor i tenia bones habilitats tècniques. El 1778 havia guanyat una medalla de plata en una competició per descriure com havien de ser millorades les bombes de d'aigua impulsades per la força del vapor i substituir els molins de vent. Aquest tipus d'iniciativa competitiva mostra que, tot i que es pot considerar que els intents d'aplicar la força del vapor a la gestió de l'aigua no havien complert els objectius, s'hi insistia en buscar la forma d'adaptar la tecnologia del vapor a la gestió de l'aigua. El fet que Brouwer fos membre de l'ajuntament d'Amsterdam fa plausible que estigués al cas dels problemes de la gestió de l'aigua de la ciutat i de l'episodi de Blakey.

Per portar endavant el projecte de gestió de l'aigua de John Hope, Brouwer es va posar en contacte amb l'empresa de Boulton i Watt. A mesura que Brouwer consultava els plànols i esbossos es va familiaritzar amb la màquina de vapor de Watt i, convençut de què aquesta no era la tecnologia que Hope necessitava, es va decidir per la construcció d'una màquina de Newcomen. És molt interessant la resposta que li va donar Watt i amb ella s'entén perquè Brouwer no va optar per una tecnologia més avançada que la de Newcomen. Segons ho recull Lissa Roberts:

*“Such an engine [as required by Hope] would be so trifling and its parts so small that they would be very subject to go out of order and would require very nice workmen to put them in order again and as it would have more friction than a larger, would neither give you the satisfaction you require, nor do our invention justice as we should be obliged to alter many of the parts to fit them to its size, besides it would not cost you £50 less than the (large) one” (Roberts, 2009, 198)*

La màquina que va construir Brouwer va ser fabricada en totes les seves parts per artesans locals. El seu cilindre va ser fabricat de llautó, el pistó, de ferro i la bomba d'aigua, construïda en fusta. Va ser muntada l'any 1781 amb totes les seves parts ben encaixades. La màquina funcionava cada dilluns i dimarts en els mesos d'estiu per mantenir el nivell d'aigua necessari perquè pogués fluir pels rierols i estanys. La màquina de Hope va ser admirada perquè funcionava i va donar el resultat que s'esperava d'ella (Roberts, 2009, 258 – 263).





### 3.10 CONCLUSIONS.

En aquest capítol hem donat una descripció de l'aclimatació de la tecnologia de vapor importada d'Anglaterra cap a altres països. La transferència tecnològica és un procés en el que les innovacions s'adapten a les noves condicions locals. Per això, com hem vist, l'empresa de Boulton i Watt feia un estudi del que s'esperava de la màquina que el client encarregava, així com del lloc on havia de ser instal·lada; després de l'estudi podien acabar desaconsellant la seva instal·lació. Eren conscients de la gran expectació social que generava la construcció d'una màquina de vapor i sabien que si la màquina no complia les expectatives i resultava finalment fallida, es generaria desencant i desacreditaria les màquines de vapor en general. L'empresa Boulton i Watt havia de vetllar perquè s'acomplissin dos aspectes del seu negoci: en primer lloc, s'havien d'assegurar que el client que els contractava tenia la solvència econòmica per poder afrontar les grans despeses que suposava la construcció d'una màquina de vapor; Per controlar el factor econòmic l'empresa cobrava quan entregava el material, i abans de començar un projecte s'assegurava de què una casa de canvi pogués avalar que el client tenia un compte solvent. En el cas de contractes amb clients espanyols havien de tenir compte solvent acreditat en una casa de canvi de Madrid o Cadis. L'altre factor que podien controlar era el tècnic; en aquest aspecte hi posaven tot el seu coneixement i constant recerca i innovació.

Per garantir l'èxit de cada projecte l'empresa de Wilkinson va col·laborar en exclusiva en la construcció dels cilindres per Boulton i Watt. A part de la col·laboració de tècnics especialitzats d'altres empreses, Boulton i Watt proporcionaven tot el suport logístic i coneixement tècnic per muntar la màquina i posar-la en funcionament. També era fonamental que un tècnic coneixedor de la tecnologia s'encarregués del manteniment de la màquina allà on era instal·lada, per això calia que un especialista en tecnologia s'especialitzés en el funcionament de la màquina per reparar-la i fer-ne el manteniment durant tots els anys que estigués en funcionament. Llavors podem dir que en tota la sèrie de condicions favorables que feien possible que el projecte de la construcció d'una màquina de vapor pogués ser considerat d'èxit, l'empresa de Boulton i Watt controlava totes les variables que estaven al seu abast, que eren la viabilitat econòmica per la seva pròpia empresa i la solvència tècnica de la màquina mitjançant experts externs a la seva empresa, suport tècnic al client i la col·laboració per formar un expert que en fes el manteniment. Altres factors com els polítics i els socials, per descomptat, estaven fora de les seves mans.

En el cas de la tecnologia del vapor, l'èxit de l'adaptació depenia de factors tècnics, però sobre tot d'un ajust molt delicat de múltiples factors econòmics, polítics i culturals de l'entorn en el qual es feia l'aclimatació de la tecnologia. En aquest sentit, Anglaterra va ser un país on es concentraven moltes condicions en principi favorables pel desenvolupament de la tecnologia del vapor. Hem vist les grans inversions privades que va fomentar Boulton en Soho i l'organització en la producció de la seva empresa que va abaratir costos i en va facilitar l'eficiència en la producció. Aquesta organització en cadena es va consolidar i els viatgers anglesos trobaven a faltar una organització més eficaç quan visitaven instal·lacions mecàniques o industrials en altres països. Per altra part, en el cas d'Anglaterra, aquestes inversions privades van ser acompanyades per altres públiques com el foment de la construcció de canals que va fer possible millorar el transport de mercaderies i del correu, facilitant la producció de qualsevol producte i l'abaratiment de costos. A més, Anglaterra era un país on es facilitava el comerç i la indústria en contrast amb altres administracions que forçaven una càrrega burocràtica més feixuga. Totes aquestes circumstàncies favorables es teixien amb els recursos naturals del país, ric en carbó: el combustible més adient per fer funcionar una màquina de vapor. També el cabdal dels seus rius i la orografia del país feien possible la construcció de canals de navegació. Aquestes dues circumstàncies no es donaven a l'Estat

Espanyol; ni tenia jaciments de carbó suficientment abundants i accessibles, ni va ser possible la construcció d'una xarxa de canals navegables.

Cada cas d'aclimatació que hem presentat aporta la oportunitat de reflexionar sobre els factors econòmics, tècnics, polítics i socials. En el cas de les instal·lacions d'Albion Mills, el que destaca és que l'incendi que va provocar la seva destrucció va impedir que els responsables del projecte poguessin disposar del temps necessari per aconseguir que fos rendible econòmicament per l'empresa promotora i que les dues màquines de vapor que s'hi van instal·lar aconseguissin els objectius que s'esperava d'elles. Aquest cas posa de manifest que molts factors eren favorables al projecte; la inversió de capital privada per part dels accionistes de la empresa va fer possible l'aplicació de la tecnologia de vapor per accionar les rodes dels molins, tot i que les despeses van ser molt superiors a les esperades. També hi van entrar en joc factors socials i polítics com la necessitat d'abastir una gran població urbana d'un aliment tan bàsic com la farina. La implicació dels millors tècnics del projecte com el mateix Watt, qui era l'inventor de la tecnologia de vapor de doble efecte, garantia que els objectius s'aconseguirien. La fàbrica de Soho, dirigida per Watt i Boulton, estava directament implicada en la fabricació de les màquines de vapor d'Albion Mills i era altra garantia per a l'èxit del projecte. Però en tota aquesta xarxa favorable a l'aclimatació de la tecnologia del vapor per moldre farina a la ciutat de Londres es veu la importància de la posada en marxa del sistema després de fer la instal·lació de les màquines. La posada en marxa definitiva de tot el sistema va ser un moment crític en el que l'adaptació tècnica a les noves circumstàncies requeria d'inventiva i expertesa. Era un moment en el que es generaven innovacions per superar els problemes tècnics que calia afrontar. En el cas d'Albion Mills no va ser possible aquest procés d'adaptació tècnica per aconseguir amb els objectius de producció i rendibilitat econòmica a causa de l'incendi que va destruir tot el projecte. I el projecte va ser truncat en un moment en què encara no s'havia aconseguit que la tecnologia del vapor augmentés l'eficiència de la tecnologia hidràulica que era la que es dominava en aquell moment. Els tècnics que continuaven apostant per l'energia hidràulica van lluitar molt per aconseguir dirigir el projecte d'Albion Mills, en veure que havien perdut una gran oportunitat de resultes de l'aposta que es va fer pel vapor, és de suposar que l'oportú incendi va donar una raó més per promocionar la més "confortable" energia hidràulica.

Un cas en el que sí que es va produir el procés d'adaptació de la tecnologia, fent els ajustos necessaris per a aconseguir un funcionament eficient de les màquines, va ser la instal·lació de les dues màquines al barri de Chaillot a París. En aquest context hi havia experts locals que en sabien de tecnologia de vapor, com Jacques-Constantin Périer, que era competent en la construcció i utilització de bombes d'aigua i, en general, la tecnologia hidràulica, que era la que es dominava i s'aplicava en aquell moment. Amb aquesta expertesa l'equip de tècnics que acolliren la construcció de les dues màquines de vapor de simple efecte amb condensador separat estaven en bones condicions per entendre el funcionament d'aquesta nova tecnologia del vapor. I així va ser fins al punt que, després de la instal·lació de les màquines, en pogueren construir altres en els tallers dels germans Périer, sense la necessitat de contractar més l'empresa de Boulton i Watt. Llavors es pot dir que l'aclimatació de la tecnologia de vapor amb condensador separat va aconseguir aclimatar-se en França; en aquesta ocasió la xarxa dels factors tècnics, econòmics, socials i polítics havia sigut favorable. El dia de la posada en marxa del sistema de bombeig d'aigua del Sena amb la potència del vapor es va generar una gran expectació i també va provocar moments d'alta tensió entre l'equip tècnic en veure que els impulsos dels pistons de les màquines per minut no eren suficients; era el moment de fer adaptacions i millores, un pas necessari que requeria de l'expertesa dels tècnics que havien de superar els problemes inicials per als quals, a vegades, es necessitava d'alguna innovació. En aquest moment crític, la màquina no només havia de funcionar, sinó que ho

havia de fer amb més eficiència que altres sistemes coneguts. En el cas de la màquina de Santponç també hi va haver aquest moment crític que es va solucionar amb un sistema innovador per automatitzar la màquina. Aquest sistema va solucionar els problemes que generava la sincronització de totes les vàlvules. Però d'aquest sistema d'automatització en parlarem més endavant.

Tot el procés d'aclimatació a França de la màquina de vapor de simple efecte amb el condensador separat va facilitar una circulació de coneixements que va propiciar l'assimilació de processos tècnics necessaris per la següent aclimatació de la tecnologia de vapor a França: la màquina de doble efecte que arribaria a França de la mà del disseny, sobre paper, d'Agustín de Betancourt. Altra vegada es va donar a França una xarxa favorable en què tots els factors afavorien la nova aclimatació. Per una part, els tallers de Chaillot estaven preparats tècnicament amb l'expertesa que els va suposar la instal·lació de les màquines d'efecte simple amb condensador separat, les quals havien aconseguit comercialitzar. Els tallers de Chaillot estaven proveïts de les tècniques més avançades gràcies a la circulació de coneixements que hi havia amb la foneria de l'illa d'Indret, que era una foneria de l'armada francesa i, per tant, amb una forta inversió econòmica pública que el poder polític havia potenciat pel gran interès estratègic d'Indret. Donat que un dels objectius d'aquesta tesi és la posada en context de la màquina de vapor de doble efecte construïda per Santponç, en el següents paràgrafs farem un resum dels principals passos que es van donar cap la revelació del funcionament de la tecnologia de doble efecte, un secret curosament guardat per l'empresa de Boulton i Watt.

El desenvolupament d'aquest episodi de la Història de la tècnica ha sigut més amplament descrit en aquest capítol. Hem considerat necessari, per donar una visió més global, fer-ne ara un resum per recolzar algunes conclusions sobre el context de la construcció de la màquina de Santponç comparat amb altres països.

Hem vist que per l'aclimatació de la màquina de doble efecte a França hi havia una preparació tècnica que havia sigut possible per les fortes inversions privades i públiques que havien tingut lloc anteriorment, fomentades per interessos privats, públics i d'interès polític que van propiciar la circulació de coneixements tècnics a França. Pel que fa a la part tècnica, l'aportació d'un gran expert en mecànica com Agustín de Betancourt va ser fonamental. El viatge que va situar Betancourt a Anglaterra per desvetllar la tecnologia de la màquina de vapor de doble efecte va ser el resultat de, per una part, una forta inversió pública i, per altra, una sòlida preparació tècnica. Betancourt va veure com funcionava una de les màquines de vapor de doble efecte a Albion Mills i, sense veure res més que part del seu exterior, va fer un disseny de màquina de doble efecte. Al dia següent de veure la màquina va tornar a París per fer públic el seu disseny. En aquell moment els Périer estaven passant per un moment molt crític amb la fallida econòmica de la Compagnie des eaux de Paris i l'afectació que va suposar per la foneria de Chaillot. Donades les dificultats per les que passaven, i en veure que Betancourt havia fet un disseny propi d'una màquina de vapor de doble efecte, van posar a treballar tot el seu coneixement tècnic i el seu taller per a explotar comercialment aquest descobriment. Van obtenir el permís de construcció de màquines de doble efecte només un mes després de demanar-lo, tan prompte com abril de 1789. La confiança dels germans en el disseny de Betancourt va accelerar tot el procés d'aclimatació de la màquina.

Betancourt havia encarregat la construcció d'un model a escala del seu disseny que va ser estudiat per molts experts. Al mateix temps, a finals de l'any 1789 es va registrar a l'Académie des Sciences de Paris, la memòria que Betancourt va escriure per fer públic el seu descobriment, on es desvetllava el disseny i s'explicava el funcionament. Aquesta memòria va ser estudiada per experts

de l'Acadèmia a principis de 1790, i van entregar un informe molt favorable, reconeixent el mèrit de Betancourt i les possibilitats del seu disseny. I finalment, Gaspart Prony va fer difusió d'aquesta nova tecnologia de vapor a través del segon volum de la seva obra *Nouvelle Architecture Hydraulique*, publicada en 1796, on descrivia la màquina que havien construït, a finals de 1790, els germans Périer a l'illa de Cygnes i que accionava pedres de molins de farina.

Després que Betancourt va fer públic el seu disseny de màquina de vapor de doble efecte amb la redacció de la memòria descriptiva de la seva proposta de disseny, caldria esperar uns anys perquè fos possible que aquesta tecnologia s'assimilés en altres llocs d'acollida sense la contractació de l'empresa de Watt i Boulton. Tot i que la memòria descriptiva va ser pública a l'Académie, encara no s'havia construït cap màquina fora dels tallers de Soho on es guardava el seu secret. Considerem que es va poder reproduir la màquina de doble efecte a partir de 1796, any de la publicació de l'obra de Prony on es descrivia la màquina construïda a Cygnes pels germans Périer. Aquesta descripció de Prony va ser la que va utilitzar Santponç per construir la seva màquina a Barcelona vuit anys després de la seva publicació.

Comparar el context espanyol en el que Santponç va construir la seva màquina de doble efecte amb l'aclimatació d'aquesta tecnologia a França ens permet contraposar dos escenaris. En un d'ells, el francès, l'aclimatació va ser possible, mentre que l'escenari espanyol, en aquell moment, no ho va ser. La transmissió de coneixement tècnic fluïa en França, mentre que a l'Estat Espanyol els experts en tecnologia estaven aïllats sense canals de comunicació entre ells i les iniciatives tecnològiques que emprenien tenien poca repercussió. A l'inventari del material del Reial Gabinet de Màquines, manuscrit per Betancourt, ell mateix va deixar per escrit que deplorava la falta de comunicació entre les diferents províncies espanyoles (Rumeu, 1996, 226), és a dir, la dificultat de la circulació d'idees i d'experts. Recolza també aquesta idea el fet que, quan al 1783 Pérez de Estada va recomanar la construcció d'una màquina de vapor Newcomen per al drenatge de les mines d'Almadén, no es contactés amb els Delgado, que eren experts en aquesta tecnologia a Cartagena.

Per alta part, la formació de Pérez de Estala a l'estranger, becat per la Junta de Comerç de Barcelona el 1778, no va ser completada amb la visita a Anglaterra, on hagués pogut ampliar els coneixements sobre la tecnologia de vapor. Aquesta falta d'actualització tecnològica va propiciar que, quan va viatjar a Londres buscant una solució per a Almadén, pensés en la tecnologia Newcomen, superada ja per la màquina de condensador separat de Watt i la de doble efecte que ja es produïa a Soho. El cas d'Almadén reflecteix la falta de circulació dels coneixements i les limitacions de l'expertesa tècnica que va portar a Pérez de Estala a contractar la tecnologia de condensador separat a Wilkinson, decisió que va retardar enormement el projecte d'Almadén. Tampoc hi havia a Espanya institucions de formació per preparar un quadre d'experts necessaris per aprendre noves tecnologies. A part d'aquestes mancances, també es necessitaven fortes inversions econòmiques amb perspectives comercials que motivessin la inversió de diners.

Tot i que el context espanyol no era el més favorable, cal indicar que es feien grans esforços per posar-se a l'altura d'altres països. Així, pocs anys després que Betancourt donés a conèixer la tecnologia de la màquina de vapor de doble efecte amb la memòria descriptiva entregada a l'Académie, es va donar una oportunitat per a instal·lar a Cuba dues màquines de vapor en un projecte que va ser dirigit pel mateix Agustín de Betancourt.

El projecte de les màquines de vapor per a les plantacions de canya de sucre a Cuba ens és molt interessant per la nostra investigació. En primer lloc perquè va ser un projecte hispànic i ens ajuda a

posar en context la màquina de vapor de Santponç. En segon lloc perquè va ser dirigit per Agustín de Betancourt, qui va desvetllar la tecnologia de doble efecte, que seria la que utilitzaria Santponç per a la seva màquina. A més, hem de notar que la tecnologia que va utilitzar Betancourt per dissenyar la màquina de Cuba va ser una combinació de la tecnologia *compound* i la de doble efecte. Les màquines *compound* esquivaven la patent de Watt del condensador separat del cilindre, ja que no utilitzaven condensador.

En el difícil moment crític de la instal·lació i engegada de la màquina el 1797, es van presentar els habituals problemes d'escassa freqüència del moviment del pistó i es va detectar que fallava la comunicació de moviment entre la màquina de vapor i la premsadora de canya de sucre. Aquests problemes tècnics van impedir que la màquina no acomplís amb els objectius per la qual havia sigut instal·lada i, per tant, no superava la tecnologia ja coneguda per premsar les canyes, que en aquell moment consistia en la força animal per moure les premsadores i el treball d'esclaus. Tots els problemes tècnics havien de superar-se amb els ajustos i amb la inventiva de tècnics coneixedors de la tecnologia; aquest va ser el problema, que no hi havia tècnics amb expertesa suficient. Al juny de 1797, quan la màquina de Cuba ja requeria d'un expert que la fes funcionar de forma efectiva, Betancourt havia de partir cap a Cuba, però la captura del vaixell, només sortir del port, per part d'un vaixell anglès va acabar definitivament el projecte cubà. No es va poder superar la posada en marxa de la màquina amb efectivitat suficient per falta d'un tècnic experimentat que donés solucions als problemes.

Aquest capítol permet reflexionar sobre com es va desenvolupar Betancourt fins convertir-se en un expert en tecnologia i facilita el contrast amb el context d'aprenentatge de Santponç. Pel que fa a Santponç, havia col·laborat al camp de desenvolupament tecnològic amb la màquina d'esgramar cànem, que va ser comercialitzada. Va ser acceptat com soci de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i estava en contacte amb els artesans i estudiosos de la tecnologia en Barcelona. Quan l'empresari Jacint Ramon li va proposar l'ambiciós projecte de construcció d'una màquina de vapor per a les filatures de la seva fàbrica, Santponç era el director de la secció de Estàtica i Hidrostàtica de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. Realment, Ramon va acudir a una de les persones millor preparades en aquell temps amb experiència tècnica i amb un interès viu per la tècnica i per posar el coneixement científic a disposició de qualsevol millora social. Tot i això, el mateix Santponç explica que és coneixedor de la existència de la tecnologia de vapor a la que augura un gran futur, però, només va veure de prop una de les màquines que estava construint-se a Chaillot per subministrar aigua a la ciutat de París, i encara no estava acabada. Per afrontar el projecte de Ramon va haver d'aprendre de les fonts que li arribaven de París, en concret del segon volum de la *Nouvelle Architecture hydraulique* de Prony, de la que va aprendre el funcionament de la màquina de doble efecte. El context d'aprenentatge de Santponç va ser molt diferent al de Betancourt amb el qui la Corona espanyola havia invertit recursos econòmics i humans perquè pogués desenvolupar el seu gran potencial. Recordem que el viatge d'estudis que va fer Santponç en acabar els estudis de medina va ser sufragat per ell mateix. La influència social de la família de Betancourt va ser determinant també perquè ell es pogués desenvolupar en els ambients més favorables. Santponç pertanyia a una família de destacats metges de Barcelona que el va orientar en l'elecció dels seus estudis, però no es pot dir que tinguessin influència política ni tampoc que la Corona espanyola invertís recursos en la formació mecànica de Santponç més enllà de que apostés per imprimir la memòria descriptiva de la màquina d'esgramar cànem per fer difusió d'aquesta tecnologia desenvolupada per Santponç i Salvà.

Amb tot el que hem explicat en aquest capítol, respecte la preparació de Betancourt podem dir que era un enginyer que, sense cap altra dedicació, estava abocat al desenvolupament tecnològic i dotat

de grans aptituds per a aportar innovacions en moltes branques de la tecnologia, tant en la tecnologia del vapor, com en la hidràulica, com en el desenvolupament del telègraf òptic i en general, un enginyer molt ben format i que va poder mostrar la seva competència. La bibliografia tècnica de Santponç revela una formació pràcticament autodidacta, amb la qual va aconseguir fer difusió de les noves tecnologies mitjançant iniciatives personals com en el cas de la màquina d'esgramar, les experiències aerostàtiques, la direcció de la secció d'Estàtica i Hidrostàtica de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona, la construcció de la màquina de vapor de doble efecte amb la corresponent memòria descriptiva i també amb la difusió de la tecnologia com a director de la part mecànica de la revista *Memorias de Agricultura y Artes* impulsada per la Junta de Comerç de Barcelona. A part de la seva implicació en la difusió de la tecnologia, amb el desenvolupament de la seva vesant tècnica va aportar una innovació en l'automatització de les màquines de vapor de doble efecte, i tot això sense deixar de ser un metge.

En aquest capítol podem trobar la resposta a la pregunta de perquè Santponç no va consultar la maqueta de doble efecte que estava ja a la disposició del públic en el Gabinet de Máquinas del Retiro de Madrid. La mateixa maqueta que va ser estudiada pels germans Périer per aconseguir la construcció de dues màquines de doble efecte que funcionarien en l'illa de Cygnes per fer anar molins de farina. La resposta la trobem en la falta de comunicació entre províncies que Betancourt deplorava. A l'Estat Espanyol hi havia un context, pel que hem vist, de treball en equip, però equips aïllats. En la construcció de la màquina de doble efecte de Santponç es tornarien a presentar aquestes circumstàncies.

També ens podem preguntar perquè Jacint Ramon, o el mateix Santponç, no van decidir acudir a la fàbrica de Soho per encarregar una de les seves màquines amb l'assessorament tècnic que necessitaven i que Boulton i Watt proporcionaven. La resposta a aquesta pregunta també la podem veure en aquest capítol: per una part, el gran cost econòmic que suposava encarregar un màquina a Boulton i Watt amb un viatge inclòs a Anglaterra per fer el tracte que era el primer gran escull que possiblement va ser suficientment gros per optar per l'opció de construir la màquina amb un equip d'artesans dirigits per Santponç com finalment va passar. Tot i que, segons el relat de Santponç dels fets, no es va produir cap consulta a Boulton i Watt, en cas d'haver-se optat per explorar aquesta opció, sabem que només s'acceptaven encàrrecs acreditats per un compte solvent en una casa de comerç de Madrid o Cadis, i això hagués suposat un altre entrebanc. Llavors, en la setmana que Santponç es va prendre per valorar si acceptava participar en el projecte s'assabentaria, si no ho sabia ja, de què Prony havia descrit una màquina de doble efecte ja en funcionament a París i va decidir acceptar el gran repte de participar en altra oportunitat per l'aclimatació definitiva de la tecnologia de vapor a l'Estat Espanyol.

Com explicarem al capítol 4, sabem que la notícia de la màquina de les mines d'Almadén va arribar a Barcelona i és possible que les informacions d'aquests tipus d'esdeveniments arribessin a Barcelona per la gran expectació que despertaven. No sabem fins quin punt s'assabentaven a Barcelona de tots els problemes tècnics i de demora que havien d'afrontar aquest tipus de projectes fins i tot si eren encarregats a empreses de gran experiència tècnica com la de Wilkinson en el cas d'Almadén o Watt i Boulton en el cas de Cadis. En aquell moment, saber aquestes dificultats i els costos econòmics que suposaven, certament podia ser descoratjador i podia allunyar l'opció de contractació d'una empresa estrangera per la instal·lació d'una màquina de vapor.

## **CAPÍTOL 4: : ELS ELEMENTS DE LA MÀQUINA DE VAPOR DE FRANCESC SANTPONÇ.**

En aquest capítol entrem en el moll de l'os de la nostra investigació; un dels nostres objectius principals ha estat estudiar els elements de la màquina dissenyada per Santponç posant-los en el context de la tecnologia existent en el moment de la seva construcció. Per poder-ho aconseguir hem estudiat les patents de James Watt i hem buscat i revisat les fonts de coneixement a les que Santponç i el seu equip accediren per dissenyar els components de la màquina.

La importància de les aportacions que va fer James Watt a la tecnologia del vapor permeteren utilitzar directament la força del vapor per moure maquinària tèxtil i va aconseguir que fos un energia més eficient abaratint el seu cost. Francesc Santponç va construir la seva màquina sobre la innovació del cilindre de doble efecte, dissenyat per Watt, que va ser desvellada l'any 1796. Abans de posar en context els elements de la màquina de Santponç presentarem, de forma endressada, l'evolució de la tecnologia del vapor desde els seus orígens. Aquesta presentació històrica ens permetrà descriure adequadament els principals elements d'una màquina de vapor i quines eren les seves funcions. Després, estarem en condicions de relacionar els elements de la màquina de vapor de Santponç amb el seu context tecnològic. Aquesta forma de procedir permetrà entendre millor les decisions que va prendre Santponç i el seu equip a l'hora de superar els problemes que va presentar el seu projecte.

### **4.1 EVOLUCIÓ HISTÒRICA DE LA TECNOLOGIA DEL VAPOR**

El mateix Santponç va escriure un article a la revista *Memorias de Agricultura y Artes* en el que feia un repàs històric de l'evolució de la tecnologia del vapor (Santponç, 1816, p.81-96). En la primera part de l'article, Santponç comença parlant d'Edward Somerset, marquès de Worcester (1601-1667) que va ser el primer en experimentar amb vapor d'aigua i que, al 1663, va publicar una obra titulada *Century of inventions* recopilant diverses màquines que foren inventades a aquella època. En la relació d'aquestes màquines hi ha la descripció d'una màquina de disseny propi per bombejar aigua amb l'aplicació de la força del vapor.

Al llarg de la història, les principals etapes en el transcurs de la invenció de la màquina de vapor van començar amb el descobriment de la força expansiva del vapor, l'aplicació d'aquesta força per pujar aigua mitjançant recipients tancats va proporcionar un ús pràctic que va ser explotat comercialment. L'ús de la formació del buit va ser clau tant per al drenatge d'aigua com per produir moviment mecànic<sup>24</sup>. L'aplicació de la força expansiva del vapor al moviment d'un pistó en les dues direccions va consolidar les possibilitats pràctiques de la tecnologia del vapor. Després de l'aplicació de la força del vapor al moviment d'un pistó es van donar moltes modificacions i millores addicionals amb elements complementaris per fer el moviment del pistó homogeni o aconseguir que el moviment de la màquina fos automàtic, també es va aconseguir transformar el moviment lineal del pistó en rotacional i reduir el consum augmentant la eficiència.

Otto von Guericke (1602 – 1686) va ser un físic alemany que va experimentar amb la creació de buit en recipients. Per poder experimentar amb el buit va idear una bomba d'aire el 1650. En 1654 va fer una espectacular demostració amb dos hemisferis perfectament ajustats entre ells

---

<sup>24</sup> Sobre el descobriment de l'atmosfera consulteu Cardwell 1968 capítol 2 pp 51 – 59.



dels que s'havia fet el buit extraient l'aire atmosfèric del seu interior; dos grups de vuit cavalls fent força en sentit contrari no pogueren separar les semiesferes. Va idear altre experiment, més relacionat amb la història de la màquina de vapor, en que va disposar d'un pistó de grans dimensions introduït a dintre d'un cilindre creant el buit a la part de sota del pistó i mostrant la força que adquiria el pistó a causa de la pressió atmosfèrica que espijjava el pistó al fons del cilindre.

És convenient indicar que els primers inventors també pensaren en aplicar la força d'explosius amb la idea de generar amb ells un buit que permetés aprofitar la força de la pressió atmosfèrica. Aquesta primera idea va portar Denis Papin (1647-1712) a pensar en una substància que no deixés cap residu. Al 1690 va dissenyar un enginy que consistia en un tub que contenia a dintre un pistó. S'afegia a dintre una mica d'aigua i s'aplicava calor des de l'exterior generant vapor, cosa que feia pujar el pistó que, un cop dalt, era subjectat. El vapor era condensat al refredar el tub i la pressió atmosfèrica feia baixar el pistó<sup>25</sup>. L'enginy de Papin va utilitzar el principi sobre el que es recolzaria, durant molts anys, la tecnologia de les màquines de vapor: la condensació del vapor, però no tenia ús pràctic (Dickinson, 1958, p. 170-171).

Llavors, trobem en el disseny de Papin dos elements de la màquina de vapor que perduraran: el cilindre i el pistó. A dintre del cilindre es produïa, per una part, la injecció del vapor que movia el pistó cap amunt, i per altra, la condensació del vapor que feia que el pistó baixés. Aquest moviment lineal del pistó era el que s'aplicava a diversos usos que constituïen la finalitat de la màquina de vapor. Destaca el fet que Papin va publicar, junt a Huygens, el 1675 la descripció de màquines per fer el buit a la revista *Philosophical Transactions*. En aquest interessant article modificaren la bomba d'aire de Otto Von Guericke<sup>26</sup>.

El capità anglès Thomas Savery (1665-1713) va ser un enginyer militar anglès que va construir la primera màquina de vapor amb finalitat comercial. Aquesta màquina de vapor va ser concebuda en els seus inicis per fer funcionar bombes d'extracció d'aigua a les mines quan la força dels animals no era suficient o no era aplicable per a drenar l'aigua. Thomas Savery va dissenyar una màquina que creava el buit per condensació del vapor a un recipient. Amb aquest enginy, que no tenia pistó, va elevar aigua i va aconseguir una patent al 1698 (Hills, 1989, p.16-20). A l'article que escriu Santponç sobre l'evolució històrica de la tecnologia de vapor, es posa en valor la contribució d'aquesta màquina i explica que Savery va publicar un tractat sobre una de les seves màquines el 1699 anomenat *The Miner's Friend*<sup>27</sup> (Savery, 1829). Hills descriu aquest tractat com un fullet comercial que demostra l'entusiasme de Savery quan mostrava els seus models, activitat destinada a aconseguir beneficis econòmics. Tot i que l'enginy de bombeig d'aigua inventat per Wincester es descriu de forma molt esquemàtica, la seva descripció és coincident amb la màquina de Savery, ja que consta de recipients sense pistó on es forma el buit amb l'aplicació d'aigua freda per fora del recipient. L'aplicació de la màquina de Savery per drenar aigua de les mines va permetre fer les mines més profundes i rentables.

Aquesta primera màquina, utilitzada principalment per extraure aigua de les mines (Savery, 1829 p.27), no era automàtica i requeria la presència constant d'un operari encarregat d'obrir i tancar les claus de pas. Calia introduir vapor d'aigua dintre de dos recipients, tancar l'entrada de

---

<sup>25</sup> Per veure un dibuix de l'enginy i més explicacions consulteu Nieto-Galan, 2001, p. 34.

<sup>26</sup> Per saber més sobre l'experimentació amb el buit i la seva aplicació a moviment de pistons consulteu Dickinson 1957 i Cardewell 1993.

<sup>27</sup> Hi ha proves de què la data de publicació va ser 1702 (Nieto-Galan, 2001 p. 35). L'edició que hem consultat nosaltres, encara que bastant posterior (1829), indica també una edició anterior de 1702.

vapor i tirar, per sobre d'aquests recipients, aigua freda perquè es produís la condensació del vapor que per diferència de pressió amb l'atmosfera provocava que l'aigua situada sota la màquina entrés per un tub fins als recipients. Aleshores calia tornar a deixar entrar vapor als recipients per espitjar l'aigua fora d'ells cap a la tubera que feia de sortidor d'aigua. Una màquina que va ser instal·lada a Campden House va arribar a quatre cicles per minut (Hills, 1989 p. 19). Però aquest procediment era ineficient energètica i econòmicament. Cal tenir en compte que la totalitat del recipient havia de ser escalfat fins arribar a la pressió de treball i refredat de nou, tirant aigua per sobre, i així crear el buit a cada cicle, perdent-se grans quantitats de calor.

Expliquem, breument, com funcionava la màquina de Savery, fent referència a la figura 2. Tenint en compte que l'aigua que es pretenia drenar entrava per la vàlvula inferior R, el procediment era el següent: s'injectava vapor al recipient P i a continuació es feia condensar aplicant aigua freda per la superfície exterior de P. En aquest moment, la vàlvula R inferior estava oberta, per la qual cosa l'aigua, que es pretenia drenar, pujava, degut a la diferència de pressió, emplenant el recipient P. Un operari observava gotes de condensació per fora del recipient P, fet que indicava que al recipient P havia arribat aigua freda. Llavors, l'operari tancava la vàlvula inferior R i obria la vàlvula R superior, sortint l'aigua que es volia drenar. Finalment, l'operari aplicava de nou vapor al recipient P per espitjar l'aigua continguda en P cap al dipòsit x.

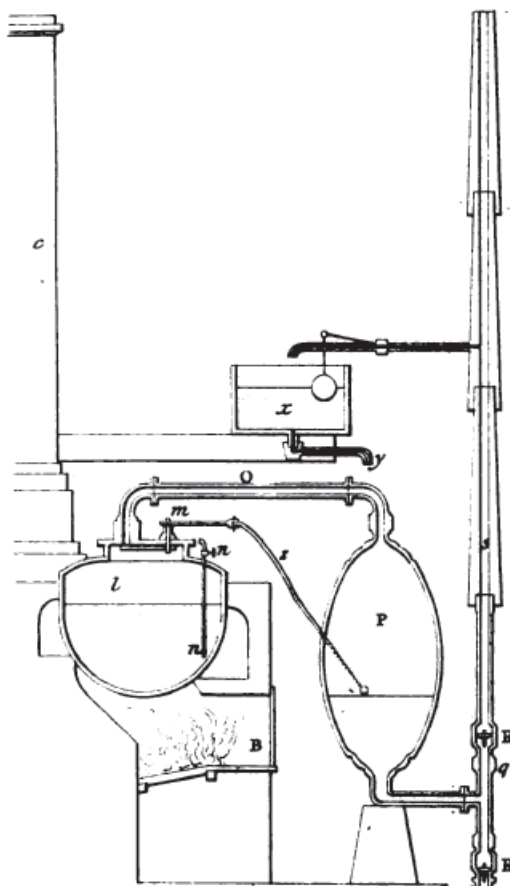


Figura 2 : Màquina de Savery. Font: The miner's friend.

En el disseny d'aquesta màquina apreciem la utilització d'una caldera (lletra B a la figura) per escalfar aigua fora del recipient. La caldera d'una màquina de vapor va ser un dels elements fonamentals que va estar subjecta a l'evolució tecnològica d'aquestes màquines.

Els següents passos en el desenvolupament de la tecnologia del vapor els va donar Thomas Newcomen (1663-1729), un ferrer de Dartmouth en Devon que en 1712 va construir la que cal considerar primera màquina de vapor d'èxit (Hills, 1989, p 24). L'esquema d'aquest tipus de màquines es compon d'una caldera situada a sota d'un cilindre. A dintre del cilindre hi ha un pistó que pot recórrer la longitud del cilindre de dalt a baix. Aquest pistó està enganxat, per la part superior, a un dels extrems d'una gran barra-balancí horitzontal que tenia connectada a l'altre extrem una bomba d'extracció d'aigua. Amb aquesta disposició, l'èmbol recorria el cilindre movent la barra-balancí cap amunt i cap avall aconseguint fer funcionar la bomba d'aigua. Com explica Santponç al seu article, la màquina de Newcomen, igual que la de Savery, feia la condensació del vapor dintre del cilindre. En el disseny de Newcomen s'emprava la pressió atmosfèrica per fer baixar el pistó, ja que, al condensar-se el vapor, i crear un buit a dintre del cilindre, s'aconseguia una pressió menor que l'atmosfèrica que pressionava sobre el pistó i el feia baixar. A causa d'aquesta característica, les màquines de Newcomen també es coneixien com màquines atmosfèriques<sup>28</sup>. Per fer pujar el pistó, s'injectava vapor des de la caldera a la part de sota del pistó. Newcomen va poder extraure aigua des d'una profunditat de 51 iardes a una mina de carbó a prop de Dudley Castle, amb una mitjana de 12 cicles per minut (Hills, 1989 p. 22).

Fent referència a la figura 3 expliquem breument el funcionament de la màquina de Newcomen: la caldera A produeix vapor que entra al cilindre B espitjant el pistó cap amunt. Es tanca la vàlvula V i s'obre la V' per injectar aigua freda a l'interior del cilindre. L'aigua freda fa que es produeixi la condensació i el pistó baixa per la pressió atmosfèrica. El balancí E es mou en direcció del pistó. L'extrem F del balancí mou la bomba d'extracció d'aigua H que té enganxada a ell. S'obre la vàlvula V'' per buidar l'aigua condensada del cilindre. Es torna a repetir el procés.

---

<sup>28</sup> Per veure una descripció detallada de la màquina de Newcomen a un text primari consulteu: Prony, 1790 p. 568.

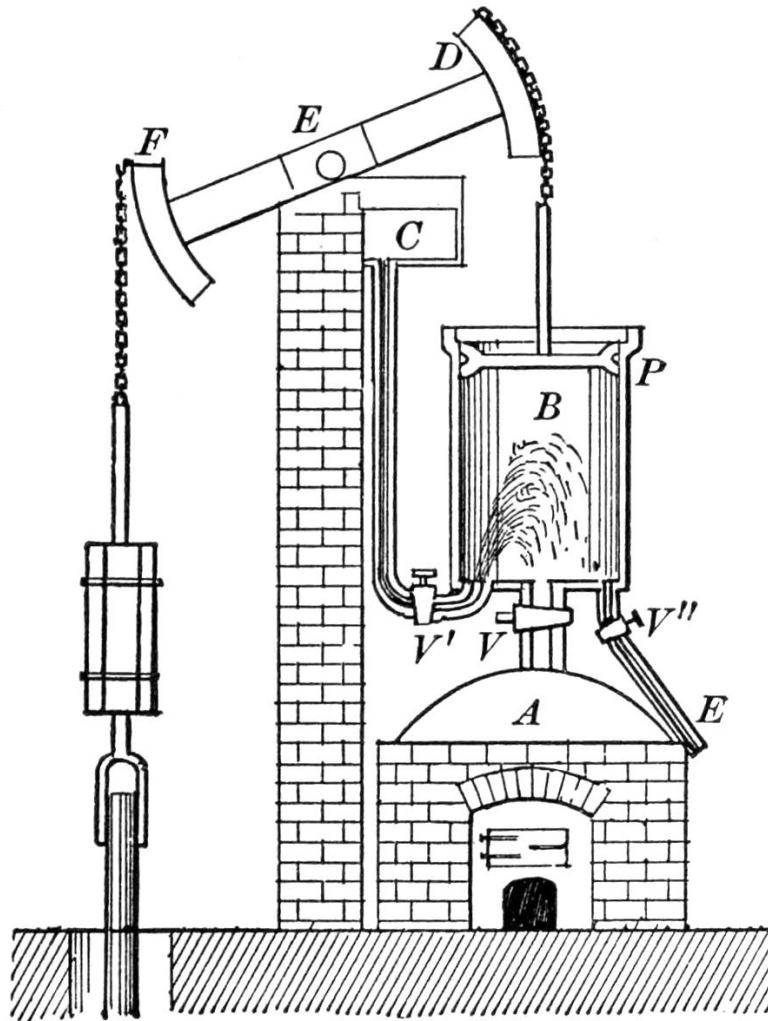


Figura 3: Màquina de Newcomen. Font:  
<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Newcomen6325.png>

Aquest disseny de Newcomen va ser millorat per augmentar l'eficiència energètica, però ja presentava els elements més imprescindibles i que romandrien per sempre, o per molts anys. Aquests elements són la caldera, el cilindre, el pistó i el balancí. De fet, va suposar el disseny de l'estructura bàsica de les màquines de vapor.

Els esforços per millorar la tecnologia de les màquines de vapor es dedicaven a solucionar els problemes que presentaven, però continuaven tenint com a base la condensació del vapor per crear un buit que generava una diferència de pressió. Les millores i les noves tècniques que va introduir Newcomen no foren reconegudes amb cap patent, ja que l'any 1699 el parlament anglès va estendre la patent de Savery, de forma extraordinària, 21 anys més, en contrast amb els 14 anys que normalment es concedien. Això vol dir que la patent va estar en vigor fins l'any 1733 i, encara que Savery va morir el 1713, un grup de propietaris va continuar explotant la patent cobrint amb ella la màquina de Newcomen. Fet que va obligar a Newcomen a construir les seves màquines sota l'auspici d'aquest grup de propietaris fins 1729, any de la mort de Newcomen (Hills, 1989 p. 29).

Newcomen va solucionar diversos problemes com l'entrada d'aire al cilindre, que provocava que el buit fos massa imperfecte perquè la màquina continués funcionant. Per solucionar aquest

problema, Newcomen i John Calley (1663 – 1725), soci de Newcomen, segellaren la part de dalt del pistó amb un capa d'aigua perquè l'aire no entrés a dintre del cilindre. La simplicitat d'aquesta solució va ser essencial perquè els cicles de la màquina milloressin. A part d'aquest problema, també solucionaren el problema de l'escalfament excessiu del cilindre que provocava un temps d'espera massa llarg fins que es refredava. Per a millorar aquest problema dissenyaren una “jaqueta” disposada al voltant del cilindre dins la qual abocaven aigua freda, però la idea vital va ser injectar aigua freda directament a dintre del cilindre en lloc de tirar-la per sobre, com feia Savery amb la seva màquina (Hills, 1989 p. 23-25). Aquesta millora va constituir un tret característic que marca una important diferència entre la tecnologia de Savery i la de Newcomen.

Després de solucionar aquests problemes crítics, Newcomen es va proposar fer la seva màquina automàtica. No se sap com va ser el procediment fins dissenyar el primer joc de vàlvules que controlaven la injecció d'aigua freda, tampoc se sap com va col·laborar Newcomen al seu disseny. Els primers jocs de vàlvules automàtics van ser dibuixats en les representacions de les màquines de Newcomen realitzades per Thomas Barney l'any 1719. Se sap que Newcomen va contribuir a ampliar l'automatització de la màquina perfeccionant el sistema de vàlvules per a injectar, també automàticament, el vapor d'aigua que desfeia el buit (Hills, 1989 p. 26-28).

Arribats a aquest punt és convenient apuntar que Martin Triewald (1691-1747), que va ajudar a Newcomen el 1716 a muntar una de les seves màquines, afirmava que, encara que Newcomen no va deixar cap constància escrita del desenvolupament de les seves invencions, les seves innovacions foren realitzades sense tenir cap constància de les especulacions de Savery i foren desenvolupades de forma independent. L'afirmació que Newcomen no tenia coneixement del que feia Savery també és recolzada en un escrit de Stephen Switzer de 1729 en el qual fins i tot afirma que Newcomen va desenvolupar primer les seves invencions, però Savery estava proper a la cort i va obtenir la patent abans que Newcomen se'n adonés (Dickinson, 1958, p. 173-174). Aquesta idea també està reflectida i defensada en l'article que escriu Santponç, en el qual cita a Switzer quan explica aquesta polèmica explicant que Switzer coneixia tant a Savery com a Newcomen (Santponç, 1816, p. 83).

Respecte el mecanisme que feia automàtica una màquina, conegut com *Registre*, volem posar en valor a Antoine de Gensanne (? – 1780), que l'any 1744 va fer un disseny per facilitar el funcionament d'una màquina de vapor mitjançant un enginyós sistema de palanques i contrapesos que en permetia l'automatització (Hills, 1989 p. 35). Aquesta menció de l'automatització de Gensanne feta per Hills ha sigut fonamental perquè ens ha permès arribar a la font primària que explica el disseny d'aquesta màquina. Ens interessa el treball d'aquest enginyer perquè Santponç va traduir, del francès a l'espanyol, la descripció d'aquesta màquina de vapor. La descripció manuscrita per Santponç, es va trobar a l'arxiu familiar sota el títol “Maquina Simplificada para elevar el agua por medio del fuego”. Gràcies a la cita de Hills hem arribat a l'obra de Robert Stuart *Descriptive History of the Steam Machine* (Stuart, 1824) on hem pogut esbrinar que la traducció de Santponç es va fer a partir de *Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Science*. Aquesta obra, dirigida per M. Gallon, és un recull en set volums on apareixen els dibuixos, descripcions i valoracions de màquines i enginys guardades als arxius de l'Acadèmia de Ciències de París. Aquesta recopilació és una obra que inclou màquines des d'abans del 1699 fins 1754. Aquesta és, doncs, una important font de coneixement d'on Santponç va aprendre sobre la tecnologia del vapor.

Antoine de Gensanne va ser un enginyer de mines francès i el seu disseny de màquina de vapor va aparèixer a la pàgina 300 del volum VII de la relació de màquines aprovades per l'Acadèmia de París sota el títol *Machine pour élever l'eau par le moyen du feu, simplifiée*, i es una descripció completa d'una màquina amb tecnologia Savery, però amb una distribució dels elements que la fan més compacta. La descripció s'acompanya d'una làmina de figures explicatives per fer entenedor el text. És de destacar el disseny compacte amb condensació del vapor per injecció d'aigua a dintre d'un recipient en forma de cilindre sense pistó. Santponç va fer la traducció d'aquesta màquina abans d'acceptar el repte de construir la màquina per Jacint Ramon, en un moment que estava aprenent sobre aquesta tecnologia<sup>29</sup>.

Acabarem aquest repàs per l'evolució històrica de la tecnologia del vapor amb James Watt (1736-1819). Amb ell Santponç va acabar el seu relat històric; clar, en aquell temps, era el que havia desenvolupat la tecnologia de vapor més avançada i comercialitzada. És en James Watt en el que Santponç posa la major atenció per la revelància d'aquella època i perquè va inventar la màquina de doble efecte que va ser la que Santponç va emprar en el seu projecte. Amb la descripció de la tecnologia desenvolupada per Watt entendrem la tecnologia que Santponç va utilitzar per portar endavant el projecte de construcció de la seva màquina.

La tecnologia de Watt es reconeix en què la condensació del vapor d'aigua es fa fora del cilindre, a un recipient conegut com condensador, modificació portada a terme el 1765. D'aquesta manera es mantenia el cilindre calent mentre que el condensador era fàcil de refredar i així s'aconseguia major economia al mantenir el cilindre sempre calent i la màxima potència al aconseguir el buit més fàcilment al condensador (Hills, 1989 p.53). Amb aquesta idea es va arribar a un estalvi d'energia de tres quartes parts (Nieto-Galan, 2001 p. 36). Altra innovació posterior de Watt va consistir en conduir el vapor alternativament a la part superior i a la part inferior del cilindre. D'aquesta manera, el vapor espitjava el pistó cap avall i cap amunt alternativament. Com que la part alta i baixa del cilindre es connectava també al condensador exterior, es formava alternativament un buit a la part alta i a la part baixa del cilindre. D'aquesta forma ja no es necessitava la pressió atmosfèrica per fer sortir i entrar el pistó del cilindre. Aquest tipus de màquines de vapor, dissenyades per Watt el 1784, s'anomenaren "double acting" (Santponç, 1816, p.93), traduït com màquines o cilindres de "doble efecte".

Fixem-nos en la figura 4 per entendre com funcionava una màquina de doble efecte de Watt. El cilindre està marcat amb els nombres 1 i 2 indicant la part de sota i la part de dalt respectivament. Observem com la caldera es connecta al cilindre en dos punts: per la part de sota mitjançant A i per dalt mitjançant C. Per altra part, el condensador es connecta amb el cilindre mitjançant D (part de sota) i mitjançant B (part de dalt). Llavors, el mecanisme funcionava així: s'injectava vapor per sota del cilindre a través d'A, tancant C i D de forma que el vapor no podia entrar per la part de dalt però la part de dalt estava en contacte amb el condensador mitjançant B. Així que el vapor espitjava el pistó per la part de sota, mentre que a la part de dalt es formava el buit mitjançant el condensador. Aquestes dues circumstàncies provocaven que el pistó pugés.

Quan estava el pistó dalt s'obrien les vàlvules C i D, mentre es tancaven B i A. D'aquesta forma entrava vapor per la part de dalt del cilindre i es formava el buit en la part de sota contactada amb el condensador, i el pistó baixava. Continuava el procés repetidament.

---

<sup>29</sup> Per veure més conclusions, llegir la transcripció de la traducció de Santponç i veure les figures de la màquina extretes de la relació de màquines aprovada per l'Acadèmia de París consulteu: Montava, 2014.

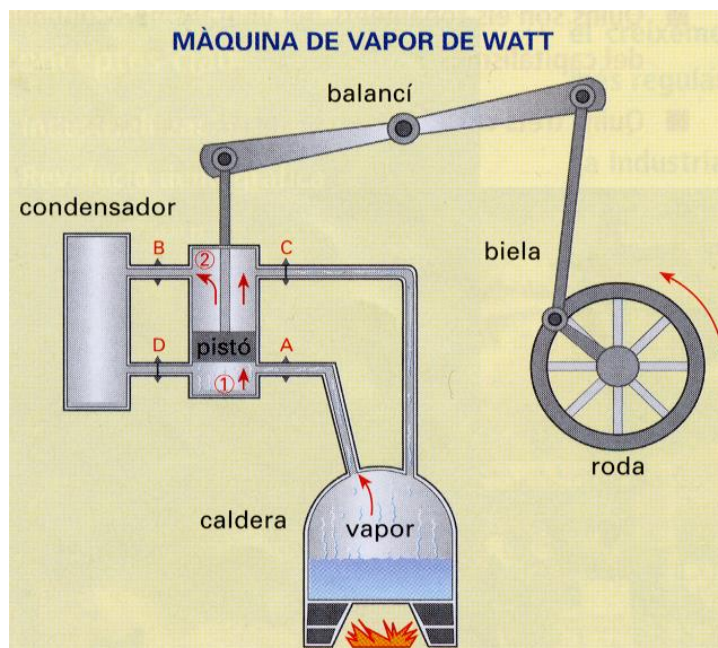


Figura 4 : Màquina de Watt amb condensador separat i doble entrada de vapor al cilindre.  
 Font: [https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index\\_archivos/Page1704.htm](https://www.tecnologia-tecnica.com.ar/index_archivos/Page1704.htm)

Amb la innovació del cilindre de doble efecte, Watt va aconseguir que el moviment del pistó fos molt més suau i lliure de moviments bruscos. Amb aquest moviment lineal continu va ser possible, per exemple, engegar, directament, maquinària tèxtil sense cap inconvenient per produir una tela homogènia i contínua. Fins aleshores, el moviment lineal del pistó no era suficientment homogeni per engegar màquines de filatura. Abans de la invenció de les màquines de vapor de doble efecte el que es feia per aconseguir un moviment suau, i poder engegar màquines tèxtils, era utilitzar la màquina de vapor per pujar aigua a una certa altura i aconseguir un salt d'aigua. Aquest salt d'aigua engegava dispositius hidràulics, de tecnologia molt coneguda pels tècnics, que posaven en funcionament maquinària tèxtil amb la homogeneïtat requerida. Abans i després de les innovacions de Watt, era molt comú que les màquines de vapor s'empressin tant per drenar aigua de les mines com per aconseguir un desnivell continu d'aigua que engegava dispositius hidràulics per posar en moviment maquinàries diverses. Hi ha moltes evidències sobradament conegudes de màquines de vapor de tipus Watt utilitzades per aconseguir salts d'aigua per engegar maquinari hidràulic, per exemple, les màquines de la foneria dels germans Périer eren engegades per rodes hidràuliques a les que es subministrava aigua gràcies a una màquina de vapor, de tamany petit, que feia la funció de pujar aigua de nivell. Aquesta solució no només permetia subministrar potència a fàbriques que estaven lluny de salts d'aigua naturals, amb la tecnologia de Watt s'aconseguia homogenitzar el moviment i major eficiència energètica, i per tant, estalvi de combustible. Jacint Ramon, Francesc Santponç i tot l'equip tenien en ment totes aquests avantatges.

El disseny de la màquina de vapor de doble efecte es guardava amb molta cura als tallers de Soho, on Watt la va desenvolupar. Per què Santponç pogués accedir a aquest valuós secret va haver d'intervenir el geni de Betancourt. Agustín de Betancourt (1758 – 1824) va ser un enginyer espanyol que va revelar el principi de funcionament de la màquina de doble efecte després de viatjar a Anglaterra i veure una d'aquestes màquines funcionar. La màquina que va veure havia sigut instal·lada per l'empresa de Boulton i Watt a Albion Mills. Com que només va poder veure part de la màquina, ja que estava oculta als visitants, el disseny que va presentar

Betancourt pot ser considerat propi tot i que basat en la visualització d'una màquina de doble efecte en moviment. L'Académie des Sciences de Paris va fer públic el disseny de doble efecte de Betancourt. L'any 1996 Prony el va publicar al segon volum de la seva obra *Nouvelle Architecture Hydraulique*, que va ser la font de la que Santponç va aprendre aquesta tecnologia per posar-la en pràctica amb la seva màquina de vapor.

Aquesta és la relació d'aportacions històriques més rellevants que contribuïren a l'evolució de la tecnologia de vapor fins el moment en què Santponç va acceptar el repte de construir una màquina de vapor de doble efecte per a l'empresari de filatures Jacint Ramon. Només volem afegir que respecte el disseny del balancí hi va haver una evolució cap a la desaparició del balancí que va ser substituït per una roda d'inèrcia que movia directament la maquinària, sense la necessitat de construir un dispositiu hidràulic.

El que hem pretès amb aquest breu repàs de l'evolució històrica de la tecnologia de les màquines de vapor és que quedessin clares les principals parts de les que es componia una màquina de vapor: La caldera, el cilindre i el pistó, el condensador i el balancí.

#### 4.2 LA CALDERA I EL FORN

Els primers dos elements importants de la màquina de Santponç que descriurem són la caldera i el forn. A la caldera s'escalfava l'aigua per produir el vapor que posaria la màquina en moviment. El carbó es cremava en un recinte a sota de la caldera conegut com forn.

En la memòria descriptiva que Santponç va escriure, explica que Jacint Ramon, l'amo de la fàbrica, es va implicar personalment en el disseny del forn que donaria calor a la caldera (Annex I, 27), (Agustí, 1983, 157). Amb el propòsit d'economitzar combustible, Jacint Ramon emprèn una experimentació en la que s'executa una espiral utilitzant plaques de ferro seguint les regles del comte de Rumford. Aquesta espiral estava situada a sota de la caldera i la idea del seu disseny era que l'aire calent i les flames, provinents del forn, circuïessin per l'espiral, i així augmentar la eficiència del carbó. Però els resultats no varen ser satisfactoris; per una part, aquest dispositiu no era capaç de produir suficient fluxe de calor per mantenir la màquina en moviment i, per l'altra, la sutja obstruïa l'espiral i impedia la lliure circulació de la calor. Tot i que Santponç conclou que el mètode de Rumford no era adequat per a les màquines de vapor, Jacint Ramon va fer un disseny d'espiral que es tancava hermèticament i es podia obrir per netejar la sutja, però no va solucionar els inconvenients que presentava; amb aquesta espiral no s'aconseguia un subministrament de calor suficient per engegar la màquina de forma satisfactòria.

La construcció de la màquina de vapor de Santponç va ser un projecte que va requerir la presa de moltes decisions i la solució dels inconvenients que es presentaven. Aquest projecte es va caracteritzar per una important i contínua experimentació que impulsava el projecte, gràcies a la qual es va poder construir la màquina i fer-la funcionar. La implicació de l'amo de la fàbrica en la construcció d'un forn que pogués estalviar carbó és una de les diverses fases d'investigació i experimentació que van caracteritzar el projecte.

Aquest episodi de disseny d'un forn òptim que estalviés combustible ens ha permès conèixer una font de coneixement de Santponç i del seu equip per a l'estudi i comprensió de l'energia calorífica. Santponç es refereix als treballs publicats per Benjamin Thomson, comte de Rumford



(1753-1814). Podem considerar Rumford com un físic, inventor i filantrop<sup>30</sup> que, entre altres coses, discrepava de la teoria del calor com una forma líquida de matèria<sup>31</sup>, i va ser partidari dels principis de la teoria moderna que defineix el calor com una forma d'energia. Els seus escrits científics es basaven en experiments dels que prenia dades que eren publicades en els seus articles. Va publicar en revistes especialitzades com *Journal of Natural Philosophy, Chemistry and the Arts*<sup>32</sup> editada per William Nicholson. I a *Philosophical Transactions of the Royal Society*<sup>33</sup>, institució de la que va rebre, el 1792, la medalla anual, Royal Medal, otorgada a avanços de les ciències aplicades. L'any 1797, el Comte Rumford va donar a aquesta institució mil lliures per establir un premi econòmic i dues medalles bianuals, una d'or i altra de plata, a qui presentés un invent d'utilitat pública<sup>34</sup>, de preferència, sobre la naturalesa de la llum i el calor. Avui en dia, la Royal Society continua otorgant aquesta medalla, la Rumford Medal, sota les mateixes condicions.

El comte de Rumford va recopilar els seus treballs publicats en una obra en dos volums dedicats a Maximilian Josep, Elector de Bavària. L'oncle de Maximilian va ser qui va acollir Rumford a la seva cort, concedint-li el títol nobiliari de Comte de Rumford en referència al nom originari de la població nordamericana de la que provenia. Aquesta obra recopilatòria la va titular: *Essays, Political, Economical and Philosophical*. En el primer volum d'aquest recull<sup>35</sup> va reunir les seves idees sobre com alleugerir la vida dels pobres, reduir la mendicitat i buscar feina als pidolaires. També va reflexionar sobre com millorar l'alimentació dels pobres i fer més efectiva i òptima l'assistència social. Totes aquestes idees de millores socials les va desenvolupar en els tres primers assatjos i també al cinquè. En el quart assaig exposa els experiments i conclusions que el conduïren a millorar els dissenys de llars i funerals. El segon volum<sup>36</sup> consta d'altres quatre assatjos dedicats a l'anàlisi dels seus experiments amb calderes que estaven en funcionament en cuines o altres establiments, així com a l'estudi de la calor i la llum.

Santponç va trobar una font de coneixement a l'assaig VI del segon volum de l'obra de Rumford. Aquest assaig consta de set capítols i està dedicat a estimacions de pèrdues de calor i despesa de combustible, efectes del corrent d'aire aplicat sobre un forn amb la finalitat d'avivar el foc i principis generals sobre els que s'han de construir les calderes i els forns perquè funcionin de forma òptima. També presenta els resultats de diversos experiments amb calderes noves dissenyades sota nous principis i descriu cuines públiques i privades dissenyades per ell i construïdes sota la seva direcció; és, en definitiva, un assaig molt pràctic i descriptiu.

Vejam a continuació com Santponç descriu, amb les seves paraules, el forn de la màquina de vapor que va construir:

*“La disposición y construccion del hornillo no es indiferente, y la mejor será siempre aquella que con igual efecto en la produccion del calorico, consuma menos*

---

<sup>30</sup> Per una bibliografia Rumford molt completa consulteu: Ellis, 1876.

<sup>31</sup> Thomson, Benjamin Count of Rumford (1799)

<sup>32</sup> Thomson, Benjamin Count of Rumford (1807)

<sup>33</sup> Exemples d'articles publicats a *Philosophical Transactions*:

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1786)

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1797) XII.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1803)

<sup>34</sup> Thomson, Benjamin Count of Rumford (1797), X.

<sup>35</sup> Thomson, Benjamin Count of Rumford (1796)

<sup>36</sup> Thomson, Benjamin Count of Rumford (1800). Encara que hi ha una edició de 1798, que hem localitzat, nosaltres hem estudiat una edició de 1800.

*combustible. El dueño de esta bomba, que regularmente se sirve del carbon de piedra, hizo ensayo de observar hasta que punto podria economizarse este material por medio de un hornillo executado exactamente segun el metodo del Conde Rumford; no perdonó gasto en la construccion, ni omitió en ella las planchas de hierro colocado para formar perfectamente el espiral insiguiendo las reglas publicadas por aquel autor; sin embargo, la experiencia hizo ver que si bien aquella disposicion de hornillo es excelente para dar a un puchero económico un grado suficiente de coción, no basta para producir con la debida actividad un raudal de vapor capaz de mantener sin interrupción los movimientos de una bomba de fuego.” (Annex I, paràgraf 27), (Agustí, 1983, 157).*

Però, en què consistia el mètode del Comte Rumford? Com estava construïda aquesta espiral? Va tenir èxit la implantació del mètode Rumford a la caldera de la màquina de Santponç? La resposta a aquestes preguntes les trobarem a l'assaig VI del segon volum dels *Essays* de Rumford, on descriu una sèrie d'experiments que fa amb les calderes de la cuina de la “House of Industry”. Aquesta institució tenia en les seves instal·lacions una casa de caritat que feia un dinar diari per 1.000 o 1.500 persones. També experimenta amb les calderes de la cuina de la “Military Academy”. Tots dos establiments havien estat promoguts per l'Electoral de Bavària que havia acollit Rumford a la seva cort.

Els forns i calderes que Rumford dissenya i descriu, i que considera les més adients, presenten unes característiques comunes. Respecte al forn, generalment té forma cilíndrica, el seu element principal és una graella circular còncava on es crema el combustible, i té una porta doble que es tanca hermèticament. L'accés al forn consisteix en una obertura en forma de con truncat de forma que les parets del con reflecteixen el calor cap a l'interior del forn. El combustible es crema a la graella i les cendres cauen a un dipòsit inferior que les recull. El dipòsit de la cendra té una porta amb un regulador, és a dir, una finestra que es pot obrir més o menys per controlar el feix d'aire que avivarà el foc; la caldera es situa a sobre del forn.

A continuació presentem un dibuix de la graella de crema de combustible. Aquesta graella, com hem dit, descansa sobre un con truncat pel qual cauran les cendres cap al dipòsit on es recullen. La finalitat de la forma del con truncat, igual que la apertura del forn, és la de reflectir el calor cap al lloc on crema el combustible.



Fig 5: Graella circular<sup>37</sup>.

<sup>37</sup> Aquest dibuix forma part de la planxa 1 de l'assaig VI del Volum II dels *Essays* del Comte Rumford, p. 197.

Com el mateix Rumford reconeix en diverses ocasions als *Essays*, no es coneixia quina era la naturalesa de la calor<sup>38</sup>, tampoc hi havia consens en com es produïa la seva transmissió<sup>39</sup>. A finals del segle XVIII i començaments del XIX s'especulava sobre si el calor era un fluid o corresponia a un increment del moviment de les partícules d'un cos<sup>40</sup>. Però Rumford, basant-se en experiments que va presentar al llarg del capítols II, III i IV de l'assaig VI, conclou que la flama no és conductora de la calor i que, aplicant un feix d'aire a un foc, s'aconsegueix accelerar la combustió, però aquest aire suposarà una pèrdua de calor, si es deixa escapar. Basant-se en aquestes observacions, Rumford conclou que escalfar per sota una caldera és la millor forma per minimitzar les pèrdues de calor; la calor que sigui aplicada a les parets de la caldera tindrà més pèrdues. Per això proposa col·locar les calderes a sobre del forn, cosa que ja es feia, però procurant que el forn sigui més petit que la caldera. A més, considera que el feix d'aire que entra pel registre de la porta de les cendres i surt pel fumeral cal fer-lo girar en remolins perquè estigui el major temps possible sota la caldera per transmetre més eficientment el calor. I és d'aquests raonaments d'on surt la idea de construir una espira sota la caldera per la qual circularà la flama, l'aire calent i el fum.

La millor disposició del forn, segons el mètode de Rumford, és aquella en la que la graella de crema de combustible es situa a dintre d'una tubera que forma part del circuit o espiral que es situa a sota de la caldera. L'aire, el fum i la flama circulen per aquest circuit que desemboca en el fumeral. El final d'aquest circuit, idealment, ha d'haver-hi una vàlvula reguladora per controlar la sortida de fum i aire cap al fumeral. Presentem a continuació la figura 6 que mostra el circuit de circulació de la calor i el fum situat sota la caldera i on es veu on cal col·locar la graella circular de crema de combustible. L'accés al forn en forma de con invertit s'indica amb línies discontinúes (c,d).

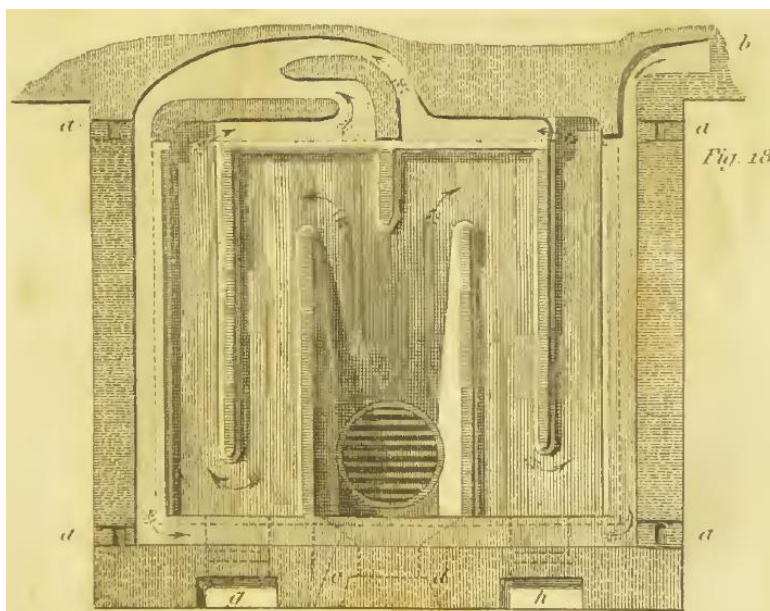


Fig. 6: Circuit de circulació de la calor i el fum<sup>41</sup>.

<sup>38</sup> Pàgina 35 i 36 del Volum II dels *Essays*.

<sup>39</sup> Pàgina 60 del Volum II dels *Essays*.

<sup>40</sup> Pàgina 35 i 36 del Volum II dels *Essays*.

<sup>41</sup> Aquest dibuix forma part de la plantxa 3 de l'assaig VI del volum II dels *Essays* del Comte Rumford, p. 201.

És Ignaci March, de l'equip d'artesans de Santponç, qui construeix l'espiral de sota la caldera. Els problemes que presenta l'espiral de la màquina de Santponç consisteixen en què el disseny que presenta Rumford a la seva obra, al que correspon la figura 6, està pensat per calderes molt més grans que s'utilitzaven per fer cervesa i per escalfar dipòsits molt més grans que la caldera de la màquina de Santponç. Així que, en disminuir la escala de la construcció, s'omplia de sutja amb molta més facilitat i quedava obstruïda.

En la memòria descriptiva de la màquina de vapor, Santponç es refereix a les calderes descrites per Rumford com *marmitas* referint-se a les que s'utilitzaven per a coure menjar per molta gent (Agustí, 1983, 157). Per aquests tipus d'olles grans Rumford recomanava construir-les a la manera d'una caldera amb xapes fines. Però Santponç explica que les calderes de les màquines de vapor han de ser massises per la qual cosa, al contrari que les marmites, no es poden treure de sobre del forn per poder netejar de sutja l'espiral. Aquesta circumstància feia molt difícil netejar l'espiral d'una màquina de vapor.

Tot i aquests inconvenients, Jacint Ramon, l'amo de la màquina, va fer contruir un tancament hermètic especial de l'espiral que permetés obrir-la i tancar-la per poder-la netejar. Però aquesta solució no va evitar el problema. Finalment, Ignasi March va idear una espiral més ampla amb una graella més reduïda al seu interior que va solucionar els problemes. Aquest disseny el va practicar al model de màquina a escala que utilitzaven per fer experimentació i encara va ser més efectiu quan el va aplicar a la màquina definitiva, aconseguint un foc més viu i economitzar combustible.

Després del període d'experimentació i aprenentatge amb el forn i la caldera, en el qual aplicaren el mètode de Rumford podem concloure que:

1. Els dissenys de Rumford de calderes i forns eren ideals per coure menjar, que era un dels propòsits principals dels seus dissenys. Els dibuixos que va publicar per donar a conèixer el disseny d'espiral, corresponien a dimensions de calderes que eren, aproximadament, tres vegades més grans que la caldera de la màquina de Santponç. Les espirals petites eren fàcils de netejar perquè eren fàcils de manipular pel seu reduït tamany i perquè estaven fetes de xapes fines, i per tant, pesaven poc. Les espirals grans per a calderes grans no patien tanta obstrucció, i no requerien de tanta neteja pel seu manteniment. En canvi, el tamany d'espiral que necessitava Santponç era massa gran per ser manipulat i massa petit per no obstruir-se.
2. En el cas de la caldera per a una màquina de vapor, el disseny de l'espiral de Rumford impedeix la lliure circulació de la flama i la calor. Aquest impediment es devia a que el conducte de l'espiral resultava limitat, en reduir proporcionalment el seu tamany.
3. Ignaci March va construir una espiral més ampla, proporcionadament, que les de Rumford, i una graella molt més reduïda. En aplicar-la al prototip per l'experimentació va funcionar bé i encara millor quan van aplicar aquest disseny per la màquina gran.
4. A més a més, Jacint Ramon va fer que s'instal·lessin uns conductes connectats a l'espiral, que es poguessin tancar hermèticament, per poder netejar la sutja que s'acumulava a l'espiral.
5. Amb el nou disseny d'espiral, després d'un període d'experimentació i proves, l'equip de Santponç va aconseguir una flama més viva i un estalvi de combustible.

Amb l'explicació d'aquesta millora Santponç posa en valor la implicació dels artesans que van participar en el projecte, concretament l'arquitecte Ignaci March i també Jacint Ramon molt involucrat en el projecte i interessat en abaratir els costos de funcionament de la màquina.

Respecte els materials, la caldera estava feta de coure i el forn de ferro. Santponç només dona una mesura; la del diàmetre del cilindre. Però respecte de la caldera dona les proporcions que havien de seguir els diferents diàmetres que la composaven. A l'obra *Ciència i Tècnica a Catalunya en el segle XVIII* Jaume Agustí Cullerell va publicar unes notes de Santponç, escrites en català, en les que hi apareixen dibuixos esquemàtics de la caldera i el cilindre i en les que indica algunes mesures (Agustí, 1983, 134 – 137). Malauradament Agustí no va indicar la font de les notes, i al llarg de la nostra investigació no hem trobat la font d'aquesta informació.

Pel que fa a la caldera de la màquina de Santponç, estava composta de dues parts: una semiesfera que constituïa la cúpula de la caldera i un con truncat invertit sobre el qual descansava la cúpula. La base de la caldera presentava una concavitat de 3,48 cm<sup>42</sup> (1,5 polçades)<sup>43</sup> que aprofitava per augmentar la superfície de contacte amb l'energia calorífica del forn. Pel que fa al tronc truncat, les seves dimensions eren de 1,072 m (3 peus i 10 polçades) de diàmetre superior i 1 metre de diàmetre inferior (3 peus i 7 polçades). L'altura era de 48,8 cm (1 peu i 9 polçades).

#### 4.3 ELS ENGRANATGES

En aquest apartat descriurem com es va aconseguir transferir el moviment del pistó de la màquina de vapor de Santponç a les màquines de filatures de la fàbrica de Jacint Ramon que calia posar en moviment.

Santponç presenta a la seva memòria dues opcions per transferir el moviment del pistó cap les màquines que calia engegar: la primera solució va consistir en uns engranatges que transformaven el moviment lineal del pistó en rotacional, que posava en moviment directament les màquines de filatures. La segona opció era una peça de metall que unia el pistó de la màquina a una barra de fusta que movia, mitjançant dues palanques, els èmbols de dues bombes d'extracció d'aigua. Amb aquestes bombes es generava un salt d'aigua que engegava mecanismes hidràulics, per posar en moviment qualsevol tipus de màquina o molí. Santponç presenta les dues alternatives per respondre a les diverses necessitats que els interessats en aquesta tecnologia podien requerir.

Pel que fa a la primera opció, els engranatges que Santponç dibuixa als plànols de la màquina estaven dissenyats per transformar el moviment lineal del pistó en moviment circular. Consisteixen en dues rodes iguals amb 48 dents que estan 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 16 dents.

Santponç explica a la memòria (Annex I, paràgraf 57), (Agustí, 1983, 170) que aquests engranatges varen ser dissenyats per un anglès anomenat Sadler. Aquests engranatges permetien posar en funcionament maquinària tèxtil directament a partir del moviment lineal del pistó. Hem

---

<sup>42</sup> Suposem que Santponç es va referir a les polçades castellans. D'acord amb les dades de la Gazeta del 28 de desembre de 1852 en la que es donen les equivalències de pesos i mesures de cada regió amb el Sistema Internacional de mesura: 1 polzada equival a 2,32 cm i 1 peu a 0,28 m.

<sup>43</sup> Amb les dades del llibre d'Agustí.

indagat entre les publicacions periòdiques de la època i ens hem fixat en la revista *Annales des Arts et Manufactures*, Aquesta publicació periòdica estava al càrrec de M. O'Reilly i promoguda per la Société d'Encouragement pour l'Industrie Nationale. A la pàgina 211 del volum 1, publicat per primer cop el 1800, apareix la descripció de la màquina de Sadler citada per Santponç. Nosaltres hem trobat, per internet, una edició d'*Annales* de l'any 1818 que, malauradament, té tallades les figures escanejades i no es poden apreciar els engranatges. Es dona la circumstància que a la pàgina 75 de la mateixa publicació apareix la descripció d'una màquina dissenyada per Cardwright, a qui Santponç també nomena en la memòria descriptiva. La màquina de Cardwright utilitza els mateixos engranatges, però tampoc es pot veure la figura a la que fa referència la seva descripció. Hem trobat la descripció de la màquina de Cardwright a altra publicació periòdica de l'any 1798 anomenada *Philosophical Magazine*. A la pàgina 3 del volum 1 que es pot consultar per internet, trobem la descripció de la màquina de Cardwright amb els engranatges perfectament visibles en la planxa 1<sup>44</sup>:

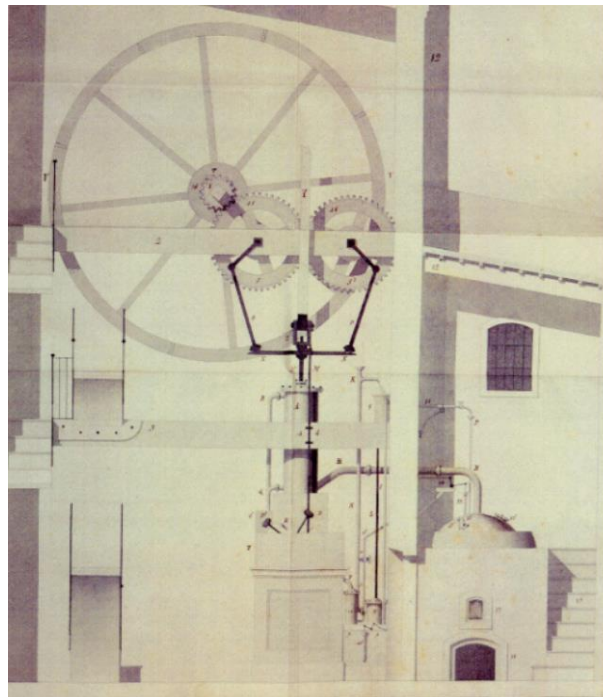
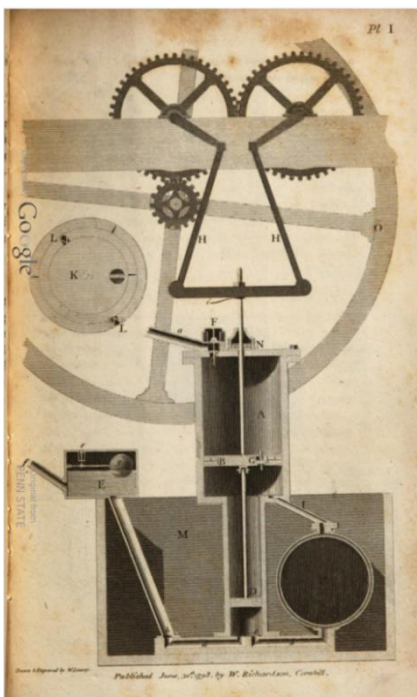


Figura 7 i 8: Comparació dels engranatges de la màquina de Cardwright (esquerra) amb els de Santponç (dreta).

Aquests engranatges també estan presents en una obra publicada després de què Sanponç construís la seva màquina de vapor. Es tracta de *Essai sur la composition des Machines: Programme de curs elementaire*. L'obra constitueix un manual de mecanismes preparat per José Maria de Lanz i Agustin de Betancourt l'any 1808, emprat en el curs de mecànica de l'École Polytechnique, a càrrec del professor Jean Nicolas Pierre Hachette Hachette. En una taula de classificació de transformació de moviments apareixen els mateixos engranatges:

<sup>44</sup> Podeu consultar la figura:

<https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=pst.000025234138;view=1up;seq=447>

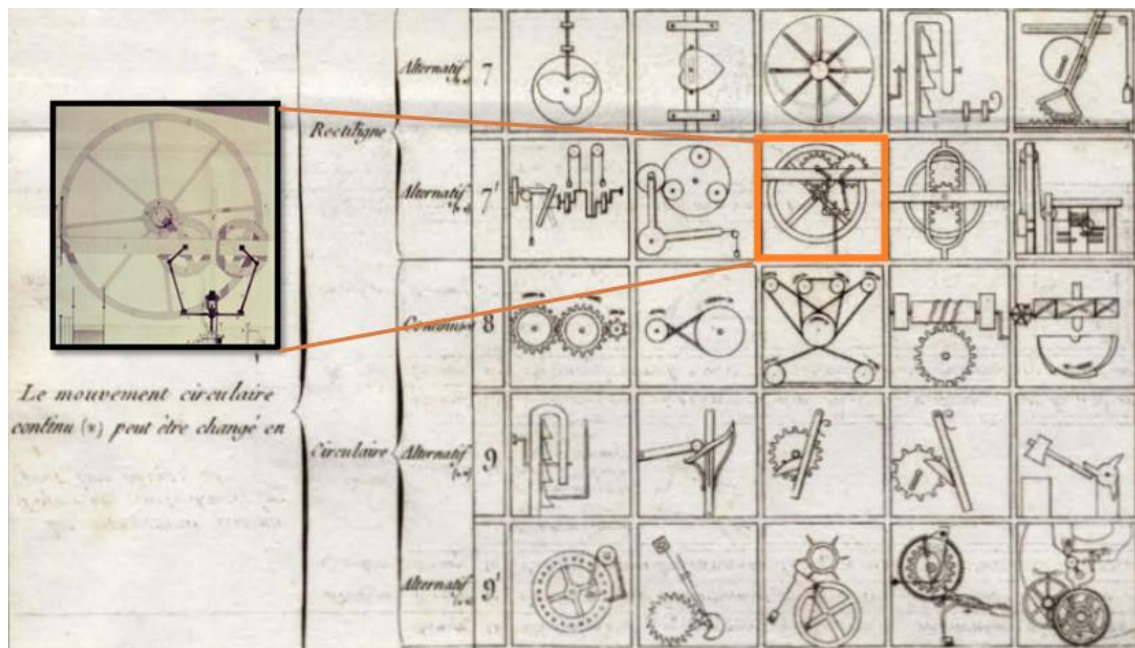


Figura 9: Engranatges que dibuixa Santponç en els plànols de la seva màquina representats al llibre de Lanz i Betancourt de 1808.

Sobre aquests engranatges encara podem concloure més coses. Però primer volem explicar les circumstàncies que portaren a fer ús d'un model de màquina de vapor per començar un període d'experimentació. Les coses van anar de la següent manera: l'equip de Santponç es va trobar amb importants dificultats quan van posar la màquina de vapor en moviment, les dificultats venien dels problemes de coordinació de les vàlvules que donaven pas al vapor perquè circulés pels components de la màquina. Aquestes vàlvules havien d'obrir-se i tancar-se en el moment just per injectar el vapor alternativament a la part de sota i la part de dalt de pistó. A més, també havien d'obrir-se i tancar-se per deixar sortir el vapor cap del condensador quan es provocava el buit. Les vàlvules s'unien a l'anomenada *corredera* que solia ser una fusta o ferro, que estava unida del del balancí al pistó de la mateixa màquina i movia les vàlvules per obrir-les o tancar-les automàticament amb el moviment del pistó – balancí. A la memòria, Santponç descriu aquestes dificultats (Anex I, paràfs 4 – 12), (Agustí, 1983, 145 – 147), les considera dificultats comunes a totes les màquines de vapor i explica que són degudes a la gran quantitat de vàlvules que calia fabricar amb precisió i que havien d'actuar en el moment precís. Quan es van donar els primers moviments de la màquina, l'empresari Ramon va veure que el sistema d'automatització de la màquina no havia aconseguit la precisió requerida i això provocava moviments violents del pistó. L'equip de Santponç es trobava en el delicat moment de fer anar la màquina amb la regularitat adequada i amb la freqüència de pistonades per minut suficient i homogènia. Era el moment d'afrontar els problemes que impedièn que la màquina fos un millor sistema que el que s'aplicava abans de construir-la. Aquest moment era el que requeria el treball de tècnics que, amb la seva inventiva, en el millor dels casos, proposarien innovacions per aconseguir una màquina eficient, és a dir, una tecnologia millor que la que s'aplicava abans.

Per superar aquestes dificultats, l'equip de Santponç va començar una etapa d'experimentació per millorar els defectes que calia corregir. Amb el finançament de Jacint Ramon, construïren una màquina petita a escala per fer proves. Els objectius de la construcció d'aquest model a escala van ser tres: el principal va ser experimentar amb ell per solucionar els problemes de la màquina; en segon lloc, el model seria utilitzat per usos domèstics i, en tercer lloc, seria el

prototip que caldria seguir per corregir la màquina gran en cas que l'experimentació amb el model donés bons resultats. Aquest model va ser dibuixat per Santponç en la memòria descriptiva i correspon a la primera figura de la memòria. Aquesta figura no estava recollida a l'esborrany conservat en l'arxiu de Pere Basil a Olot. Gràcies a la identificació de la memòria de Santponç manuscrita i preparada per a ser impresa, hem pogut tenir accés a la figura que representa el model o prototip amb què l'equip de Santponç va portar endavant l'etapa d'experimentació. En aquesta figura s'aprecia el sistema d'engranatges amb què es transformava el moviment lineal del pistó en moviment rotacional i algunes parts de la màquina es dibuixen amb més detalls, com l'aplicació de la corredera al Registre de la màquina. Gràcies a l'experimentació amb el prototip, l'equip de Santponç va poder solucionar els problemes que tenia la màquina i ho va fer amb una important innovació en el disseny d'un nou sistema d'atomització de la màquina del que parlem en el següent apartat.

Amb el model, que presentem a la figura 10, van posar directament en funcionament una màquina anglesa que va filar perfectament el cotó de forma homogènia. El sistema d'engranatges convertia el moviment lineal del pistó en rotacional i van aconseguir transferir el moviment directament a una màquina de filar. El prototip funcionava a setze pistonades per minut i va treballar durant tres setmanes al costat de les cavalleries que habitualment havien fet moure les filatures. La comparació de moviments va fer evident la superioritat del model front les cavalleries, la homogeneïtat de les pistonades feia moure els rodets amb molta igualtat, mentre que les cavalleries generaven un moviment desigual i ondulatori (Annex I, paràgrafs 18 i 19), (Agustí, 1983, 150 – 152). Però deixem parlar a Santponç sobre la satisfacció dels resultats:

*“No fué difícil hacer la comparacion de la igualdad del movimiento de esta maquina de vapor con el de las movidas por Cavallerias, unas y otras estaban en la misma sala (...) bastaba el oido para que cualquiera pudiese convencerse de la diferencia de igualdad en los movimientos de estas maquinas de hilar, pues al paso que el ruido de los rodetes era uniforme en la máquina movida por la bomba de vapor, parecia undulatorio el que era efecto de los repetidos empujes de las cavallerias en las demas máquinas”* (annex I, paràgraf 18)

Jacint Ramón va quedar satisfet dels resultats de les proves amb el prototip i va decidir que era el moment d'aplicar el model a la funció per la qual sembla que havia sigut creada la màquina: la d'aplicar el moviment del pistó, sense els engranatges, a dues bombes d'aigua que estaven destinades a crear un salt d'aigua amb el que es movia una roda hidràulica. Aquest salt s'aconseguia amb una quantitat d'aigua fixa, que es reutilitzava contínuament. La roda hidràulica posava en funcionament vàries màquines de filar. Segons apunta Santponç, els assatjos amb el prototip per aconseguir el salt d'aigua assolien els següents objectius: el pistó del prototip va funcionar amb igual regularitat que quan estava unit als engranatges. Les bombes d'aigua funcionaren procurant un salt d'aigua continu. El sistema hidràulic que impulsava el salt d'aigua es va connectar a vàries màquines de filatura. Tota la instal·lació aconseguia que l'aigua es reciclés a cada cicle (Annex I, paràgraf 19), (Agustí, 1983, 151).



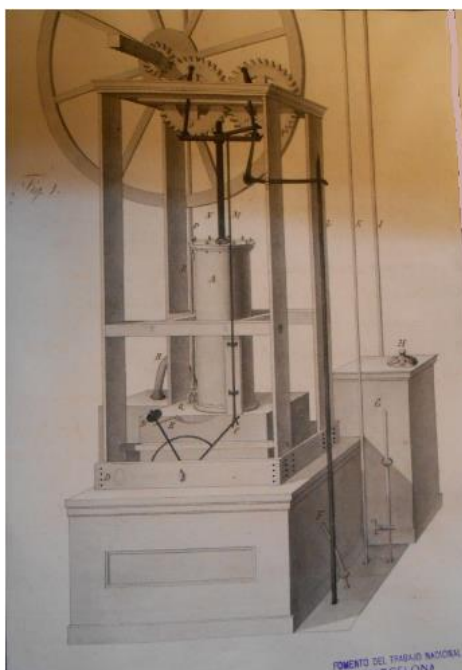


Figura 10: Model o prototip de la màquina construït per l'equip de Santponç i que va ser utilitzat per fer experimentació. Correspon a la figura 1 de la memòria guardada a la biblioteca de Fomento del Treball

Els engranatges no servien per a moure les bombes d'aigua, el moviment lineal del pistó no calia convertir-lo en rotaciona. Anem ara a descriure el sistema per al qual va optar Santponç per fer anar les bombes d'aigua. Santponç va emprar una peça de ferro que unia el pistó amb una fusta de la que es varen penjar dues bombes d'aigua mitjançant dues palanques. Les palanques feien jugar els èmbols de les bombes d'aigua; quan el pistó de la màquina de vapor pujava, també pujava l'èmbol d'una de les bombes d'aigua, mentre que l'altre baixava, aconseguint que una de les bombes fes de contrapès de l'altra.

L'opció d'una màquina de vapor que posés en funcionament dues bombes hidràuliques per aconseguir un salt d'aigua té molts precedents. Es poden trobar molts casos d'aquesta solució en diversos països i contextos. Un cas significatiu el trobem en la foneria de Chaillot fundada cap al 1780 a Paris. Aquesta foneria va fabricar màquines de vapor, màquines hidràuliques, bombes d'aigua i utensilis variats i el seu motor era una màquina de vapor que elevava aigua per alimentar una roda hidràulica que posava en funcionament el sistema hidràulic que engegava tots els mecanismes. A l'Illa de Cygnes, també a Paris, es varen instal·lar dues màquines de vapor, que també eren de doble efecte, que feien de motor de dotze molins de farina cadascuna. Les màquines de vapor proporcionaven un salt d'aigua mitjançant bombes que posaven en moviment els sistemes hidràulics que feien funcionar les dues línies de dotze molins cadascuna. La utilització de màquines de vapor per elevar aigua es donava també a altres fàbriques<sup>45</sup>.

Com sempre passava, la posada en marxa d'una màquina de vapor generava molta expectació i la de Santponç no va ser menys. A la fàbrica de Jacint Ramon va acudir un seguit de persones per veure el prototip en funcionament, explica Santponç (Annex I, paràgraf 20), (Agustí, 1983, 151) que eren persones instruídes de diferents condicions, de diversos llocs d'Espanya i estrangers. Entre les primeres visites, va destacar la presència de Blas de Aranza i Doyle (1753

<sup>45</sup> Payen (1969) pp. 138-139, 152, 155-156.

– 1813), que era l'intendent de l'exèrcit a Catalunya i qui va comunicar a la Corona l'èxit de la màquina de vapor de Francesc Santponç. El 23 d'agost de 1805 Blas de Aranza va anunciar a Santponç l'encàrrec, de part de la Corona, de redactar una memòria amb la que fos possible entendre el funcionament de totes les parts de la màquina al major nombre de lectors, perquè els fabricants de qualsevol punt de l'Estat Espanyol coneixessin els avantatges del seu ús. Val la pena fer notar que la memòria va ser escrita abans que la màquina gran fos posada en moviment.

#### 4.4 ESTUDI DEL REGISTRE DE LA MÀQUINA.

En aquest apartat presentem l'estudi del mecanisme que feia automàtica la màquina de vapor de Santponç. El disseny d'aquesta peça va ser fruit del treball d'investigació i experimentació del que hem parlat en l'apartat anterior. La solució de Santponç va fer més simple l'automatització de la màquina de vapor, amb el disseny d'una peça que va solucionar els problemes de sincronització i ajust que presentaven les vàlvules de la màquina de Santponç.

En el vocabulari tècnic del segle XVIII-XIX era habitual la paraula *Registre* per a referir-se al mecanisme que feia que una màquina, de qualsevol tipus, funcionés de forma automàtica. Per aconseguir que una màquina de vapor fos automàtica les vàlvules d'entrada i sortida al cilindre havien de tancar-se i obrir-se en el moment requerit. Si la màquina tenia condensador, també calia automatitzar l'entrada del vapor a ell. Era habitual que aquestes vàlvules estiguessin connectades al pistó o al balancí de la màquina mitjançant una *corredera* que, com hem dit, era una fusta que unia el pistó del cilindre o el balancí de la màquina a les vàlvules, de forma que el moviment recíproc del pistó o balancí es transmetia a les vàlvules, obrint-les o tancant-les.

##### 4.4.1 Dificultats que presentava el Registre d'una màquina de vapor.

A mesura que les màquines de vapor anaven incorporant nous elements, el registre havia d'obrir i tancar més vàlvules. Una de les millores introduïdes per James Watt en les màquines de vapor va ser la construcció del condensador: un recipient especial, exterior al cilindre, on es generava la condensació del vapor. Aquesta innovació, junt al doble efecte, feia que cada vegada es requerissin mecanismes més sofisticats per a la distribució del vapor en les màquines. Calia que l'entrada del vapor al cilindre i al condensador es produís en el moment precís perquè el moviment del pistó a dintre del cilindre fos regular i no s'aturés a causa d'una manca de coordinació. En diverses ocasions al llarg de la memòria descriptiva, Santponç expressa les dificultats que presenta la construcció d'un registre per a la distribució del vapor. Així, qualifica els jocs de vàlvules de complicats, molt difícils d'executar i combinar<sup>46</sup>.

En efecte, un dels problemes que va presentar el primer intent de posada en marxa de la màquina de Santponç va ser degut a les vàlvules que calia dissenyar i construir perquè el vapor circulés correctament per els conductes de la màquina. En el paràgraf de la memòria que reproduïm, Santponç explica el problema de la màquina: el moviment de la màquina no és homogeni, sinó violent. També n'assenyala la causa: el desajust de les vàlvules. Així Santponç advertia dels problemes que podien trobar els constructors de màquines i aprofitava per explicar la innovadora solució que va donar al problema. Deixa veure, així mateix, que la màquina estava perfectament executada i que el desajust de les vàlvules era habitual:

*“Apenas hubo observado Don Jacinto Ramon los primeros movimientos de esta Máquina, reflexionando sobre ellos, conoció muy luego que aunque estaba executada perfectamente, no dexaban de notarse en ella algunos inconvenientes por defecto de*

---

<sup>46</sup> Consultar paràgraf 12, 13 i 14 de la transcripció de la memòria a l'Annex I.

*invención que aunque comunes en esta especie de maquinas, tal vez podrian remediarse o evitarse: siendo los principales la violencia de los movimientos del balancin, las muchas valvulas y juegos de piezas que se necesitaban para moverlas, la precision y exactitud con que han de estar trabajadas y arregladas, y la facilidad de descomponerse".* (Annex I, paràfrag 4), (Agustí, 1983, 145)

Com ja hem dit a l'apartat anterior, Santponç va dirigir una fase d'experimentació per resoldre aquests problemes. L'empresari Jacint Ramon va patrocinar la construcció d'una màquina de vapor a escala (figura 10) que era un prototip per fer diversos experiments que van donar com a resultat una solució a l'automatització de la màquina, que Santponç va reivindicar com de nova invenció. En diverses ocasions, posa en valor el disseny que va fer d'aquest automatisme o Registre. De fet, es refereix a la màquina com "la nueva bomba de registro de Barcelona"<sup>47</sup>.

#### **4.4.2 Dissenys de Registres de màquines anteriors o contemporànies a Santponç.**

Abans de descriure el registre de la màquina de Santponç, i per poder valorar la seva originalitat, cal estudiar com es distribuïa automàticament el vapor en les màquines descrites a les obres a les quals Santponç va tenir accés. Comparar les peces del registre de la màquina de Santponç amb les utilitzades en dissenys anteriors ens permetrà conèixer les similituds i discrepàncies entre els diversos dissenys per tal de poder saber quines innovacions presentava.

Començarem aquest apartat amb la descripció d'un registre de Bélidor d'una bomba hidràulica, un autor que és citat en diverses ocasions per Santponç. Aquest exemple ens sembla interessant per dos motius: en primer lloc, el registre és semblant als que es dissenyaven per fer les màquines automàtiques amb barretes de ferro unides a vàlvules per tancar-les i obrir-les, així com rodets i gàrres metàl·liques per la transmissió de moviment. Però, sobretot, l'exemple és important perquè la vàlvula que governa el dispositiu va ser adoptada per l'equip de Santponç i ell mateix es va inspirar en el seu moviment per fer l'innovador disseny del registre de la màquina.

En segon lloc descriurem el funcionament del registre d'una màquina de vapor que també es representa i il·lustra a l'obra de Bélidor. Cal notar que aquest registre governava una màquina de Newcomen, per tant, de tecnologia anterior a la utilitzada per Santponç, i que havia de regular menys vàlvules que les màquines de doble efecte. Com que l'obra de Bélidor va ser estudiada per Santponç, en va tenir constància d'aquest registre de màquina de vapor i per tant, va ser una de les seves referències.

Per últim, descriurem el registre que automatitzava les vàlvules de la màquina de doble efecte que es descriu a l'obra de Prony. Santponç va seguir el disseny d'aquesta màquina, construïda pels germans Pèrier, per entendre el mecanisme de funcionament de la tecnologia del doble efecte. Per tant, el primer sistema d'automatització de la màquina de Santponç devia de parèixer's molt al descrit per Prony.

Amb la descripció dels registres que foren la referència per al disseny de l'automatització de la màquina de Santponç podem valorar en quina mesura Santponç va fer una innovació respecte les solucions que ell coneixia. Acabarem l'estudi del registre amb un exemple dissenyat per James Watt i que consta a una de les seves patents i del que Santponç no va poder tenir coneixement.

---

<sup>47</sup> Veure, per exemple, paràgrafs 12, 16 i 17 de la memòria a l'Annex I, on Santponç mostra el seu entusiasme.

#### 4.4.2.1 Solucions de Bélidor per l'automatització: Registre d'una bomba hidràulica.

Bernard Forest de Bélidor (1698-1761) va ser un enginyer francès nascut a Catalunya que va publicar diverses obres sobre matemàtiques, balística i enginyeria. *Architecture Hydraulique*<sup>48</sup> és una obra de construcció civil amb continguts pràctics de gran valor per als arquitectes i enginyers d'aquella època. A aquesta obra, citada per Santponç, es troben descripcions completes de màquines pneumàtiques, hidràuliques i de vapor precedides de fonaments teòrics, càlculs matemàtics, taules amb diversos valors i làmines amb il·lustracions completes amb diverses perspectives.

En llenguatge de l'època, hem dit que el sistema que feia automàtica una màquina es coneixia com registre o regulador. El sistema d'automatització que regulava la bomba hidràulica descrita per Bélidor utilitzava una vàlvula anomenada per ell mateix com *robinet tribranche*. Aquesta vàlvula o aixeta de doble sortida va ser utilitzada doblement per Santponç en una disposició particular que va resultar en un disseny innovador per solucionar l'automatització de la seva màquina de vapor.

A la figura següent es mostra una representació en perspectiva de les principals parts de la bomba hidràulica que descriu Bélidor a la seva obra.

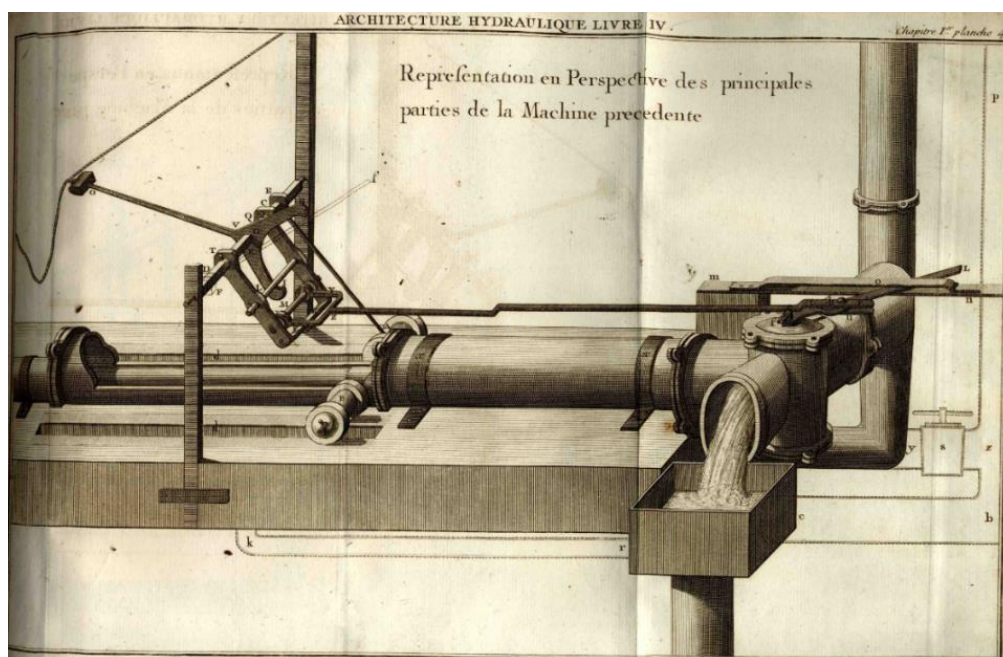


Figura 11: Representació de la bomba d'aigua automatitzada descrita per Bélidor<sup>49</sup>.

Encastada horitzontalment a una fusta, apareix representada la bomba hidràulica. L'aixeta *tribranche* es situa a dintre del cilindre vertical marcat amb la lletra f. Aquest tipus d'aixeta consistia en una peça cilíndrica que tenia al seu interior un conducte perforat per el que pot circular un líquid. La peça cilíndrica perforada està encastada dintre del cilindre f al que arriben tres conductes diferents. L'aixeta podia girar 90° a dreta i esquerra alternativament, aquest

<sup>48</sup> L'edició de l'obra de Bélidor que hem trobat és de 1782. Però l'obra es va anar publicant entre 1737 i 1753. Consulteu voum I, llibre IV, capítol I pàgins 244 – 245 i plantxes I, II, III, IV.

<sup>49</sup> Aquesta figura correspon a la quarta planxa del primer capítol del llibre quart *d'Architecture Hydraulique*. Es pot consultar al FHUPC.

moviment alternatiu comunicava entre si els tres conductes automatitzava l'entrada i sortida de l'aigua a la bomba.

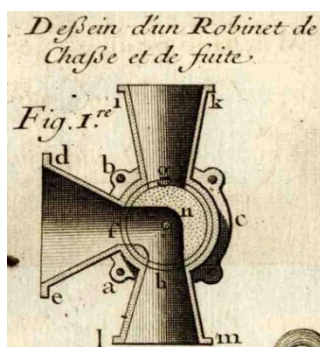


Figura 12: Aixeta de doble sortida que emprada a una bomba d'aigua dins l'obra de Bélidor<sup>50</sup>.

És del nostre interès explicar breument com funcionava aquesta bomba hidràulica perquè el disseny de la seva automatització va ser un referent per Santponç per solucionar el problema de l'automatització de la seva màquina de vapor.

Observem a la figura 11 que el cilindre f, on està inserida l'aixeta de doble sortida, està connectat, mitjançant una barreta de ferro, a una peça composta per diverses barretes de ferro paral·leles i perpendiculars amb dues urpes i un contrapès. Aquesta peça constituïa el registre de la màquina, format per les rodets A i B, el ramal HIVO, amb dues urpes, un contrapès O, el pèndol QRST, dues barretes de ferro que entren en contacte amb les rodets A i B i el pern CD de secció quadrada que és l'eix de gir del regulador o registre.

En primer lloc, cal indicar que l'aixeta de doble sortida tenia dues possibles posicions; en una d'elles l'aigua entrava a la bomba des de l'exterior espitjant el pistó de la bomba hidràulica cap a l'esquerra. En l'altra posició, l'aigua sortia de la bomba cap la cubeta marcada amb la lletra c. Per passar d'una posició a l'altra, l'aixeta havia de rotar un quart de volta (90°).

Per entendre l'automatisme comencem fixant l'atenció en l'eix que travessa la tija del pistó de la bomba que té dues rodets A i B a cada extrem. Aquestes rodets faran força alternativament contra dues barretes de ferro, una d'elles està dibuixada amb traç discontinu i marcada amb la lletra f.

Les barretes de ferro, que són pressionades i mogudes per les rodets A i B, fan moure l'eix CD i, en conseqüència, també es mourà el ramal HIVO i les dues urpes. Per contra, l'eix no farà moure el pèndol QRST perquè la seva unió amb CD no és quadrada sinó redona, i per tant, relliscava sense moure's.

Llavors l'automatisme funcionava de la següent manera: suposem que l'aixeta de doble sortida està disposada en la posició en la que l'aigua entra a dintre de la bomba hidràulica sense poder sortir cap a la cubeta. L'aigua espitjarà el pistó que està a dintre la bomba i farà anar les rodets A i B cap a l'esquerra. La roda A es trobarà en el seu camí amb una de les barretes de ferro, la farà moure de dreta a esquerra provocant que l'eix CD giri. El moviment de l'eix provocarà que les urpes es moguin.

<sup>50</sup> Aquesta figura correspon a la primera planxa del primer capítol del llibre quart *d'Architecture Hydraulique*. Es pot consultar al FHUPC.

Amb aquest moviment el contrapès O acabarà sobrepasant la vertical i baixarà súbitament, moment en el que una de les urpes atraparà el pèndol QRST, que fins el moment no es movia. El pèndol estirà la barra Z connectada a la part de dalt de l'aixeta *tribranche* fent-la moure un quart de volta.

Al canviar l'aixeta a la segona posició, ara l'aigua de dintre la bomba hidràulica podrà sortir cap a la cubeta i el pistó de dintre de la bomba anirà de esquerra a dreta. Llavors la rodeta B pressionarà, en el seu moviment, la barreta que li correspon, que en aquest moment estarà a la part més baixa del seu moviment de rotació al voltant de l'eix CD.

En aquest moment l'eix CD es mourà en moviment contrari i l'urpa enganxarà el pèndol en sentit contrari. Quan el contrapès O caigui cap a l'esquerra, el pèndol estirà cap a l'esquerra la barra X unida a l'aixeta de doble sortida canviant a la primera posició. Així es fa possible passar l'aigua cap a dintre de la bomba, repetint-se el procés indefinidament.

En la descripció del funcionament de la bomba hidràulica, Bélidor va advertir que aquesta bomba hidràulica no s'havia contruït mai i especificava els problemes que podia donar. Sembla un mecanisme difícil d'executar i costa de creure que pogués funcionar. Però el disseny de l'aixeta de doble sortida va ser clau per al disseny del registre de Santponç.

#### **4.4.2.2 Solucions de Bélidor per l'automatització: Registre d'una màquina de vapor Newcomen.**

En aquest apartat descriurem el sistema que feia automàtica una màquina de vapor descrita al capítol III del llibre IV d'*Architecture Hydraulique* de Bélidor. La màquina descrita és un disseny Newcomen i s'observa que el vapor entra al cilindre per la part de sota del pistó. Té un sortidor d'aigua freda a dintre el cilindre que provoca la condensació del vapor, moment en què es crea un buit que obliga al pistó a baixar. Perquè la màquina funcionés automàticament calia regular la vàlvula d'entrada del vapor al cilindre, que feia pujar el pistó, i el sortidor d'aigua freda, que condensava el vapor, i que feia baixar el pistó. Aquesta màquina tenia un gran balancí que era impulsat pel pistó de la màquina i que estava connectat a dues bombes d'extracció d'aigua.

A la figura 13 es pot veure la màquina que es descriu a l'obra de Bélidor<sup>51</sup>. Els elements principals que cal conèixer per entendre l'automatització de la màquina són: El balancí CHIB del que pegen 4 cadenes. La primera cadena C està unida al pistó del cilindre de la màquina. De la segona cadena H penja la corredera L, de la que parlarem més endavant. Les cadenes I i B estan connectades a bombes hidràuliques. S'observa a la caldera està col·locada sota el cilindre principal com era habitual en les màquines Newcomen. Veiem també el tub d'unió entre la caldera al cilindre on hi ha una vàlvula amb la que es regula el pas del vapor.

---

<sup>51</sup> Consulteu Vol. II, Llibre IV, Cap. III pp. 316-317. I-lustració a les planxes I, II, III del capítol III.

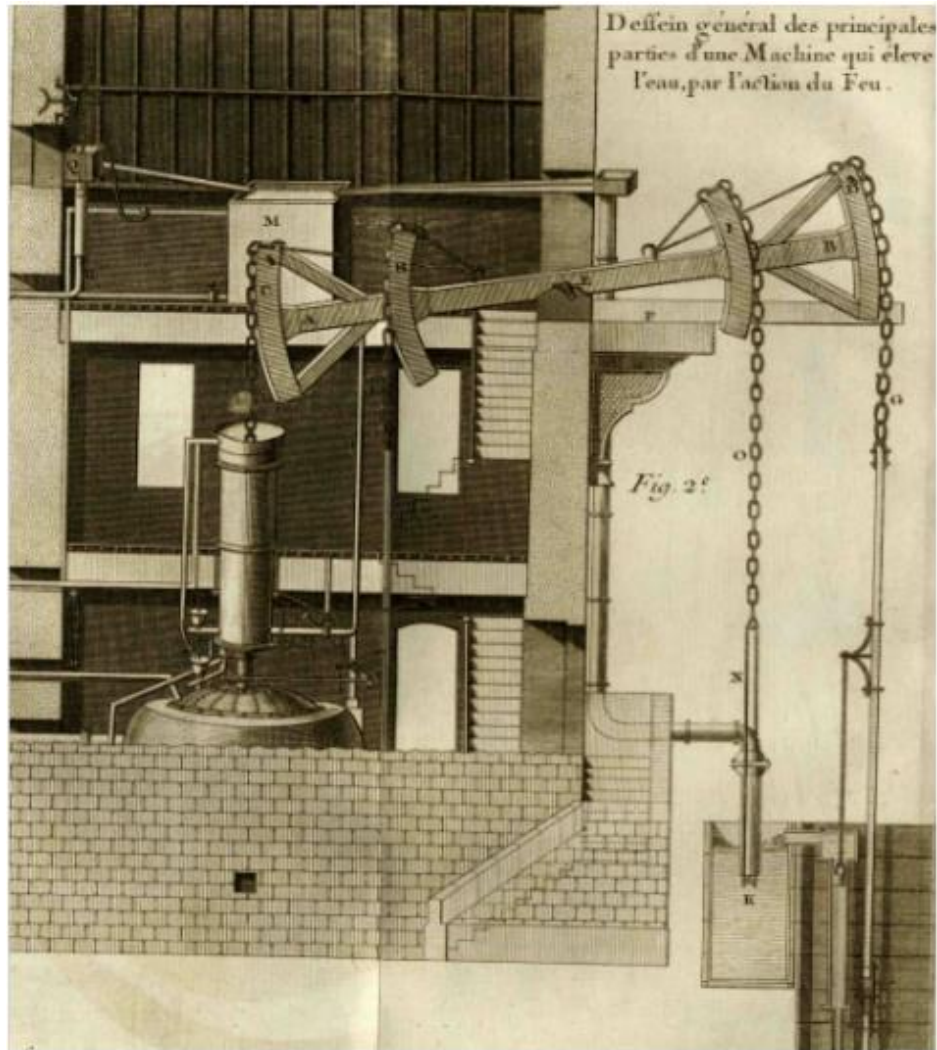


Figura 13: Màquina de vapor tipus Newcomen descrita a *Architecture Hydraulique* de Bélidor

El mecanisme que feia moure automàticament aquesta màquina de vapor té similituds amb el regulador de la bomba hidràulica anteriorment descrita. Les figures 14 i 15 mostren el mecanisme del regulador que feia la màquina automàtica. Hi ha dues perspectives diferents i en cada figura es varen eliminar alguns elements per poder veure més clarament altres parts del mecanisme.

Diversos elements fan falta per engegar l'automatització de la màquina: a la figura 15 observem dos posts de fusta AA que sostenen l'eix BC on s'enganxa el suport abcd, semblant al de la bomba hidràulica descrita abans. També observem, a la figura 14, la corredera, marcada amb la lletra L. En aquesta màquina la corredera era una fusta unida al balancí de la màquina mitjançant una cadena. El balancí movia la corredera amunt i avall.

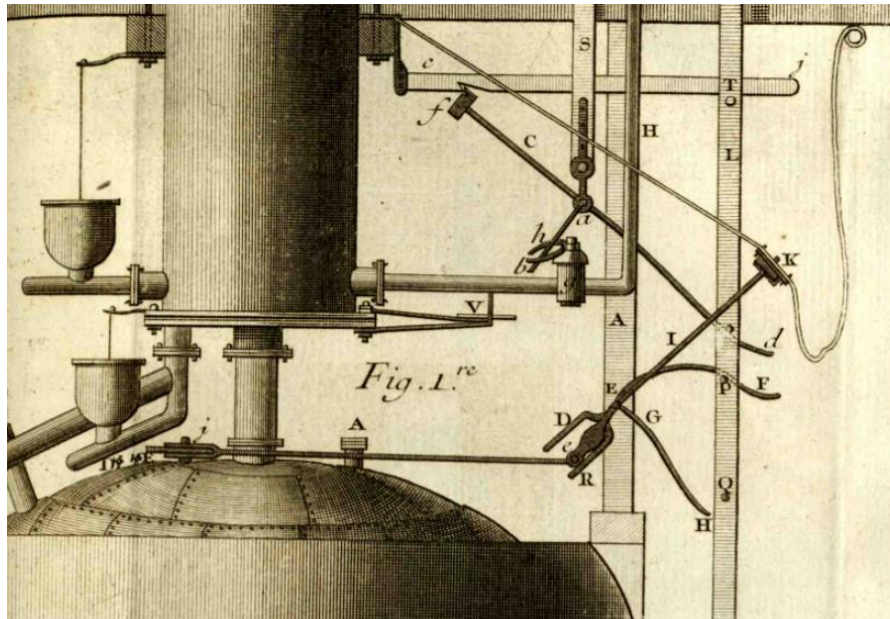


Figura 14

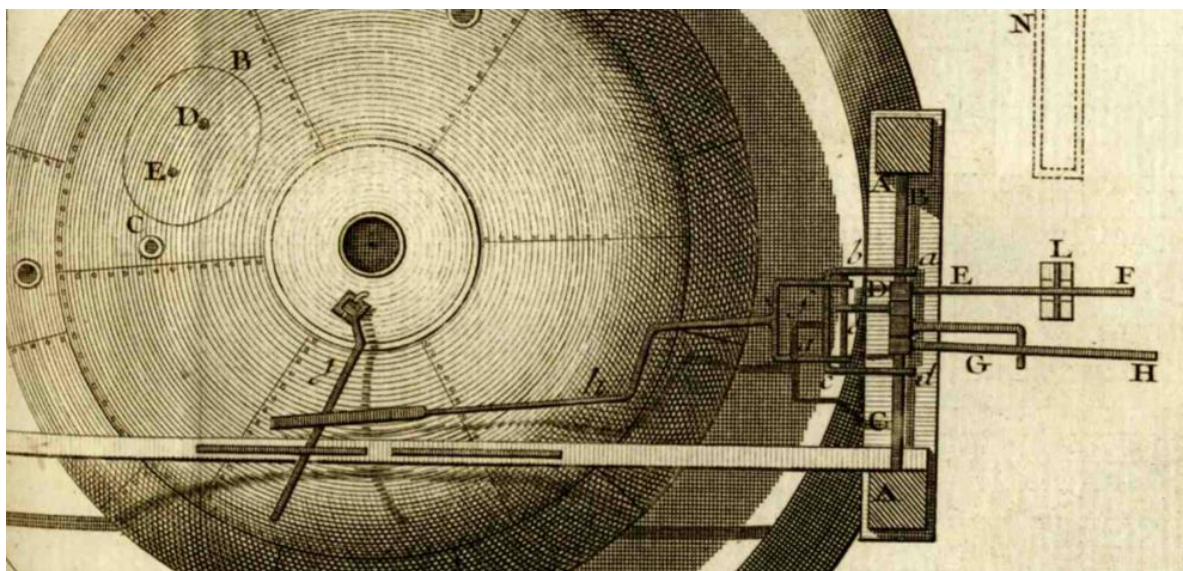


Figura 15

Cal destacar també la forquilla DR de la figura 14, equivalent a les urpes de la bomba hidràulica descrita anteriorment. I també la barra I de la mateixa figura que té un contrapès K al final d'ella. Aquestos dos elements estan units a la barra o eix DR i giren solidàriament amb ella. Observem just al centre de la caldera de la figura 15 la vàlvula pintada més obscura, que està representada en la posició en què impedeix el pas del vapor cap al cilindre principal de la màquina. També està representada la barra de ferro j que mourà l'eix de la vàlvula per obrir-la i tancar-la.

Allò que fa que giri l'eix BC (figura 15) són les barres de ferro E i G, que seran mogudes per la corredera. La corredera és una fusta que té un tall longitudinal buit al seu interior. A dintre del tall hi ha diversos perns que entravessen la corredera transversalment.



Llavors l'automatisme funcionava així: En l'instant en què el pistó de la màquina estigui a la part baixa del cilindre la vàlvula estarà oberta per deixar pas al vapor cap a dintre del cilindre. El vapor, al entrar al cilindre, fa pujar el pistó. Així que el balancí, al quedar lliure de la força del pistó, que estirava del balancí mitjançant la cadena, començarà a inclinar-se cap al costat de les bombes d'aigua perquè les dues cadenes amb les que s'uneixen al balancí estiraran amb cap al seu costat. Llavors el balancí estirarà cap amunt la corredera, fent-la pujar.

El pern P de la corredera està just per sobre de la barra de ferro E (figura 14) així que, al pujar la corredera, el pern farà pujar la barra E. El moviment de la barra E que està unida a l'eix BC farà que aquest eix giri, movent-se amb ell el contrapès K. Quan aquest contrapès rebassi la vertical caurà per la força de la gravetat i impulsarà el gir de l'eix BC. Llavors la branca D de la forquilla atraparà el pern *e* del suport (figures 14 i 15) fent que es desplaci cap a la dreta. Per tant, en el mateix sentit que el pern *e*, es desplaçarà la barra de ferro que està unida a *j* que mourà l'eix sobre el qual es mou el regulador per a tancar el pas del vapor cap al cilindre.

Ara el pistó estarà a la part de dalt del cilindre i per a baixar, caldrà injectar aigua freda per condensar el vapor, crear el buit i fer baixar el pistó. Vejam doncs com s'automatitza la injecció de l'aigua freda: la corredera ha quedat en el punt alt, fixem-nos ara en el pern T de la corredera (figura 14) que haurà estirat cap a dalt la barra de fusta *ej*. Si ens fixem, el martell *f* està subjectat per una esquerda al pal *ej*. Quan *ej* pugi el martell es soltarà caient violentament fent girar la palanca *cd*. Amb aquest moviment la barreta de ferro *ba* es moura a dintre la pota de carranc *h* que obrirà l'aixeta d'aigua freda que està dins del petit cilindre *g*. Mentre es descarrega l'aigua freda, el martell reposarà sobre la plataforma V.

Quan es produeix la condensació del vapor a causa de l'aigua freda, el pistó del cilindre principal de la màquina baixarà per diferència de pressió amb l'atmosfera. La primera conseqüència serà que la corredera baixarà també, el martell pujarà perquè el pern obligarà a la palanca *fd* a pujar el martell i com la barra de fusta *cj* tornarà a la seva posició horitzontal, el martell quedarà en la posició inicial. Al pujar el martell, la vareta *ag* mourà *h* en direcció contrària i l'aixeta d'aigua freda es tancarà.

La baixada de la corredera farà que la palanca GH baixi mentre que la forquilla R pujarà espitjant el pern *e* cap a l'esquerra i, per tant, l'eix del regulador o vàlvula girarà en sentit contrari obrint-la i permetent el pas de vapor que pujarà el pistó i per tant la corredera. A partir d'aquí tot el procés es tornarà a repetir.

El funcionament d'aquest mecanisme argumenta, per ell mateix, que una imprecisió en el seu funcionament podia provocar un desajust de les vàlvules que aturés la màquina. I hem de tenir en compte que l'automatisme d'una màquina de doble efecte requeria de més vàlvules que controlar.

#### **4.4.2.3 Solucions de Prony per l'automatització: Registre d'una màquina de vapor de doble efecte.**

Recordem que la màquina de doble efecte que es descriu amb detall al segon volum de l'obra de Prony va ser dissenyada per Betancourt després de veure funcionar la màquina de vapor d'Albion Mills. Els germans Périer la van construir per fer funcionar les rodes de molins d'una farinera de l'illa de Cygnes de Paris. Betancourt només havia pogut veure la màquina per fora i no va poder veure com funcionava el mecanisme d'automatització. Per tant, el disseny del registre que anem a descriure va ser fet per Betancourt.

Gaspart Riche de Prony és l'autor de *Nouvelle Architecture Hydraulique*, obra que va escriure per als alumnes de l'Escola de Ponts i Camins de la que ell n'era inspector. Aquesta obra va ser publicada al 1790-96 i tenia el propòsit, segons el preàmbul de la segona part, de descriure el funcionament de les màquines més modernes i presentar la teoria de forma més intel·ligible.

En aquesta obra trobem la descripció de dues màquines de vapor, la primera màquina correspon a una de les que funcionaven a París, a l'illa de Cygnes per fer moure molins de blat. La màquina era de doble efecte i tenia el condensador separat del cilindre amb un sortidor que injectava aigua freda contínuament a dintre d'ell (Prony, 1796, 35).

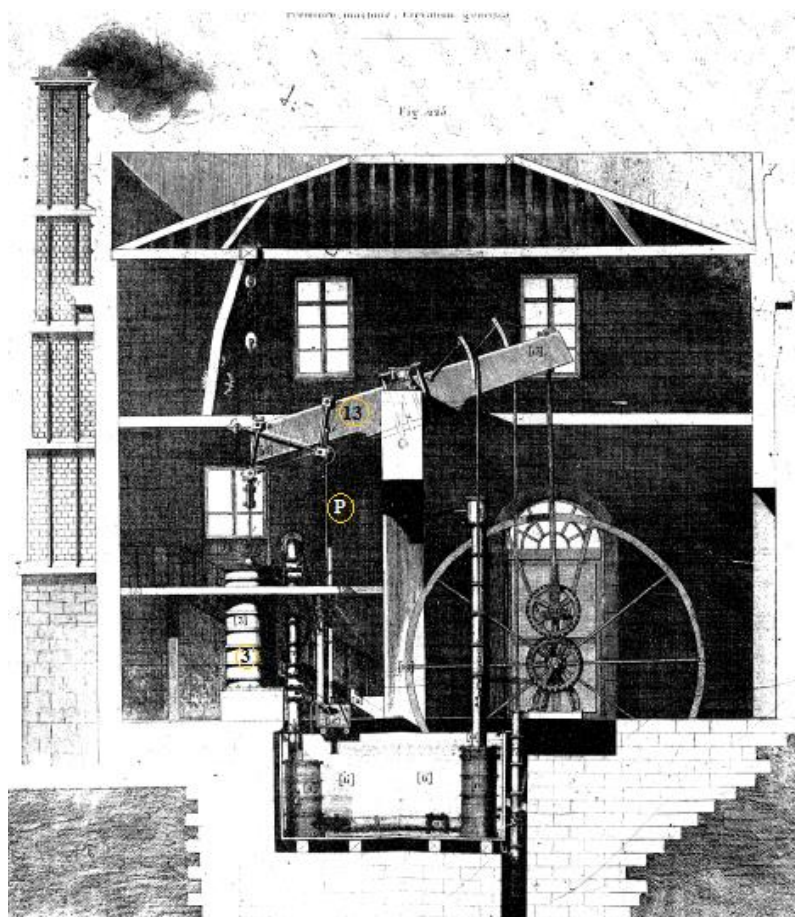


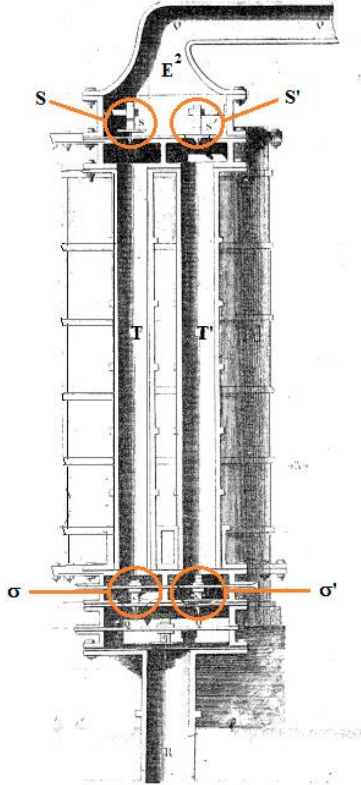
Figura 16: Màquina de vapor de doble efecte instal·lada a l'illa de Cygnes. Font: *Nouvelle Architecture Hydraulique* vol. 2

A la figura 16 podem veure la primera màquina descrita; el cilindre està marcat amb el número 3, el pistó està unit al seu extrem superior al balancí de la màquina que correspon al número 13. El moviment del pistó dintre del cilindre farà moure el balancí cap amunt i cap avall. La corredera, marcada amb la lletra P, es veurà obligada a moure's cap amunt i cap avall seguint el moviment del balancí. És aquesta corredera, igual que en la màquina de vapor descrita per Bélidor, la que mou el registre de la màquina.

Per entendre l'automatisme d'aquesta màquina hem de conèixer les vàlvules que accionava i les bases del seu funcionament. La figura 17 correspon al cilindre de la màquina: en aquesta figura podem veure l'espai  $E^2$  on arribava el vapor procedent de la caldera. Les vàlvules S i  $\sigma$  que comunicaven el vapor procedent de la caldera amb la part de dalt i de sota el pistó

respectivament. I les vàlvules S' i  $\sigma'$  que comuniquen la part de dalt i de sota del pistó amb el condensador de la màquina.

Figura 17



El funcionament del registre era el següent: estant el pistó a la part alta del cilindre, les vàlvules S i  $\sigma'$  havien d'estar obertes. D'aquesta manera es donava pas al vapor cap a la part de dalt del cilindre mitjançant la vàlvula S, mentre que la part de sota es comunicava amb el condensador al estar  $\sigma'$  oberta.

A mesura que entrava el vapor a la part de dalt del cilindre, aquest anava baixant fins que aquest moviment propiciava (mitjançant l'automatisme) que es tanquessin les vàlvules S i  $\sigma'$  i s'obriessin les vàlvules S' i  $\sigma$ .

Amb les vàlvules S i  $\sigma'$  tancades i S' i  $\sigma$  obertes, el vapor entrava per la part de sota del pistó mitjançant la vàlvula S i el vapor de la part de dalt del cilindre tenia el camí obert per a dirigir-se al condensador. Sempre que el cilindre es comunicava amb el condensador, el vapor de dintre es dirigia en direcció del condensador perquè allí es produïa contínuament el buit a causa de l'acció de l'aigua freda.

Seguint la descripció de les figures que presentem a continuació entendrem el funcionament del registre d'aquesta màquina.

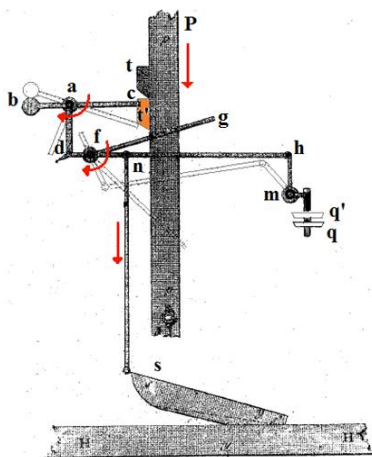


Figura 18

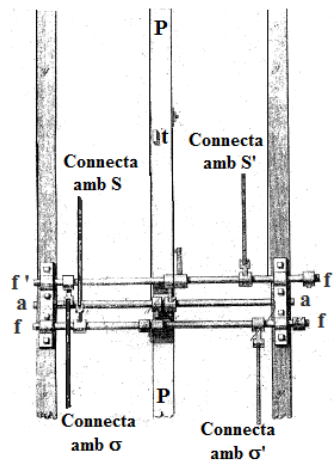


Figura 19

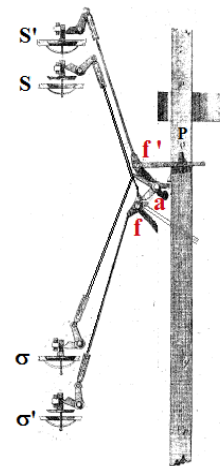


Figura 20

Les figures 18 i 19 mostren el mecanisme del registre que fa la màquina automàtica, vist de perfil i cara respectivament. Prony anomena *regulateur* al registre, i en ell observem els eixos de rotació fixes a, f, m i els de rotació mòbils h i n. Cal observar que al final del braç fd hi ha un topall contra el qual es recolza l'extremitat d'a. El contrapès b pressiona aquesta extremitat

contra el topall. Aquesta pressió impedeix la rotació de totes les barres de ferro al voltant dels eixos  $a$  i  $f$ . Per contra, la lentilla  $s$  pressionarà cap avall els eixos mòbils  $n$  i  $h$ .

Tot aquest mecanisme està destinat a moure cap amunt i cap avall la vàlvula  $q$  i funciona de la següent manera: quan la corredera  $P$ , seguint el moviment del balancí de la màquina, baixi en el sentit de la fletxa, la protuberància  $t$  passarà a la posició  $t'$ . Aquest moviment provocarà que  $t$  pressioni l'extremitat  $c$  i la faci girar al voltant de l'eix fix  $a$ . Aquesta rotació alliberarà el topall de la pressió i  $b$  es veurà lliure per rotar sobre l'eix  $f$ . D'aquesta manera, totes les barres de ferro que hi ha al voltant de l'eix fix  $f$  giraran al seu voltant perquè ja no es veuran frenades i també perquè estaran impulsades per la lentilla  $s$ , que, sense el fre del topall, es desplaçarà cap avall per l'acció de la gravetat.

Seguint la figura 12, veiem que els eixos mòbils  $n$  i  $h$  s'han desplaçat cap avall i ocupen les posicions marcades amb línees fines. Amb el moviment dels eixos mòbils, la vàlvula  $q$  ha passat a la posició  $q'$  a causa de la rotació de l'eix fix  $m$ . S'ha aconseguit, per tant, desplaçar la vàlvula  $q$  cap a dalt. En aquesta posició la vàlvula estaria oberta i el vapor podria passar a través d'ella. Vejam ara com la vàlvula es desplaça cap avall i recupera la posició inicial per interrompre el pas de vapor.

La protuberància  $t$  no baixa més enllà de  $t'$  i quan, la corredera  $P$  puja per acció del balancí,  $t$  remunta encara més amunt de la seva posició inicial indicada a la figura 17. Quan  $P$  puja, el contrapès  $b$  baixa per acció de la gravetat i els elements que giren al voltant d' $a$  recuperen la seva posició inicial. Per altra part, a la corredera  $P$  hi ha una peça metàl·lica, que no s'aprecia a cap de les figures, contra la que la barra  $fg$  es recolza al final del seu moviment descendent. Quan la corredera puja aquesta peça espitjarà la barra  $fg$  cap amunt, i per tant, els elements dels eixos  $f$ ,  $n$ ,  $h$  i  $m$  tornaran també a la posició inicial, llavors la vàlvula  $q$  baixarà, tancant el pas del vapor. En baixar  $P$  de nou, es repetirà el procés indefinidament i de forma automàtica, obrint-se i tancant-se la vàlvula alternativament.

Cal assenyalar que, amb una sola lentilla i un sol eix  $a$ , es poden afegir tants eixos  $f$  com es vulgui per fer obrir i tancar tantes vàlvules com es necessitin. En efecte, si ens fixem en la figura 19, on està representat el regulador amb vista frontal, veiem que hi ha dos eixos  $f$  i  $f'$  que accionen dues vàlvules cadascun.

A les figures 19 i 20 veiem que l'eix  $f$  mourà les vàlvules  $S$  i  $\sigma$ , mentre que l'eix  $f'$  mourà les vàlvules  $S'$  i  $\sigma'$ . Amb el moviment dels eixos  $f$  i  $f'$  s'aconseguirà que les vàlvules  $S$  i  $\sigma$  s'obriguin i es tanquin al mateix temps mentre que les vàlvules  $S'$  i  $\sigma'$  estiguin tancades i obertes simultàniament. Així, el que s'aconsegueix amb el moviment de la corredera és que entri vapor a la part de dalt del pistó i surti des de la part de sota cap al condensador ( $S$  i  $\sigma'$  obertes) mentre que la sortida de la part de dalt cap al condensador i l'entrada de vapor a la part de sota estiguin tancades ( $S$  i  $\sigma$  tancades) i a la inversa, és a dir,  $S$  i  $\sigma'$  tancades mentre  $S$  i  $\sigma$  obertes.

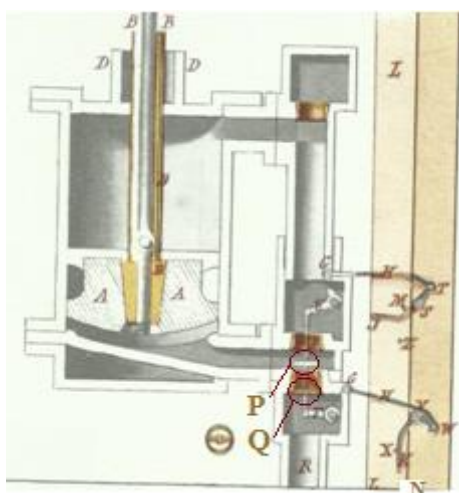
Amb l'explicació d'aquest mecanisme veiem com la inventiva havia evolucionat cap a dispositius que havien de controlar més vàlvules. La precisió en l'obertura i tancada de vàlvules havia de ser òptima perquè un buit insuficient o una fuga de vapor provocava que la màquina, a poc a poc, s'aturara. Tot i l'evolució en els reguladors, els principis sobre els que funcionaven eren molt similars: una corredera que, unida al balancí, actuava sobre les vàlvules obrint-les i tancant-les o l'actuació de contrapessos i varetes de ferro girant al voltant de diversos eixos.

Després d'aquestes descripcions pel als automatismes de les màquines, entenem millor que la reproducció d'un d'aquest registres va ser complicada per a l'equip de Santponç. Com a conseqüència, i com ja hem dit, la posada en marxa de la màquina no va ser satisfactòria per desajustos en els seus components, generant moviments bruscos en el pistó.

#### 4.4.2.4 Patents de Watt.

Per estudiar els mecanismes d'automatització que feia servir Watt en el disseny de les seves màquines hem consultat l'obra *James Watt and the Steam Revolution* escrita per Eric Robinson i A. E. Musson el 1969. En aquesta obra es transcriu correspondència entre Watt i el seu entorn i es reproduïen les patents concedides a Watt. Estan publicats també els plànols que es varen incloure en les patents concedides, tot i que, per preservar els seus invents, Watt no facilitava tots els plànols dels enginyers que dissenyava.

Figura 21: Automatització de Watt.



Entre les patents de Watt hem trobat un registre que obre i tanca un cilindre de doble efecte també impulsat per una corredera L i compost per palanques de ferro unides a ella (Robinson; Musson, 1969, p. 120). La figura 21 que mostrem correspon a una il·lustració que forma part de les especificacions d'una patent concedida a Watt el 1784<sup>52</sup>. A aquesta patent s'especificaven set millores dissenyades per Watt; la figura correspon a la sisena millora que perfecciona el sistema automàtic o registre que obre i tanca les vàlvules d'admissió i sortida del vapor al cilindre. La lletra A de la figura 21 representa el pistó de cilindre. El cilindre és fàcilment identificable com de doble

efecte perquè té una entrada de vapor a la part de dalt del pistó i altra a la part de sota. La corredera es representa amb la lletra L i movia les palanques del registre que estan representades per les lletres H, S, Y, K. Els eixos de rotació de les palanques estan representats per les lletres T i W. Les palanques es movien quan la corredera pujava i baixava i feien que les vàlvules, representades a la figura amb les lletres P i Q, s'obriessin o es tanquessin. A la corredera L hi ha quatre claus de fusta representats per N, X, Z i M que, al pujar i baixar la corredera, faran moure les palanques que obren i tanquen les vàlvules P i Q. A les especificacions de la patent s'indica que les vàlvules s'havien millorat fent-les amb forma cònica i ideant un anell de metall on ajusten quan estan tancades anomenat *valve seat*.

La patent a la que correspon aquesta figura de 1784 presenta una solució similar als registres que hem estudiat de dissenys contemporanis o anteriors a Santponç. Tot i que el disseny d'aquest cilindre mostra una idea més senzilla amb l'actuació de només dues vàlvules, es torna a fer ús de la corredera que mou palanques que operen sobre les vàlvules del cilindre.

#### 4.4.3 El Registre de la màquina de Santponç.

Fins aquí hem analitzat els registres aplicats a altres màquines que Santponç havia estudiat, com són: el registre de la bomba hidràulica i el de la màquina de vapor Newcomen descrits a l'obra de Bélidor (anteriors a 1753), també el de la màquina de doble efecte dissenyada per

<sup>52</sup> La imatge que hem utilitzat correspona a la figura 19 de la pàgina 120 de l'obra de Robinson i Musson.

Betancourt, construïda pels germans Pèrier i publicada per Prony (en funcionament al 1790). Després d'haver indagat entre les patents de James Watt per trobar un registre aplicat a un cilindre de doble efecte (patentat el 1784) i sobre el que Santponç no en podia saber res, podem entendre fins a quin punt el disseny del registre de Santponç va ser realment innovador.

El registre de la màquina de Santponç estava situat a la base del cilindre principal de la màquina, podem veure la seva col·locació a la figura 2 que correspon al prototip que va fer l'equip de Santponç. Veurem que no estava format per palanques, urpes o contrapesos. La seva forma era ben diferent: era un prisma amb base octogonal, i tenia a dintre una peça cilíndrica de base circular que podia rotar un quart de circumferència.

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 arribaven al cilindre principal: un a la part de dalt i altre a la part de sota. Altres dos dels conductes arribaven al condensador de la màquina. I els últims dos estaven connectats a la caldera.

Les següents figures corresponen a la memòria de Santponç preparada per ser impresa i guardada a la Biblioteca de Foement del Treball.

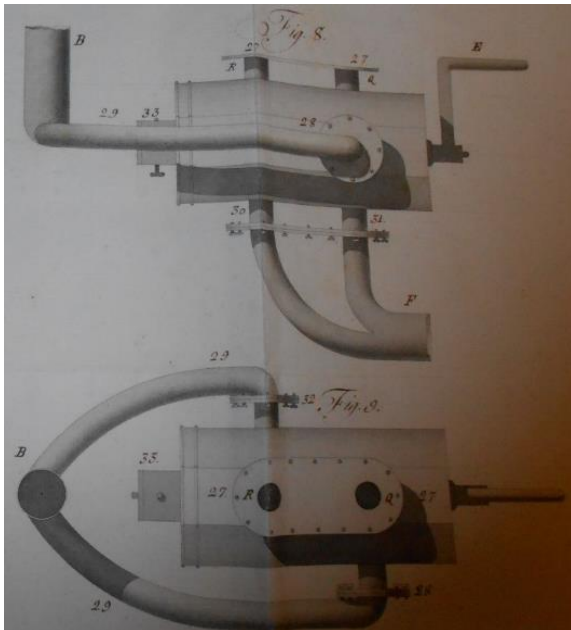


Figura 22

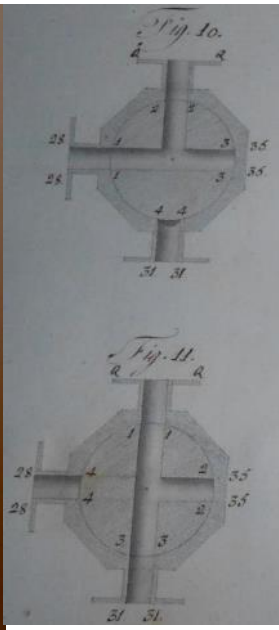


Figura 23

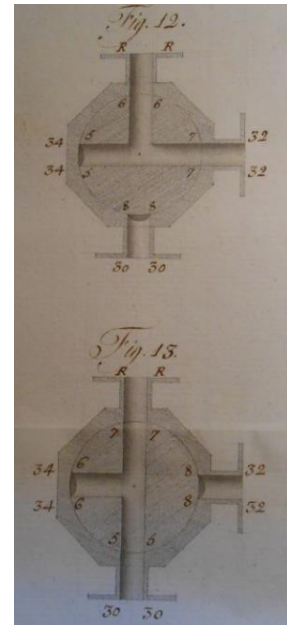


Figura 24

El cilindre de base circular situat a l'interior del *Registre* ocupava tota la seva longitud i a un dels seus extrems s'unia un manubri. La rotació del manubri provocava el moviment del cilindre interior que podia rotar un quart de volta relliscant a dintre de l'octàgon. Aquest simple moviment feia possible totes les combinacions necessàries de pas del vapor pels conductes de la màquina. El registre permetia controlar el moment exacte en què el vapor havia d'entrar o sortir del cilindre de la màquina i del condensador.

A l'interior del registre hi havia dues claus de pas de doble sortida que feien possible la distribució del vapor pels conductes de la màquina. Els plànols de dos talls transversals del registre ajudaran a entendre com es feia possible aquesta distribució. Les figures anteriors són

les que Santponç va dibuixar a la memòria descriptiva<sup>53</sup>. La figura 1 representa el registre de la màquina. Es pot observar la forma octogonal exterior i els sis conductes de vapor que unia aquest mecanisme.

Les figures 23 i 24 representen dos talls transversals paral·lels del registre. A aquestes figures es pot observar el cilindre de base circular que hi ha a dintre i les aixetes de doble sortida. A cadascuna de les figures observem l'aixeta de doble sortida en moments de rotació diferents. Observem que, per fer el canvi de les figures superiors a les de sota, hi ha hagut una rotació d'un quart de circumferència en cada cas.

El dibuix de damunt de la figura 23 mostra el moment en què el vapor podia passar des de la caldera (28) a la part inferior de l'èmbol (Q). El dibuix de sota de la figura 23 representa la posició de l'aixeta per a la qual el vapor passava des de la part inferior de l'èmbol (Q) al condensador (31).

El dibuix de dalt de la figura 24 representa el pas del vapor des de la caldera (32) a la part superior de l'èmbol (R). La posició de l'aixeta del dibuix de sota de la figura 23 permet el pas des de la part superior de l'èmbol (R) al condensador (30).

La rotació de 45° de les dues aixetes de doble sortida es produeix alternativament cap a un sentit i cap al contrari i permet aconseguir, amb una petita rotació, el pas del vapor cap a la part superior i inferior de l'èmbol del cilindre. La condensació del vapor es produïa a l'interior del condensador i provocava que el vapor del cilindre principal anés cap al condensador a ocupar el buit produït per la condensació. Però prèviament el registre havia de permetre el pas del vapor des del cilindre cap al condensador.

Llavors, el registre tenia dues posicions possibles, en una d'elles entrava el vapor a la part inferior de l'èmbol mentre el vapor de la part superior sortia cap al condensador. En l'altra posició, entrava el vapor a la part superior de l'èmbol mentre el vapor de la part inferior sortia cap al condensador.

Pel que fa al manteniment, Santponç assegura que aquesta peça dissenyada per distribuir el vapor tenia l'avantatge de ser una peça resistent de molta durada que no estava subjecta a recomposicions (Annex I, paràgraf 36), (Agustí, 1983, 163).

Però, ¿com va arribar Santponç a dissenyar un registre tan diferent? En la memòria que va escriure Santponç i en els papers del seu arxiu familiar, hem pogut trobar evidències que ens han permès conèixer algunes circumstàncies que donaren lloc al nou registre. Al llarg d'aquesta tesi ja hem fet algunes indicacions sobre la cerca de solucions perquè el moviment del pistó fos homogeni que va propiciar aquesta innovació. L'autoria del registre va generar una controvèrsia que ha quedat enregistrada en alguns documents de l'arxiu familiar, gràcies a la qual hem pogut reconstruir més bé com foren les circumstàncies que conduïren al disseny del registre de la màquina de Santponç.

---

<sup>53</sup> La descripció del cilindre es pot consultar als paràgrafs 34 – 41 de l'annex I o a Agustí, 1983 pp 160 - 164

#### 4.4.3.1 Controvèrsia en l'autoria del registre.

Per reconstruir els principals fets de la controvèrsia, comencem per explicar quines foren les circumstàncies que portaren al fuster Antoni Pujades, membre de l'equip de Santponç, a disposar d'una aixeta de doble sortida. La seqüència dels fets va ser així:

Com ja hem explicat en aquest capítol, després de veure les dificultats que presentava la posada en moviment de la màquina de vapor ja construïda, decidiren fer un model a escala per fer algunes proves. Santponç explica, complagut, que els artesans que construïren la màquina proposaven, en ocasions, variacions que la poguessin fer més fàcil d'executar. En una ocasió, els artistes, convençuts de la força del vapor, i en un intent de simplificar la màquina al màxim, proposaren a Santponç eliminar tots els dispositius per a la condensació del vapor:

*“proyectaron aligerar la máquina, suprimiendo en ella todas la partes concernientes al refrigerante” (Annex I paràgraf 7), (Agustí, 1983, 146).*

Segons aquest relat, entenem que els artistes confiaven en la sola força del vapor espitjant l'èmbol des de sota i des de dalt sense necessitat de condensació. Santponç continua explicant que encara que ell mateix havia donat proves de la gran força del vapor als artesans del seu equip, els hi havia explicat que la extraordinària força de dilatació a la que pot arribar el vapor es dóna en recipients hermèticament tancats i després de moltes hores d'esclafament<sup>54</sup>. Ens crida l'atenció aquest episodi, en el qual els artesans semblen voler eliminar una de les últimes innovacions de l'època com era la condensació del vapor fora del cilindre.

A pesar de les advertències que Santponç va fer als artesans, aquests posaren en pràctica l'experiment. Després de fracassar, Santponç explica que no va ser tot en va, ja que, per poder posar el model en condicions per a l'experiment, el fuster Pujades va disposar d'una clau de pas de dues sortides que, segons Santponç, podia tenir diverses aplicacions. Suposem que el fuster Pujades va utilitzar aquest tipus d'aixeta per eliminar fàcilment el condensador del circuit del vapor, per fer les proves que pretenien. Després d'aquest episodi, es portaren endavant més experiments, no especificats, que conduïren Santponç a eliminar les vàlvules principals suplint-les per un registre general<sup>55</sup> de nova invenció.

Així que a la memòria es constata les circumstàncies en què es varen donar els primers passos en el disseny del registre i la intervenció del fuster Pujades amb l'ús d'una aixeta de doble sortida, mecanisme que va acabar utilitzant-s'hi per partida doble a l'interior del registre de Santponç.

El següent document que volem aportar és un manuscrit trobat a l'arxiu familiar de Santponç, transcrit a l'annex II d'aquesta tesi. El document va ser escrit per Santponç i en ell copia un article publicat a la *Gazeta de Madrid* el divendres 26 de Juliol de 1805. A aquest article es dóna la notícia que a Barcelona s'ha construït una bomba de vapor dirigida pel “Dr. D. Francisco Sanpons”.

Després de copiar l'article, Santponç escriu una nota amb to sever, en la que protesta per l'article de la *Gazeta*. La seva queixa ve d'haver atribuït al fuster Antoni Pujades el disseny de

---

<sup>54</sup> Santponç explica als artesans l'experiència del Marquès de Worcester en la que va rebentar un canó hermèticament tancat després de 24 hores escalfant l'aigua que havia posat al seu interior (paràgraf 7 de la memòria). També es refereix a aquesta experiència en *Memorias de Agricultura y Artes*, al número d'agost de 1816, on transcriu el relat de Worcester sobre aquesta experiència.

<sup>55</sup> Veure paràgraf 8 de l'annex I.



“...una llave de paso de particular disposició, que contribuye a la simplificación de la maquina”. Santponç al·lega que la clau no és original, i indica que ha sigut tret del tom segon de l’obra de Bélidor anomenada *Arquitectura Hydraulica*, al llibre quart, capítol primer, pàgina 240 i següents, lamines 1, 2, 3 i 4. I admet que fins aquell moment havia intentat dissimular aquest plagi, però no volia col·laborar en ell per no desprestigiar la direcció de la nova màquina de vapor. Les figures 25 i 26 d’aquest capítol estan extretes de les làmines de Bélidor.

Aquesta protesta de Santponç ens va orientar per consultar el llibre *Architecture Hydraulique* de Bernard Forest de Bélidor<sup>56</sup>. En trobar les figures d’aquesta aixeta, que ja hem analitzat, hem pogut constatar que el disseny és el mateix que va utilitzar Santponç, tot i que Santponç la va utilitzar doblement a l’interior d’un mecanisme de disseny propi i innovador.

Així que hem pogut constatar que Santponç va explicar clarament on es trobava el disseny original de l’aixeta de doble sortida. A més a més, va considerar important explicar, a la memòria, com va ser la intervenció del fuster Pujadas en utilitzar l’aixeta de doble sortida. I no va ser aquesta l’única consideració que va tenir envers els artesans que van formar el seu equip; en els primers paràgrafs de la memòria elogia els membres del seu equip, donant fe de la seva motivació vers la construcció de la màquina i el seu ràpid aprenentatge d’aquesta tecnologia. Tant és així que indica els seus noms i professió (Annex I, paràgraf 6), (Agustí, 1983, 146). Aquest sincer reconeixent de Santponç pels membres d’aquest equip dona versemblança a la versió de Santponç quan va voler aclarir la injusta adjudicació del disseny del registre a Antoni Pujadas.

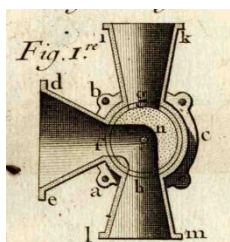


Figura 25

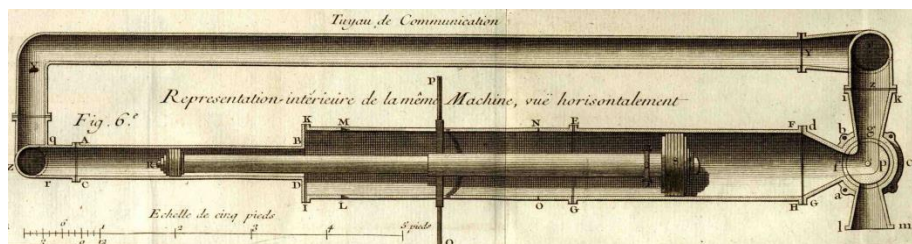


Figura 26

El tercer document que fa referència al registre de la màquina, i que reflecteix la polèmica que el va envoltar, és un article escrit per Santponç. Aquest article va ser publicat a la revista *Memorias de Agricultura y Artes*<sup>57</sup> de la que Santponç era el director de la part de Mecànica. La publicació es va fer en dues entregues al mesos d’agost i setembre de 1816. Santponç va fer un acurat resum històric, sense entrar en detalls tècnics, del progrés de les màquines de vapor des de les experiències descrites pel Marques de Woncester l’any 1663, passant per la tecnologia de Savery i la de Newcomen fins arribar a les últimes innovacions de Watt. A la segona part de l’article va escriure, sense estendre’s massa, sobre la màquina de vapor que ell mateix va dissenyar per a Jacint Ramon. Posa en valor que tots els jocs de vàlvules, fins aleshores necessàries, foren suprimides gràcies al disseny del nou registre “de propia invención”. En el següent paràgraf, transcrit de l’article de la revista, Santponç explica la polèmica amb el fuster Pujadas:

<sup>56</sup> Aquest llibre es pot trobar a [www.Gallica.bnf.fr](http://www.Gallica.bnf.fr), però les làmines no estan desplegadas. Un exemplar d’aquesta obra es troba al Fons Històric de la biblioteca de l’ETSEIB.

<sup>57</sup> Vegeu *Memorias de Agricultura y Artes* pp. 81-96 agost 1816, i pp. 125-143 setembre 1816.

*“El carpintero Antonio Pujadas uno de los artistas, que el Director habia instruido en el modo de construir la máquina de vapor, y en los efectos que los diferentes mecanismos aplicados á ella debian producir, creyóse bastante inteligente para mejorar la máquina, y deseoso de distinguirse intentó sustituir el expresado registro por medio de una llave, que el decia que era de propia invención, pero que en realidad no era otra, que la que Béliador describe en el tomo segundo de la arquitectura hydraulica libro cuarto, capítulo primero, pagina 240 con el nombre de Robinet tribanche. Se le dió gusto en que hiciese la aplicacion de aquella llave de Béliador, pero la práctica manifestó que no carecia de inconvenientes”<sup>58</sup>.*

El canvi de to és notable entre el que utilitza en la memòria descriptiva i el que utilitza en l'article i en la nota de la Gazeta . En tots els escrits Santponç es refereix a la intervenció del fuster Pujadas en el procés de disseny del registre. Però, mentre que en la memòria descriptiva expressa la seva satisfacció en veure les propostes dels artistes<sup>59</sup>, encara que no són encertades, en l'article senyala amb to sever, els desitjos de destacar del fuster Pujadas.

#### 4. 5 EL CILINDRE I EL PISTÓ.

L'única mesura que dona Santponç de la màquina és la del diàmetre interior del cilindre que va ser de 15,25 polzades, o sigui, 35,38 cm (Annex I paràgraf 75), (Agustí, 1983, 176). La descripció d'aquesta important part de qualsevol màquina de vapor la va donar Santponç des del paràgraf 43 fins el 48 acompanyant la descripció amb diverses figures que mostrem a continuació:

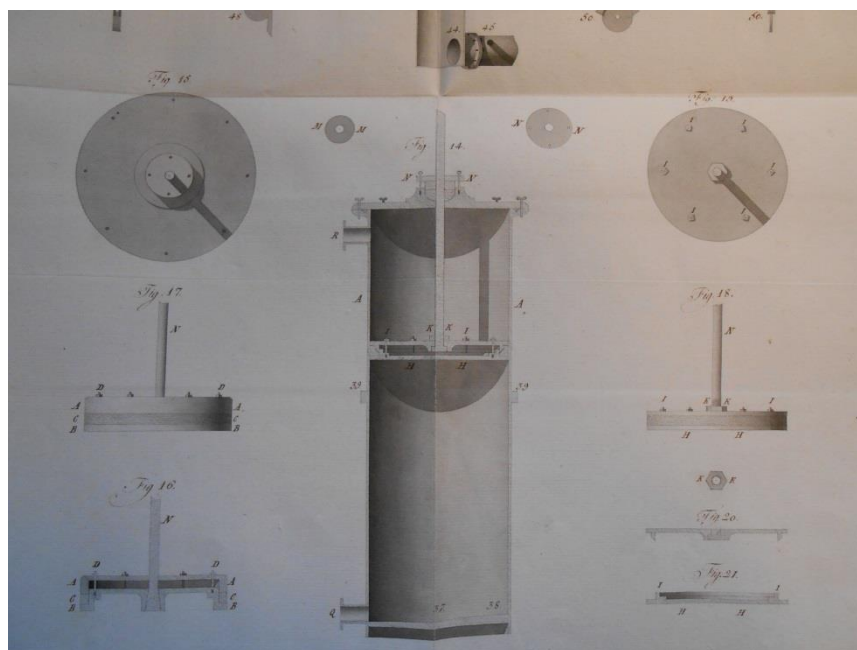


Figura 27: Cilindre i pistó de la màquina de vapor. Font: Memòria de Francesc Santponç Biblioteca Foment del Treball

El cilindre i el pistó es van fer de bronze, en la figura 26 es pot identificar el cilindre de doble efecte per la doble entrada per al vapor que presenta a la part de dalt i a la part de sota del pistó.

<sup>58</sup> Consulteu pàgina 19 del número de las *Memorias de Agricultura y Artes* de setembre de 1916.

<sup>59</sup> Consulteu paràgraf 7 de la memòria descriptiva a l'annex I.

La tapa de sota del cilindre presentava una inclinació per a que l'aigua que pogués condensar-se pogues ser evacuada per efecte de la gravetat i no afectés al moviment del pistó.

Als paràgrafs 44 i 45 Santponç explica solucions per la col·locació de la vara del pistó travessant la tapa superior per evitar les fuites de vapor amb una capsula assenyalada amb les lletres NN del cilindre en la figura 26. Assenyala que cal ajustar les peces entre si utilitzant mescles de teles amb oli, cal i ou formant una amalgama que cal anar apretant perquè es desgasta amb l'ús. Aquesta amalgama també cal posar-al al voltant del pistó per anustar millor la seva forma a la superfície interior del cilindre. Adverteix Santponç que el desgast de l'amalgama utilitzada per l'ajust entre el pistó i el cilindre es comprimeix molt amb el moviment i per aquesta raó l'èmbol acaba movent-se sense ajust. Quan això passa cal retirar el pistó del cilindre i renovar l'amalgama, però aquesta operació és molt engorrosa. Per evitar aquesta incomoditat Santponç explica que es van inventar els *èmbols compriments*, dels que en representa un als dibuixos 16 i 17 de la figura 26 (annex I, paràgraf 47), (Agustí, 1983, 165). Amb aquest tipus de pistons l'amalgama es col·loca entre les planxes i a mesura que es desgasta es poden apretar els cargols d'unió entre les planxes del pistó per ajustar el pistó novament al cilindre. L'inconvenient d'aquests èmbols, segons Santponç, és que són pesats. Llavors van variar aquest disseny de pistó per fer-lo més lleuger, es pot apreciar el disseny definitiu del pistó en els dibuixos 18, 20 i 21 de la figura 26 i també en el pistó que apareix dintre del cilindre. Al paràgraf 48 de la memòria, Santponç torna a posar en valor el treball dels artesans explicant que el disseny definitiu del pistó va córrer a càrrec del fuster Antonio Pujadas.

Ja hem explicat que la construcció del cilindre de qualsevol màquina de vapor era molt delicada i el mateix James Watt feia construir els cilindres de les seves màquines a Wilkinson, qui era un expert en barrenatge de peces metal·liques i en tenia una patent. Santponç no explica res de com es va portar endavant la construcció del seu cilindre de bronze, però podem comparar la construcció d'aquest cilindre amb altres que es construïren per les dues màquines de tipus Newcomen que funcionaren per drenar aigua als arsenals de Cartagena. Gràcies a les investigacions de Helguera sabem que aquests dos cilindres que també eren de bronze mesuraven 8 peus de longitud i 20 polzades de diàmetre, és a dir, 2,24 m d'altura i 46,4 cm de diàmetre. Van ser construïts a Madrid per Diego Rostiaga amb el procediment de barrenatge (Helguera, 2017, 214 – 224). Si els cilindres eren de coure es podien contruir martellant amb una malla contra una fusta per donar-los la forma<sup>60</sup>, però cal tenir en compte que el bronze és un material més dur i resistent que el coure, per això a Madrid els contruïren barrenant-los.

Tampoc se sap res del lloc on foren construïdes les peces de la màquina de Santponç. Respecte el cilindre, en cas que fos barrenat, ja hem vist que a les Drassanes de Barcelona tenien la tecnologia necessària per fer-ho. Quan la màquina de Santponç es va construir, les Drassanes ja havien sigut traslladades a Sevilla, però se sap que estaven en funcionament quan, el 1808, començà la guerra de la Independència. Aquest possible lloc de construcció ja el va apuntar Jaume Agustí al 1983.

---

<sup>60</sup> James Watt explica aquest procediment en la seva correspondència privada. Podeu consultar (Dickinson; Jeckins, 1989, 95, 104)

## 4.6 CONCLUSIONS.

El tipus de tecnologia que va elegir Santponç per construir la màquina de vapor va ser en tot moment tecnologia de doble efecte amb condensador separat del cilindre. Ho sabem perquè a la memòria Santponç explica com Betancourt va revelar el funcionament de la tecnologia de doble efecte que va posar a la pràctica els germans Périer, considerant que és la tecnologia més perfecta del moment (Annex I, paràgraf 2), (Agustí, 1983, 143 – 144). Al paràgraf 11 Santponç es refereix a la màquina de Cygnes que va ser la primera de doble efecte que construïren els germans Périer i que apareix descrita al segon volum de Nouvelle Architecture Hydraulique de Prony. Al paràgraf 12 Santponç cita a Prony i al 13 enumera les condicions que ha de tenir un bon registre. Les quatre condicions que ha de tenir un bon registre les treu de la pàgina 49 del segon volum de Prony, que és on es descriu la tecnologia de vapor de doble efecte.

El procés de construcció de la màquina de Santponç va ser caracteritzat per un procés d'experimentació que va ser fonamental per aconseguir posar la màquina en moviment. Aquesta experimentació, que va començar fins i tot abans de prendre Santponç la direcció del projecte, va començar de forma més explícita després de posar la màquina en funcionament i comprovar que el moviment del pistó era brusc a causa dels desajustos de les vàlvules. El complicat sistema de corredera, palanques i contrapesos que feia les màquines automàtiques provocava els desajustos de les vàlvules.

Com hem vist al llarg d'aquesta tesi, era habitual que es produïssin desajustos i una quantitat insuficient de pistonades per minut quan s'engegava una màquina de vapor per primer cop. Per salvar aquestes dificultats, que també es van donar a la màquina de Santponç, Santponç va demanar construir un prototip de màquina de vapor per fer experimentació amb ella. Jacint Ramón va accedir i es va fer ús d'una aixeta de doble sortida per anul·lar del circuit el condensador. Aquesta aixeta va ser utilitzada per al disseny d'un sistema d'automatització totalment diferent als coneguts fins aleshores.

El Registre de la màquina de Santponç va permetre eliminar totes les palanques que accionaven les vàlvules per obrir-les i tancar-les. En el disseny de Santponç no es requerien vàlvules, es pot considerar el mateix Registre com una única vàlvula que en girar 45° a dreta i esquerra posava en contacte caldera, cilindre i condensador en el moment precís per fer moure el pistó amb moviment homogeni. La corredera continuava sent necessària per al sistema d'automatització de la màquina, consistia en una senzilla barreta de metall que actuava sobre el registre aprofitant el moviment del pistó.

L'única mesura que dona Santponç en la memòria descriptiva de la seva màquina de vapor va ser l'interior del seu cilindre, que tenia un diàmetre de 15, 25 polzades. El material emprat per el cilindre i el pistó va ser bronze. No se sap el procediment que va emprar l'equip dirigit per Santponç per la construcció del cilindre, ni el lloc on es va fer. La precisió amb la que s'havia de treballar per fer un bon ajust entre el pistó i el cilindre era clau perquè l'aire atmosfèric no entrés al seu interior espatllant el buit i calia evitar igualment les fuites de vapor que aturaven la màquina després d'algunes pistonades. Aquesta complexitat va portar James Watt a encarregar la construcció dels cilindres de les seves màquines a Wilkinson, qui era un expert en barrinat de peces metàl·liques i tenia una patent del procediment que emprava. Com que el material que va utilitzar Santponç per al cilindre i pistó va ser bronze, la seva duresa requeria que els cilindres es construïssin barrinat el seu interior. Un possible lloc de construcció del cilindre de Santponç va ser les Drassanes, on hi havia instal·lada la maquinària necessària per perforar canons.



## CAPÍTOL 5: CONCLUSIONS

El grau de desenvolupament de la màquina de vapor en el moment que va viure Santponç es pot descriure com d'evolució des dels primers estadis representats per la tecnologia de Savery i Newcomen cap al domini total de tecnologia; encara faltava definir una teoria rigorosa i precisa sobre les màquines de vapor i la termodinàmica. Podem dir que era un moment en què la tecnologia Newcomen era considerada antiga i estaven en un moment de transició cap a la tecnologia de màquines de vapor d'alta pressió. Tanmateix, en el temps de Santponç la tecnologia de vapor no era entesa per molts mecànics i científics. La falta d'expertesa portava a projectes d'instal·lació que a vegades es perllongaven en el temps amb el conseqüent encariment. Era una època de superació de dificultats en la que la tecnologia de vapor encara presentava dubtes respecte la seva preferència sobre la tecnologia hidràulica, o altres, molt més controlades i enteses pels experts tècnics de l'època. Aquests dubtes es basaven també en la tendència dels tècnics a optar per la comoditat d'altres tecnologies vastament conegudes. Per descomptat, hi va haver molts científics, mecànics, enginyers i fabricants que apostaren per la tecnologia del vapor, considerant-la superior. Cal dir que hi havia circumstàncies en les que era incontestable la superioritat o conveniència de la tecnologia de vapor respecte d'altres, com en els casos en què la tecnologia hidràulica o l'impuls de cavalleries no era aplicable, per la morfologia del terreny o la falta d'un salt d'aigua.

L'estudi del moment tecnològic cal fer-lo a nivell europeu i espanyol per situar el projecte de Santponç en el seu context històric. Per portar endavant un projecte de construcció d'una màquina de vapor s'havia de produir una xarxa de circumstàncies favorables perquè la màquina acomplís els objectius pels quals havia sigut construïda. A part dels coneixements tècnics i expertesa per fer les peces i posar-la en moviment, les circumstàncies econòmiques i polítiques del lloc d'implantació de la tecnologia de vapor eren fonamentals perquè el projecte tirés endavant. La inversió econòmica que calia fer per la instal·lació i funcionament d'una màquina de vapor era molt alta, i també requeria d'experts locals que tinguessin coneixement suficient per fer el manteniment de la màquina mentre aquesta estigués en funcionament. La formació d'experts locals requeria d'un context en el que la circulació de coneixement tècnic fos suficient, i això només es podia aconseguir amb l'aposta per polítiques favorables al desenvolupament tecnològic d'un país.

A més, la transferència tecnològica és un procés en el que les innovacions s'adapten a les noves condicions locals. L'empresa de Boulton i Watt ho sabia molt bé, i per això feia un estudi del que s'esperava de la màquina que el client encarregava, així com del lloc on havia de ser instal·lada; després de l'estudi podien acabar desaconsellant la seva instal·lació. Eren conscients de la gran expectació social que generava la construcció d'una màquina de vapor i sabien que si la màquina no complia les expectatives suposaria una desacreditació de les màquines de vapor en general. Aquestes precaucions de l'empresa de Boulton i Watt són un reflex de la desconfiança que encara hi havia i la pressió que feien els tècnics que eren experts en altres tipus de tecnologia i temien que es perdés feina en el seu sector. Boulton i Watt també proporcionaven al client un expert que s'encarregava de posar la màquina en funcionament per evitar un projecte d'instal·lació inacabat.

En els casos que hem estudiat, en el moment de posar en marxa la màquina es generava una situació de molta expectació i de moltes incògnites. Per aconseguir la suficient freqüència de

pistonada calia fer ajustos que no eren fàcils, una pèrdua de pressió per qualsevol vàlvula o desajust del pistó amb el cilindre feia que la màquina parés o que els moviments del pistó fossin molt bruscos. Aquest moment crític requeria de temps i inventiva dels tècnics per solucionar problemes; en el cas de la màquina de vapor de Francesc Santponç va ser un moment en el que ens hem de parar amb atenció. La posada en moviment de la màquina de Santponç va donar lloc a un període d'experimentació necessari per solucionar els problemes tècnics de la màquina. Aquest període d'experimentació va fructificar en el disseny i construcció d'un sistema de automatització innovador.

La situació de desenvolupament tecnològic que es donava a Anglaterra, França i Barcelona era molt diferent en el temps en què es va produir al difusió i aclimatació de la tecnologia de doble efecte, que va ser la tecnologia utilitzada per Santponç per fer la seva màquina de vapor a Barcelona. Cal tenir en compte que Anglaterra va ser el lloc on els artífexs de la tecnologia de vapor la van desenvolupar i promoure amb la finalitat de la seva comercialització. A Anglaterra la tecnologia de vapor va evolucionar des de Savery a Newcomen fins arribar a Watt i la tecnologia de doble efecte. El complex industrial metal·lúrgic de Soho a Birmingham va ser on la tecnologia de doble efecte es va idear, en un entorn dotat de carbó mineral i una xarxa de canals per al transport de mercaderies.

L'aclimatació de la tecnologia de vapor de doble efecte a França va ser influenciada per la instal·lació prèvia a París de dues màquines de simple efecte amb condensador separat. Aquesta experiència preliminar amb la tecnologia de vapor va generar una circulació de coneixement tècnic i procediments que va suposar una gran oportunitat d'aprenentatge per als tècnics francesos. Aquesta experiència de la instal·lació a París de dues màquines per drenar aigua del Sena, promocionada pels germans Périer, es va portar endavant amb la contractació de la empresa de Boulton i Watt que es va encarregar de fer les peces i portar-les a París per la seva instal·lació. Els germans Périer tenien una foneria a Chaillot i molts coneixements tècnics, Constantin Périer ja havia experimentat amb la tecnologia de vapor junt a Auxiron en els primers intents de disseny del vaixell de vapor. La foneria de Chaillot tenia lligams empresarials amb la foneria de l'illa d'Indret, que era un establiment de la Marina francesa. Indret era un lloc clau de gran interès polític en ser el lloc on es construïen canons per la Marina, i per tant, el govern francès va promoure a Indret les tècniques més avançades de metal·lúrgia afavorint una circulació de coneixements i procediments que va requerir fortes inversions econòmiques. Els germans Périer van fer valdre aquesta circulació de coneixements que, junt a la experiència que van adquirir amb la instal·lació de dues màquines de vapor a la ciutat de París, van afrontar el repte de la instal·lació de dues màquines de doble efecte amb unes condicions d'expertesa i accés a mitjans tècnics molt favorables.

Quan el 1788 Agustín de Betancourt va tornar a París d'un viatge a Anglaterra, estava preparat per revelar la tecnologia de vapor de doble efecte i els germans Périer estaven en bones condicions per posar en pràctica aquesta tecnologia. Sense poder veure la totalitat de la primera de les dues màquines de vapor instal·lades a Albion Mills a Londres, Betancourt va idear un disseny de màquina de vapor després de veure la d'Albion Mills en funcionament. Els coneixements tècnics de Betancourt van ser el resultat d'una gran inversió de la Corona Espanyola que havia engegat una política d'estades a l'estranger d'aquells que haguessin mostrat bones disposicions a l'aprenentatge de la tecnologia. La maqueta que Betancourt va fer construir del seu disseny de màquina de doble efecte va ser estudiada per molts experts, entre altres, els germans Périer. La confiança en el disseny de Betancourt es va fonamentar, en gran

part, amb l'anàlisi de la maqueta, que formaria part des de 1796 de la col·lecció de màquines del Gabinete de Maquinas del Buen Retiro.

La confiança del germans Pèrier amb el disseny de Betancourt va donar lloc al projecte de la construcció de dues màquines de vapor de doble efecte que s'instal·larien a l'illa de Cygnes per engegar un sistema hidràulic que mouria dos línies de molins de blat. Aquest projecte va ser finalitzar el 1790. Gaspard Riche de Prony va publicar, l'any 1796, en el segon volum de *Nouvelle Architecture Hydraulique*, la descripció d'una de les màquines de Cygnes. La rapidesa en tot aquests esdeveniments mostra la preparació prèvia dels tècnics francesos, fruit també d'una aposta política pel desenvolupament tecnològic per part del govern francès que havia afavorit la implantació de les tècniques més modernes. També la preparació de Betancourt va ser una aposta política per la tecnologia de la Corona Espanyola. En la xarxa de condicions favorables a l'aclimatació de la tecnologia de doble efecte a França hem d'incloure la inversió pública i la privada, ambdues de gran importància. I l'interès comercial que tenien els germans Pèrier d'explotar aquest descobriment. Totes aquestes condicions favorables portaren a posar en moviment les primeres màquines de doble efecte a França.

Mentre que la transmissió de coneixement tècnic fluïa a França, a l'Estat Espanyol els experts en tecnologia estaven aïllats, sense comunicació entre ells i amb poca repercussió de les iniciatives tecnològiques que empenien. Aquesta situació pot explicar que probablement Santponç no examinés la maqueta de doble efecte que hi havia al Gabinete de Maquinas de Madrid des de 1796. Era la mateixa maqueta que va ser examinada a França pels germans Pèrier abans de posar a la pràctica el disseny de Betancourt del doble efecte. Per contra, Santponç sí que va tenir accés al segon volum de Prony on es descrivia la màquina basada en la maqueta. A partir d'aquest volum Santponç va construir la màquina de doble efecte de Barcelona.

Tot i que el context espanyol no era el més favorable per l'aclimatació de la tecnologia de vapor de doble efecte, la Corona Espanyola feia grans esforços per posar-se a l'altura d'altres països. Un exemple el tenim en l'oportunitat que es va generar amb la instal·lació d'una màquina de vapor per premsar les canyes de sucre a les plantacions de Cuba. Aquest projecte va comptar amb molts factors favorables que eren difícils que es donessin tots junts. Per una part va comptar amb una forta inversió privada generada pels interessos de grans propietaris cubans, la Corona Espanyola també va invertir en el projecte facilitant mitjans personals i materials. Betancourt s'encarregà de dirigir el projecte des d'Anglaterra. Per esquivar la exclusivitat de Watt en la construcció de màquines de tecnologia de doble efecte a Anglaterra, Betancourt va optar per una màquina de tecnologia Compound que funcionava sense necessitat de condensar el vapor de dintre del cilindre combinada amb el sistema de doble efecte. La màquina de Cuba va ser posada en funcionament el 1797, després de superar molts esculls. Però el projecte es va aturar en el moment decisiu d'adaptació de la màquina al lloc d'aclimatació per falta d'experts que disposessin de medis materials i coneixements tècnics per posar-la en moviment i que poguessin adaptar la màquina als dispositius de premsat de canya que havia d'engegar i a les condicions específiques del lloc.

Quan la màquina es va posar en moviment a Cuba, la seva eficiència no va ser l'esperada. Era el moment de fer els ajustos necessaris i solucionar els problemes que sempre sorgien fins que es trobaven les solucions tècniques de cada cas. En aquest cas, el govern espanyol va acordar amb els empresaris cubans apostar pel projecte i acabar d'enllestir el viatge de Betancourt a Cuba perquè es fes càrrec de la màquina. Després de molts preparatius i demores, el viatge no es va portar endavant i la màquina va funcionar de forma intermitent amb parades contínues fins que



va ser definitivament abandonada. Es pot dir que aquest projecte va ser aturat en el moment decisiu d'adaptació de la màquina al lloc d'aclimatació per falta d'experts amb mitjans materials i coneixement tècnic per posar-la en moviment i que poguessin adaptar la màquina als dispositius de premsat de canya que havia d'engegar i a les condicions específiques del lloc.

Al llarg de la nostra investigació ens hem plantejat perquè Jacint Ramon, i el mateix Santponç no van optar per contractar l'empresa Watt i Boulton per la instal·lació d'una màquina de doble efecte. Definitivament, aquesta opció no va ser una possibilitat factible; el gran cost econòmic que suposava un encàrrec com aquest, amb viatge inclòs a Anglaterra per fer el tracte, era un gran escull suficientment important per descartar aquesta opció. A més, la empresa de Watt i Boulton només acceptava encàrrecs a l'estranger si el client podia acreditar un compte solvent en una casa de comerç de Madrid o Cadis. L'única opció possible era que la màquina fos construïda per tècnics locals. En el moment en què Jacint Ramon va proposar el projecte a Santponç feia vuit anys que s'havia generat la possibilitat de construir una màquina de vapor de doble efecte amb la publicació del segon volum de *Nouvelle Architecture Hydraulique* de Prony. En la setmana que Santponç es va prendre per valorar si acceptava participar en el projecte, l'obra de Prony va ser fonamental per acceptar el gran repte de participar en altra oportunitat per l'aclimatació definitiva de la tecnologia de vapor a l'Estat Espanyol.

Habitualment, s'ha lligat als inicis del desenvolupament de la tecnologia de vapor amb la mineria, les manufactures, o el bombeig d'aigua i sempre amb una motivació industrial. Però la introducció de la màquina de vapor en el cas dels Països Baixos està relacionada amb la jardineria i, a partir del segle XVIII, amb el drenatge de les terres i la gestió de l'aigua. El cas estudiat de construcció d'una màquina de vapor l'any 1781 a Holanda per artesans locals presenta unes característiques diferents al del projecte de Santponç en diversos aspectes. En primer lloc, l'objectiu de la màquina era pujar aigua de nivell per mantenir els rierols i estanys artificials de la finca de John Hope. En segon lloc, Rinze Lieuwe Brouwer, el director del projecte, sí que va contactar amb l'empresa de Boulton i Watt que, en aquest cas, va desaconsellar l'opció d'una màquina d'última tecnologia. Finalment es va optar per una màquina tipus Newcomen que va funcionar els dilluns i dimarts els mesos d'estiu. També els materials emprats en la construcció de les seves parts van ser diferents; el cilindre va ser fabricat en llautó, el pistó de ferro i la bomba d'aigua estava construïda en fusta. El cilindre i el pistó de la màquina de Santponç van ser de bronze, materials de més duresa que requerien altres processos per la seva construcció.

Els experts i tècnics que intervenien en un projecte de construcció d'una màquina de vapor eren decisius per superar els problemes que es presentaven. En el cas de Betancourt va ser un enginyer dedicat enterament a la mecànica i al desenvolupament de la tecnologia. Les nombroses aportacions al camp del desenvolupament tecnològic evidencien que era un enginyer molt ben format que va poder mostrar la seva competència. La influència social de la família de Betancourt va ser determinant en facilitar recolzament institucional per al desenvolupament de la seva carrera. Quan va demostrar la seva valia, la Corona Espanyola va invertir recursos econòmics i humans perquè pogués desenvolupar el seu gran potencial com expert en tecnologia. Amb aquests recursos Betancourt va gaudir d'un context d'aprenentatge molt ric; a París va estar treballant junt a professors de l'Ecole Royales des Pont et Chaussées com Jean Rodolphe Perronet. I estava al nivell de grans enginyers i matemàtics com Gaspard Riche de Prony i Gaspard Monge, qui va fer l'informe del seu disseny de màquina de doble efecte. Durant el seu segon viatge a Anglaterra per dirigir la construcció de la màquina de Cuba va estar col·laborant colze a colze amb William Reynolds a Coalbrookdale, envoltat d'un ambient

amb tots els camps de la tecnologia oberts per a Betancourt on fluïa el coneixement científic i tecnològic. Llavors, quan es va posar al front de la construcció d'una màquina de vapor per ser instal·lada a Cuba el seu bagatge era impressionant; era la persona que havia portat a França el disseny de la màquina de doble efecte, on la seva comercialització pels germans Périer va provar la seva funcionalitat.

La bibliografia tècnica de Santponç revela una formació, en gran part, autodidacta, amb la qual va aconseguir fer difusió de noves màquines mitjançant iniciatives com el disseny i construcció de la màquina d'esgramar junt a Salvà. En el moment en què l'empresari Jacint Ramon li va proposar la direcció de la construcció d'una màquina de vapor era director de la secció d'Estàtica i Hidrostàtica de l'Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. Formava part del cos de coneixement tècnic de la ciutat, amb un interès viu per la tècnica i per posar el coneixement científic a disposició de qualsevol millora social. Quan va acceptar el projecte de construcció de la màquina de vapor, només hi ha constància de què havia vist de prop una de les màquines que estava construint-se a Chaillot per subministrar aigua a la ciutat de Paris i que encara no estava acabada. Santponç pertanyia a una família de destacats metges de Barcelona que el va orientar en l'elecció dels seus estudis, però no es pot dir que tinguessin influència social o política. Després d'estudiar medicina va fer un viatge d'estudis per l'estranger finançat pels recursos familiars amb el que va veure la màquina de Chaillot en construcció. La Corona Espanyola no va invertir recursos en la formació mecànica de Santponç, però va sufragar la impressió la memòria descriptiva de la màquina d'esgramar canem per fer difusió d'aquesta tecnologia desenvolupada per Santponç i Salvà. Igualment, es van fer tots els preparatius per imprimir la memòria descriptiva de la màquina de vapor. Jacint Ramon va contactar amb un dels millors entesos en mecànica de Barcelona que formava part de l'ambient de coneixement científic de la ciutat. Estava permanentment estudiant i revisant publicacions de tot tipus que li arribaven de l'estranger i havia demostrat una gran capacitat per aprendre en camps com la mecànica i en altres molt nous, en aquell moment, com l'anàlisi d'aigües.

Respecte el tipus de tecnologia que va utilitzar Santponç en la seva màquina, Jaume Agustí Cullell afirma que l'equip de Santponç va construir primer una màquina de Newcomen, després un prototip de màquina de doble efecte i finalment una tercera màquina gran de doble efecte. La afirmació de què el primer intent de Santponç i el seu equip va donar com a resultat una màquina de Newcomen la sustenta en dues de les notes escrites per Santponç en català en les que hi ha un esquema d'un cilindre i un esquema de la base del cilindre (Agustí, 1983, 88, 108 – 113, 134 - 137). Les altres notes es refereixen a la base i cúpula de la caldera, una nota sobre el balancí i un petit apunt sobre les vàlvules. L'esquema del cilindre presenta dues entrades per al vapor oposades a la part de dalt, en lloc d'una a part de dalt i altra a la part de sota característiques de la tecnologia de doble efecte. Respecte l'esquema de la base del cilindre apareix al seu centre un forat, típic de la tecnologia Newcomen per a la col·locació de la caldera directament a sota del cilindre. En els dos esquemes Santponç indica algunes mesures; respecte al cilindre, per exemple:

*Ha de tenir de capacitat a dintre un peu tres pulgadas i tres líneas (...) (Agustí, 1983, 135)*

Agustí no cita la ubicació d'aquests esquemes explicatius i nosaltres no hem sigut capaços de localitzar-los al llarg de la nostra investigació. És evident que són elements d'una màquina de vapor tipus Newcomen, però podrien correspondre a una etapa molt incipient del projecte que va ser descartada.

Com ja hem explicat al capítol 2, la primera mostra d'interès de Santponç per la tecnologia del vapor la trobem el 1801 quan Santponç va escriure una memòria sobre tecnologia del vapor per l'Acadèmia de Ciències i Arts de en la que descriu diverses experiències amb la força del vapor d'un nivell tècnic bàsic i nomena algunes màquines de vapor de les que coneix la seva instal·lació. Després de 1801, Santponç va traduir el text explicatiu de la màquina de Gensane que descrivia una màquina de tecnologia Savery amb una disposició especial que la feia més compacta,<sup>61</sup> aquest text és de més nivell tècnic i possiblement va ser una traducció que va fer per assimilar els principis de la tecnologia del vapor i aprendre. Al paràgraf 3 de la memòria descriptiva de la màquina de vapor Santponç explica que a l'any 1804 va rebre la proposta de Jacint Ramon. Amb aquesta seqüència dels fets, volem dir que el procés d'aprenentatge de Santponç des de la producció dels primers escrits sobre el tema fins la construcció de la màquina de vapor va ser molt ràpid i els dibuixos esquemàtics presentats per Agustí podrien haver-se descartat en el procés.

Nosaltres entenem que el tipus de tecnologia que va elegir Santponç per construir la màquina de vapor va ser en tot moment tecnologia de doble efecte amb condensador separat del cilindre. Ho sustentem en què a la memòria, Santponç qualifica la tecnologia de Newcomen com antiga i com primitiva<sup>62</sup>. També explica com Betancourt va revelar el funcionament de la tecnologia de doble efecte que va posar a la pràctica els germans Périer, considerant que és la tecnologia més perfecta del moment (Annex I, paràgraf 2), (Agustí, 1983, 143 – 144). La memòria mostra en la seva lectura i en els plànols de les parts de la màquina que la tecnologia per la que va apostar Santponç va ser la del doble efecte. El fet que a les notes de Santponç en català s'especifiquin les mesures del cilindre Newcomen indica que es va plantejar la seva construcció. Però tenint en compte el context tecnològic europeu i també espanyol ens inclinem a pensar que no es va arribar a construir una màquina Newcomen. Sabem que Santponç tenia coneixement del context tecnològic que es vivia a Europa pel seguiment que en feia amb la lectura de publicacions estrangeres de tot tipus. L'estudi que hem fet del context europeu mostra un moment en el que estaven caducant les patents de James Watt, les revistes de tecnologia ja podien publicar alguns avanços promoguts per ell i Prony havia escrit una obra on s'explicava el funcionament de la tecnologia de doble efecte. El que les notes en català mostren és que el procés d'aprenentatge de Santponç es va donar, en part, al mateix temps que dirigia la construcció de la màquina de vapor.

El procés de construcció de la màquina de Santponç va ser caracteritzat per un procés d'experimentació que va ser fonamental per aconseguir posar la màquina en moviment. Aquesta experimentació, que va començar fins i tot abans de prendre Santponç la direcció del projecte, va començar de forma més explícita després de posar la màquina en funcionament i comprovar que el moviment del pistó era brusc a causa dels desajustos de les vàlvules. El complicat sistema de corredera, palanques i contrapesos que feia les màquines automàtiques provocava els desajustos de les vàlvules. El procés d'experimentació i l'equip d'artesans que va dirigir Santponç, per solucionar aquests problemes, va ser fonamental en el projecte de construcció de la màquina perquè l'obra de Prony, amb la que Santponç es va basar, explica amb precisió el funcionament de la tecnologia del doble efecte, però amb la seva lectura no es pot saber com es construeix la màquina que descriu. I el mateix va fer Santponç quan va escriure la seva memòria; explicar el funcionament, parant-se molt en el disseny del Registre, però sense explicar com calia construir les parts.

---

<sup>61</sup> Consulteu Montava 2014

<sup>62</sup> Consulteu Annex I paràgraf 2 i 9 i Agustí i Cullell 1983 pp 143 – 144 i 147

Pel que fa als elements de la màquina de Santponç destaca el sistema que va fer automàtica la màquina. El registre de la màquina de Santponç va permetre eliminar totes les palanques que accionaven les vàlvules per obrir-les i tancar-les. En el disseny de Santponç no es requerien vàlvules, es pot considerar el mateix Registre com una única vàlvula que en girar 45° a dreta i esquerra posava en contacte caldera, cilindre i condensador en el moment precís per fer moure el pistó amb moviment homogeni. La corredera continuava sent necessària per al sistema d'automatització de la màquina, consistia en una senzilla barreta de metall que actuava sobre el registre aprofitant el moviment del pistó. Aquesta peça va ser la gran protagonista de la memòria descriptiva de la màquina, en ella Santponç es refereix a la màquina com “màquina de registre” o “bomba de registre” i fa una detallada descripció del seu funcionament acompanyant de plànols detallats amb diversos talls.

El disseny del registre va generar una polèmica respecte la seva autoria com a conseqüència de la publicació de la *Gazeta* on es va anunciar la construcció del prototip de la màquina de vapor de Francesc Santponç. La publicació de la *Gazeta* de 26 de juliol de 1805, va atribuir el seu disseny a Antoni Pujades, el fuster de l'equip de Santponç. Santponç va protestar de forma enèrgica; en tenim prova en un manuscrit de l'arxiu familiar en el que Santponç va copiar l'article de la *Gazeta* i a continuació una nota amb la seva contestació<sup>63</sup>. La notícia de la *Gazeta* dóna la dada de que ja s'havia encarregat a Santponç la redacció d'una memòria descriptiva de la màquina, de la que Santponç va rebre comunicació oficial el 23 d'agost. Això vol dir que quan escrivia la memòria la polèmica s'havia servit ja. Dóna versemblança a la versió de Santponç la cita que fa de l'obra de Bèlidor indicant on es troba l'aixeta de doble sortida, que va ser utilitzada doblement en el registre per rebatre la importància que se li va donar a Pujades. També dóna credibilitat el fet que Santponç doni valor a l'equip d'artesans donant el nom i cognoms a la memòria i reconeixent la seva dedicació i implicació, fins i tot quan la polèmica s'havia encetat ja. El que queda clar és que el projecte va ser un treball en equip i mostra la forma conjunta de treballar, també amb la implicació de l'empresari, qui estava al cas de tot i va prendre part en el disseny del forn de la màquina.

L'única mesura que dóna Santponç en la memòria descriptiva de la seva màquina de vapor va ser l'interior del seu cilindre, que tenia un diàmetre de 15, 25 polzades. El material emprat per el cilindre i el pistó va ser bronze. No se sap el procediment que va emprar l'equip dirigit per Santponç per la construcció del cilindre, ni el lloc on es va fer. La precisió amb la que s'havia de treballar per fer un bon ajust entre el pistó i el cilindre era clau perquè l'aire atmosfèric no entrés al seu interior espatllant el buit i calia evitar igualment les fuites de vapor que aturaven la màquina després d'algunes pistonades. Com que el material que va utilitzar Santponç per al cilindre i pistó va ser bronze, la seva duresa requeria que els cilindres es construïssin barrinat el seu interior. Coincidim amb Agustí Cullerell que un possible lloc de construcció del cilindre de Santponç va ser les Drassanes de Barcelona, on hi havia instal·lada la maquinària necessària per perforar canons. La tecnologia per barrinar canons havia sigut desenvolupada a Anglaterra i França amb tot el suport polític pel seu pes estratègic en cas de guerra. Una tecnologia que va aprofitar per la construcció de màquines de vapor.

Respecte els engranatges de la màquina, sabem per la memòria descriptiva, que eren els utilitzats per Sadler i els van construir per al prototip. Els engranatges servien per transformar el moviment lineal del pistó en circular i transferir-lo a les màquines de filatures directament. Amb els engranatges també s'aconseguia que el canvi de sentit del pistó no trenqués l'homogeneïtat

---

<sup>63</sup> Es pot consultar la transcripció d'aquest document a l'annex II d'aquesta tesi.

del moviment. El prototip va funcionar molt bé transferint el moviment del pistó a les màquines de filatures mitjançant l'acció dels engranatges. També van connectar el prototip a altre sistema de transferència del moviment que consistia en unir el pistó a una fusta que estava connectada a cada extrem a una bomba d'extracció d'aigua, el resultat també va ser positiu. El funcionament del prototip va complir amb totes les expectatives que s'havien posat en ell, tan va ser així que la Casa Reial va sol·licitar la redacció d'una memòria descriptiva per fer difusió d'aquesta tecnologia per tot l'Estat Espanyol amb la intenció de promocionar les noves tecnologies entre artesans i fabricants.

La màquina gran estava destinada a pujar aigua de nivell per aconseguir un salt d'aigua que engegués un sistema hidràulic preparat per a posar en funcionament la maquinària de la fàbrica. Per a aconseguir-ho, Santponç va idear una fusta, representada amb la lletra Y de la figura 1 d'aquesta tesi. Al plànol de la composició final de la màquina representada per la figura 1 apareix la fusta Y tallada, per la qual cosa no sabem exactament com tenia connectades les dues bombes d'extracció d'aigua. Santponç afirma que amb la peça Y no calia emprar el característic balancí de les màquines de vapor destinades a pujar aigua. La peça de fusta Y movia unes palanques que feien moure dues bombes d'extracció d'aigua de forma que quan una pujava, l'altra baixava. Amb aquest sistema, que funcionava en conjunt als engranatges, Santponç afirmava que no calia construir el balancí<sup>64</sup>.

Alguns autors com Jaume Agustí o Juan Helguera consideren pujar aigua un ús menor per a una màquina de vapor. Però en aquella època era habitual utilitzar una màquina de vapor per a engegar sistemes hidràulics que feien anar màquines de tot tipus. L'exemple el tenim en la mateixa màquina de doble efecte descrita a l'obra de Prony i amb la que Santponç es guia. També el taller del Périer tenia una màquina de vapor per proporcionar un salt d'aigua que engegava un sistema hidràulic o, igualment, els molins d'Albion Mills. Tot i això, és lògic plantejar la qüestió de perquè Santponç no va utilitzar la màquina gran per engegar directament les filatures de la fàbrica. Però a l'annex 4 d'aquesta tesi comprovem que la màquina de Santponç sí que va ser utilitzada per moure màquines de filatura, en aquesta carta en la que demana que es busqui la memòria perduda en la guerra Santponç diu:

*Se aplicó su movimiento á las muchas maquinas de cardar, y de hilar algodón que había en el primero y segundo alto de aquella fabrica, y se iba á aplicar á otras faenas. Pero aquí fue ya la admiración universal, todo Barcelona acudia á ver aquel nuevo fenómeno de la estatica pneumática*

També al paràgraf 3 de la memòria, quan Santponç enumera les tasques per a les que es farà ús de la màquina:

*...la construcción de una bomba de fuego que deseaba tener en su casa para cardar, hilar, subir agua, y executar otras operaciones en su fabrica conforme habia oído decir que lo executa la famosa Maquina de Manchester en Inglaterra.*

Llavors totes les operacions per a les que s'havia construït la màquina de vapor, incloses "otras faenas" i "otras operaciones" podrien estar connectades a un sistema hidràulic preexistent que necessitaven engegar amb la màquina de vapor.

---

<sup>64</sup> Les explicacions sobre la barra de fusta Y i la connexió amb les bombes les dona a partir del paràgraf 72 fins al 75

Per altra part, tot i que és veritat que el mecanisme de doble efecte feia el moviment del pistó més homogeni i van poder-se aplicar directament la màquina de vapor a moure la maquinària tèxtil, la tecnologia de doble efecte interessava també perquè va pujar l'eficiència de les màquines de vapor i per tant, l'estalvi de combustible. La motivació de la construcció de la màquina de Jacint Ramon va ser l'estalvi econòmic amb la supressió de les cavalleries i el seu interès per construir un forn eficient recolzen aquesta motivació econòmica, que per altra part és lògica. Val a dir que la inversió que va haver de fer va ser molt considerable i donat que la màquina va deixar de funcionar a causa de l'arribada de la guerra, no creiem que pogués recuperar els diners de la inversió.

Després de l'èxit del prototip calia aplicar les solucions als problemes de la màquina gran, però que va passar amb aquesta màquina?

Per tractar de contestar a aquesta pregunta primer anirem a l'arxiu de la família de Santponç on es conserven dos esborranys de la memòria. Un anàlisi comparatiu entre els esborranys i la versió definitiva mostra que hi ha poques diferències. Santponç canvia paraules o formes d'expressar-se, però sembla que tenia molt clar des del principi tot allò que volia dir. Tot i això hi ha una nota al marge en l'esborrany més brut que no apareix a la versió definitiva i que volem reproduir:

*“Habiéndome propuesto añadir algunas perfecciones a la maquina grande que se esta construyendo, me parece conveniente no publicar la parte científica hasta que aquella este enteramente concluida de la nueva maquina de registro”.*

Llavors aquesta nota indica que encara estava construint-se la màquina quan va escriure la memòria i que Santponç pretenia continuar l'experimentació amb la màquina gran. Llavors Santponç estava disposat a aprendre més amb la màquina gran, aquesta nota indica que tenia més idees.

La màquina gran va ser acabada, això ho sabem per la carta que Santponç va escriure demanant que es busqués la memòria perduda quan ja estava a Madrid per ser impresa<sup>65</sup>. La memòria es va perdre quan va començar la guerra de la independència (1808 – 1814) i la carta va ser escrita el 15 d'octubre de 1715. Santponç explica que, quan escriu la carta, la màquina estava a la fabrica de Jacint Ramon, però parada com a conseqüència de la guerra i per l'encariment del carbó en la ciutat. Abans de la guerra, Barcelona s'abastia del llast de carbó que portaven els vaixells anglesos i que venien a bon preu, però el comerç estava llavors tancat amb els anglesos.

Continuem amb a uns informes negatius sobre la màquina de Santponç que van arribar a les autoritats. A l'annex 3 hem transcrit una carta que el Marqués de Monistrol escriu a Santponç per felicitar-lo:

*“Doy les à vm igualmente la enorabuena por haver triunfado de los siniestros informes qu se han dado a la superioridad, concernientes a Hilados de algodón, y es llàstima a que no sea publico el beneficio incomparable que ha echo vm a la patria...”*

Quan el Marquès de Monistrol es refereix a “Hilados de algodón” pot referir-se a El Cuerpo de Fábricas de Hilados y Pintados de Barcelona, del qual Jacint Ramon era comissionat. No sabem que explicarien aquests informes, però està clar que es referien al projecte de la màquina de

---

<sup>65</sup> Podeu consultar la transcripció a l'annex 4

vapor. Pot ser la màquina gran no havia complert els objectius pels que s'havia construït, o pot ser els informes es referien a Santponç?

Amb tot el que hem après en la nostra investigació podem donar algunes hipòtesis. Si els informes es referien a que la màquina gran no estava donant el rendiment que s'esperava, cal tenir en compte dues coses. En primer lloc, com hem demostrat, era habitual que es produïssin desajustos i una quantitat insuficient de pistonades per minut quan s'engegava una màquina de vapor per primer cop. De fet ja els va passar quan la engegaren per primer cop amb el sistema d'automatització antic. Pot ser una segona etapa crítica va ser massa descoratjadora en un ambient que, recordem, ja devia estar molt enrarit per la polèmica de l'autoria del registre.

En tot cas, segons el Marqués de Monistrol, Santponç se'n va sortir molt bé dels informes negatius, això pot indicar que els informes es referien a ell. Si es així, només podríem pensar en problemes de convivència entre caràcters que devien ser molt forts per atrevir-se a engegar un projecte d'aquesta envergadura. El que tenim clar és que Santponç va dirigir un projecte molt difícil d'afrontar en el que hagué de fer molts càlculs per als engranatges i tots els ajustos i trobar solució a tots els problemes que es presentaven estudiant entre les publicacions estrangeres. També tenim clar que sense l'equip d'artesans Santponç no hagués pogut tirar endavant, va ser un treball en equip on tots varen aprendre. Un projecte que va posar en disposició d'aprendre més a tots ells i una experiència que hagués suposat una circulació de coneixement i saber fer per la ciutat de Barcelona, i més enllà, que va aturar la vinguda de la guerra.

\*\*\*

Aquesta investigació pot ser completada amb un estudi de comparació del registre de la màquina de Santponç amb altres solucions d'automatització posteriors a Santponç i que servissin per analitzar com van evolucionar els sistemes que feien les màquines automàtiques.

Un altre camp d'investigació són les fonts de coneixement de Santponç que poden ser estudiades amb major aprofundiment per elaborar un llistat d'obres consultades i poder arribar a més conclusions sobre el procés d'aprenentatge de Francesc Santponç.

Tampoc hem afrontat un estudi del càlcul de la potència de la màquina de Santponç que ajudaria a posar la màquina en el seu context amb més referències. També pensem que podria portar noves dades sobre el context la identificació de la "famosa machina de Manchester" esmentada en la memòria de Santponç i de la que també es parla a la carta que Jacint Ramon escriu junt a altres comissionats per demanar a la Corona facilitats per accedir a maquetes de màquines de vapor i màquines de filatures.

## BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 1

Agustí J. (1980). *L'Escola de Mecànica de la Junta de Comerç de Barcelona*. I Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias. Santiago Garma (ed.). Diputación Provincial de Madrid. Madrid

Agustí J. (1983). *Ciència i Tècnica a la Catalunya en el segle XVIII*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.

Bernat, P.; Nieto – Galan, A.; Puig– Pla, C. (2009). *Propagar innovacions tècniques. Les Memorias de Agricultura y Artes*. A: Fàbrica, Taller i Laboratori. La Junta de Comerç de Barcelona: Ciència i Tècnica per a la Indústria i el comerç (1769 – 1851). Coord: Barca – Salom, X.; Bernat, P.; Pont – Estradera, M.; Puig – Pla, C pp 291 – 308. Cambra de Comerç de Barcelona. Barcelona.

Blondel, Ch.; Dörries, M. (eds.) (1994). *Restaging Coulomb: Usages, controverses et répliques autour de la balance de torsion*. Biblioteca di Nunciis, Studi e Testi, 15. Leo S. Olschki. Florence.

Cardwell, D.S.L. (1963). *Steam Power in the Eighteenth Century*. Sheed and Ward. London and New York.

Cardwell, D. S. L. (1968). *Technology, Science and History*. Manchester University Press. Manchester.

Cardwell, D. S. L. (1989). *From Watt to Clausius. The rise of Thermodynamics in the Early Industrial Age*. Iowa State University Press.

Cardwell, D. S. L. (1993). *Historia de la Tecnologia*. Alianza Universal. Madrid.

Cardwell, D. S. L. (2003). *Power Technology and advance of Science, 1700 – 1825*. A: The development of Science and Technology in the 19th century. Edited by Richard L. Hills. International Padstow. Cornwall.

Chatzis, K. ; Gouzévitch, I.; Gouzévitch, D. (2009). *Betancourt et l'Europe des ingenieurs de s Ponts et Chaussees. Des Histoires Connectées*. A: Quaderns d'Història de l'enginyeria, vol X, pp 3 – 18.

Dickinson, H. W. (1957). *The Steam Engine to 1830*. A: A History of Technology. Edited by Singer, C.; Holmyard, E.J.; Hall, A.R.; Williams, T.I. Oxford at the Clarendon press. Oxford.

Dickinson, H. W.; Jenkins, R. (1989). *James Watt and the Steam Engine*. Encore Editions. London.

Dickinson, H. W. (2011). *A Short Story of Steam Engine*. First published in 1939. Cambridge University Press. Cambridge.

Farey, J. (1827). *A Treatise of Steam Engine. Historical, practical and descriptive*. Printed for Longman. London.

Fiter i Inglés, J. (1890). *Una valiosa adquisició*. El Economista español, any 1, num. 2, agosto, p. 39-40.

Gouzévitch, D. (2016). *La priorité nationale versus le triomphe du transfert technique: une contribution à l'histoire du suport mécanique*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria. pp 371 – 393



Gouzévitch, I. (1997). *L'histoire de la mise en place de l'enseignement de la mécanique appliquée à l'Institut des Ingénieurs des voies de communication de Saint Pétersbourg*. p. 16. Manuscrit, archives IDG. Paris

Gouzévitch, I; Gouzévitch D. (2003). *Agustín de Betancourt: el modelo de la comunicación profesional de los ingenieros a finales del siglo XVIII y principios del XIX*. A: Actas Seminario Orotava Ciencia y Romanticismo, Canarias. Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia. pp. 303–327.

Gouzévitch, I.; Vérin, H. (2005). *Sobre la institución y el desarrollo de la ingeniería: Una perspectiva europea*. A: Técnica e Ingeniería en España, vol. II: El Siglo de las Luces: De la ingeniería a la nueva navegación, pp 115 – 163. Editor: Manuel Silva Suarez. Institució Fernando el Católico i Prensas Universitarias de Zaragoza; Madrid, Real Academia de Ingeniería. Zaragoza.

Gouzévitch I.; Gouzévitch D. (2007). *El gran tour de los ingenieros y la aventura internacional de la máquina de vapor de Watt. Un ensayo de comparación entre España y Rusia*. A: Maquinismo Ibérico. Coordinadors: Lafuente A.; Cardoso A.; Saraiva T. Madrid: Doce Valles. P. 147-191.

Gouzévitch, I.; Gouzévitch, D. (2010). *Agustín Betancourt and Mining Technologies: From Almadén to St. Petersburg (1783 – 1824)*. A: History of Technology, volum 30.

Gouzévitch, I (2016). *Betancourt et le télégraphe électrique: l'anatomie d'un apocryphe*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria.

Helguera, J. (1984). *La industria metalúrgica experimental en el siglo XVIII: las Reales Fábricas de San Juan de Alcaraz, 1772 – 1800*. Universidad de Valladolid. Valladolid (Estudios y Documentos, num. 43).

Helguera, J. (1988). *Las misiones de espionaje industrial en la época del Marqués de la Ensenada, y su contribución al conocimiento de las nuevas técnicas metalúrgicas y artilleras a mediados del siglo xviii*. A: Estudios sobre la Historia de la Ciencia y de la Técnica, vol. II, pp. 671-695. Valladolid.

Helguera, J. (1995). *Antonio de Ulloa en la época del marqués de la Ensenada: del espionaje industrial al Canal de Castilla (1749-1754)*. A: Actas del II Centenario de Don Antonio de Ulloa, pp. 197-218. Sevilla

Helguera, J.; Torrejón, J. (2001). *La introducción de la máquina de vapor*. A: Ayala-Carcedo, F.J. (Dir.), Historia de la Tecnología en España, pp.241-252. Valatenea. Barcelona.

Helguera, J. (2005). *Introducción de nuevas técnicas: de la inmigración tecnológica al espionaje industrial*. A: Técnica e ingeniería en España. Vol 3: El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal. Editor: Manuel Silva Suárez. Institucion Fernando el Católico. Zaragoza.

Helguera, J. (2010). *The Beginnings of Industrial Espionage in Spain (1748- 1760)*. A: History of Technology, XXX, pp. 1-12.

Helguera, J. (2017). *Jorge Juan y las transferències de tecnologia a mediados del s. XVIII. La máquina de vapor*. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes. Alacant.

Hills, Richard (1989). *Power from Steam. A history of the stationary steam engine*. Cambridge University Press. Cambridge.

- Lusa, G.; Roca – Rosell, A. (1999). *Doscientos años de técnica en Barcelona. La técnica científica académica*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria, vol. 3. pp 101 – 130.
- Lusa, G.; Roca - Rosell, A. (2005). *Historia de la ingeniería industrial. La Escuela de Barcelona 1851-2001*. A: Documentos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, vol. 15, pp 13-95.
- Montava Gadea, M. (2014) *Francesc Santponç i Roca i la màquina de Gensanne (1802?)*. Quaderns d'història de l'enginyeria. vol. XIV. pp. 35-81.
- Nieto-Galan, A. (2001). *La seducción de la máquina*. Nivola. Madrid.
- Nieto – Galan, A.; Roca – Rosell, A. (dir) (2000). *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts als segles XVIII i XIX. Història, ciència i societat*. RACAB, IEC. Barcelona.
- Nieto – Galan, A.; Roca – Rosell, A. (2006). *Scientific Education and the Crisis of the University in 18th Century Barcelona*. A: Universities and Science in Early Modern Period. Feingold, M.; Navarro – Brotons, V. (dir.). pp 273 – 288. Springer. Dordrecht.
- Payen, J. (1967). *Bétancourt et l'introduction en France de la Machine à vapeur à double effet (1789)*. A: Revue d'histoire des sciences et de leurs Applications, tom 20 num. 2 pp. 187 – 198.
- Payen, J. (1969). *Capital et Machine à Vapeur au XVIII Siècle. Les frères Périer et l'introduction en France de la machine pa vapeur de Watt*. Mouton and Co ed. Paris.
- Payen, J. (1985). *Technologie de l'energie vapeur en France dans la preimère moitié du XIXe siècle*. Comité des travaux historiques et scientifiques. Paris.
- Phin, J. (1887). *An exact reprint of the famous Century of Inventions of the marquis of Worcester*. The Industrial Publication Company. New York.
- Puig – Pla, C. (1996). *L'establiment dels cursos de mecànica a l'Escola Industrial de Barcelona*. A: Quaderns d'història de l'enginyeria. Vol. 1.
- Puig – Pla, C. (2000). *Els primers socis artistes de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1764 – 1824)*. A: La Reial Acadèmia de Ciències i Arts als segles XVIII i XIX. Història, ciència i societat. Nieto – Galan, A.; Roca – Rosell, A. (dir). Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.
- Puig – Pla, C. (2002). *Las Memorias de Agricultura y Artes (1815 – 1821). Innovación y difusión de tecnología en la primera industrialización de Cataluña*. A: Quaderns d'història de l'enginyeria. Vol. 5.
- Puig – Pla, C. ; Roca – Rosell, A. (2007). *Francesc Santponç i Roca (1756 – 1821) i el projecte per crear escoles de mecànica a totes les províncies espanyoles (1813)*. A: Quaderns d'història de enginyeria. Vol 8.
- Puig – Pla, C. (2009). *L'influence française dans le premiers périodiques scientifiques et tenchniques espagnols. Les Memorias de agricultura y artes (1815 – 1821)*. A: La presse et les périodiques techniques en Europe 1750 – 1950. Chapitre 2 pp 51 -70. L'Harmattan.

Puig – Pla, C. (2009). *Divulgar la física moderna. L'Escola de Física Experimental*. A: Fàbrica, Taller i Laboratori. La Junta de Comerç de Barcelona: Ciència i Tècnica per a la Indústria i el comerç (1769 – 1851). Coord: Barca – Salom, X.; Bernat, P.; Pont – Estradera, M.; Puig – Pla, C pp 159 – 182. Cambra de Comerç de Barcelona. Barcelona.

Puig – Pla, C.; Sanchez – Miñana, J. (2009). *Conèixer i dissenyar màquines. El Gabinet de Màquines. L'Escola de Mecànica. La Càtedra de Maquinària*. A: Fàbrica, Taller i Laboratori. La Junta de Comerç de Barcelona: Ciència i Tècnica per a la Indústria i el comerç (1769 – 1851). Coord: Barca – Salom, X.; Bernat, P.; Pont – Estradera, M.; Puig – Pla, C pp 113 – 138. Cambra de Comerç de Barcelona. Barcelona.

Puig – Pla, C. ; Roca – Rosell, A. (2010). *The Beginnings of Mechanical Engineering in Spain: The Contribution of Francesc Santponç i Roca (Barcelona, 1756 – 1821)*. A: History of Technology. Volume XXX.

Roberts, L. (2000). *Water, steam and change: the roles of land drainage, wàter supplies and garden fountains in the early development of the steam engine*. A: Endeavour.vol 24, num 2, pp 55 – 58.

Roberts, L. (2006). *Devices Without Borders: What an Eighteenth-Century Display of Steam Engines Can Teach Us about 'Public' and 'Popular' Science*. A: Science & Education. vol 16, num 6, pp 561 - 572.

Roberts, L. (2009) *Full Steam Ahead: Entrepreneurial Enginners as Go – betweens during the late Eighteenth century*. A: The Brokered world: Go-betweenes and global intelligence. Schaffer, S.; Roberts, L.; Raj, K.; Delbourgo, J. (Ed.).Uppasa Studies in History of Science, num 35, cap 5, pp 193 – 238 . Science History Publications

Roberts, L. (2011). *Geographies of Steam: Mapping the Entrepreneurial Activities of Steam Engineers in France during the Second Half of the Eighteenth Century*. A: History and Technology vol 27, num 4, pp 417 - 439.

Roberts, L. (2014). *An Arcadian Apparatus: The Introduction of the Steam Engine into the Dutch Landscape*. A:Technology and Culture, vol 45, num 2, pp 251 -276.

Roca – Rosell, A. (2005). *Técnica, ciencia e industria en tiempo de revoluciones. La química y la mecánica en Barcelona en el cambio de siglo XVIII al XIX*. A: Técnica e ingeniería en España. Vol 3: El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal. Editor: Manuel Silva Suárez. Institució Fernando el Católico i Prensas Universitarias de Zaragoza; Madrid, Real Academia de Ingeniería. Zaragoza

Roca – Rosell, A. (2014). *Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1764 – 2014); 250 anys d'història*. Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona. Barcelona.

Zarzoso, A. (2004) *Medicina i il·lustració a Catalunya: la formació de l'Acadèmia Mèdico-Pràctica de Barcelona*. Fundació Noguera. Barcelona.

## BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 2:

Agustí J. (1983). *Ciència i Tècnica a la Catalunya en el segle XVIII*. Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.

Ayuda, Juan de Dios (1789). *Examen de las aguas medicinales de mas nombre que hay en las Andalucias*. Baeza.

Bélidor, B. (1737). *Architecure Hydraulique*. Tome Premier. Chez Charles Antoine Jombaine. Paris.

Dupont, J. Y. (2000). *Le cours de Machines de l'Ecole polytechnique, de sa creation jusqu'en 1850*. A: Bulletin de Sabix en línia: <https://journals.openedition.org/sabix/253>.

Ferguson, J. (1823). *Lectures on selected subjects*. Volum II. Tercera edició. Edinburg

Gamborino, M. (1784). *Experiencias Aerostáticas en Barcelona. ¿Qué falta para volar? Que cueste poco*. Inprès per Francisco Suirà. Barcelona.

García-Doncel, M. (2000). *Els quatre enfocaments inicials de l'Acadèmia*. A: La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVIII i XIX. Història, ciència i societat. . Coordinadors: Agustí Nieto-Galan i Antoni Roca-Rosell. Reial Acadèmia de Ciències i Arts de i Institut d'Estudis Catalans. Barcelona. pp 81-123.

Gioanetti, V. (1779). *Analyse des eaux de S. Vincent et de Courmayeur dans le douché d'Aoste*. Chez Jean-Michel Briolo. Turin.

Gouzévitch, I. (2018) *Planète "Bétancourt"*. Université Paris Diderot. Paris.

Helguera Quijada, J. (2005). *La introducción de nuevas técnicas: de la inmigración tecnológica al espionaje industrial*. A: Técnica e ingeniería en España. Vol III. Real Academia de Ingeniería. Institucion Fernando el Catolico. Prensas Universitarias de Zaragoza. Coordinador Manuel Silva Suarez. Zaragoza.

Iglésies Fort J. (1964). *La Real Academia de Ciencias Naturales y Artes en el siglo XVIII*. A: Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, vol 36, num 1, tercera epoca Edicions Ariel. Barcelona.

Lloret-Rios, R. (2015). *El declivi del Canal de la Infanta. La seva contribució a l'abastament d'aigua potable a la Regió Metropolitana de Barcelona*. A: El Canal de la Infanta; la recuperació d'un patrimoni. Coord: Ignasi Doñate i Sanglas. L'Avenç de Cornellà de Llobregat. Cornellà de Llobregat.

Martinez-Otero, V. (2015). *La educación popular en el Discurso de Campomanes*. A: Revista iberoamericana de educación. Vol 68, núm. 1, 141-164.

*Memorial literario, instructivo y curioso de la Corte de Madrid* (1784). Disertación sobre la explicacion y uso de una nueva máquina para agramar cáñamos y linos. Num. de desembre, 65-66.

Menós, J. (1787). *Memoria o breve descripcion de las aguas minerales de la fuente de la vila de Espuga de Francolí en el Principado de Catalunya*. Inprès per Iturralde. Manresa.

Montava, M. (2014). *Francesc Santponç i Roca i la Màquina ee Gensanne (1802?)*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria, vol. XIV, pp. 35-81.

Nieto-Galan, A. (1994). *Ciència a Catalunya a l'inici del segle XIX : teoria i aplicacions tècniques a l'Escola de Química de Barcelona sota la direcció de Francesc Carbonell i Bravo (1805-1822)*. Universitat de Barcelona. Barcelona.

Nieto-Galan, A.; Roca-Rosell, A (coord). (2000). *La Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona als segles XVII i XIX. Història, Ciència i Societat*. Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i Institut d'Estudis Catalans. Barcelona.

Pinilla Martinez, J. (2017). *El recorrido traductológico de la obra de Torbern Olof Bergman De Opuscula Physica et Chemica hasta los Elementos Físico-Químicos de la análisis general de las aguas de Ignacio Antonio de Soto y Aeauxo*. A Revista de Divulgación Lingüística, num 20, pp. 119-130.

Puig-Pla, C. (2002). *Las memorias de agricultura y artes (1815-1821). Innovación y difusión de tecnología en la primera industrialización de Catalunya*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria. Vol.V, pp 27-58.

Puig-Pla, C.; Roca-Rosell, A. (2007). *Francesc Santponç i el projecte per establir escoles de mecànica en totes les províncies espanyoles*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria. Vol VIII, pp 343-358. Barcelona.

Puig Pla C.; Sánchez Miñana, J. (2009). *Conèixer i dissenyar màquines. El gabinet de màquines. L'escola de Mecànica. La càtedra de Maquinària*. A: Fàbrica, Taller i Laboratori. La Junta de Comerç: ciència i tècnica per a la indústria i el comerç (1769-1851). Coordinadors: Barca-Salom, F.; Bernat, P.; Pont i Estradera, M.; Puig-Pla, C. Cambra de Comerç de Barcelona. Barcelona.

Roca-Rosell, A. (2005). *Técnica, ciencia e industria en el tiempo de revoluciones. La química i la mecànica en Barcelona en el cambio del siglo XVIII al XIX*. A: Silva Suárez, M. (ed.) Técnica e ingeniería en España III. El siglo de las luces. De la industria al ámbito agroforestal, pp. 183 – 235. Real Academia de Ingeniería/Institución “Fernando el Católico”/Prensas Universitarias de Zaragoza. Zaragoza.

Roca-Rosell A. (2014). *Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (1764-2014) 250 anys d'història*. Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona i Diputació de Barcelona. Barcelona.

Roca-Rosell, A.; Puig-Pla, C. (2010). *The Beginnings of Mechanical Engineering in Spain: The Contribution of Francesc Santponç i Roca (Barcelona, 1756-1821)*. A: History of Technology, Volume 30, pp 32-45.

Rodríguez Campomanes, P. (1775). *Discurso sobre la educacion de los artesanos y su fomento*. Imprenta de Don Antonio de Sancha. Madrid.

Salvà F., Santponç, F. (1784). *Disertacion sobre la explicacion y uso de una nueva maquina para agramar cañamos y linos inventada por los doctores en medicina Francisco Salva y Campillo, y Francisco Sanpontos y Roca*. Imprenta Real de Madrid.

Sanchez-Miñana, J. (2014). *La colaboracion del Dr. Salvà i Campillillo con el Memorial literario de Madrid (1786-1790)*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria. Volum IV pp 184-230.

- Santponç, F.(1790?). *Análisis de las aguas minerales de Gavà en el Principado de Catalunya*. Viuda Piferrer. Barcelona.
- Santponç, F. (1792). *Análisis de las aguas minerales de Moncada en el Principado de Catalunya*. Viuda Piferrer. Barcelona.
- Santponç, F. (1816). *Colección de los mapas topográficos arreglados para el uso de la Escuela gratuita de Mecánica de la Real Junta de Gobierno del Comercio de Catalunya*. Impreso por Dorca. Barcelona.
- Soto Arauxo, I. (1794). *Elementos Físico Matemáticos de la análisis general de las aguas*. Madrid en la imprenta real.
- Urteaga, L.(1980). *Miseria, miasmas y microbios. Las topografías médicas y estudio del medio ambiente en el siglo XIX*. A: Geo Crítica: cuadernos críticos de geografía humana, <https://www.raco.cat/index.php/GeoCritica/article/view/59345> [Consulta: 13-12-2020].
- Vallés - Martí, J.M. (2014). *Les aigües medicinals de l'Esplugu de Francolí*. A: Revista Podall num. 3, pp 364-391.
- Vallés - Rovira, I. (1985). *La màgia del Vol. Primeres proves aerostàtiques a Barcelona, València i Castella al final del segle XVIII*. Altafulla. Barcelona.
- Vallribera i Puig, P. (2000). *Les topografies mèdiques de la Reial Acadèmia de Medicina de Catalunya*. Publicacions del Seminari Pere Mata de la Universitat de Barcelona, núm 86. Barcelona.
- Zarzoso Orellana, A. (2003). *La pràctica mèdica a la Catalunya del segle XVIII*. Tesi Doctoral. Universitat Pompeu Fabra. Barcelona. Publicació: *Medicina i il·lustració a Catalunya : la formació de l'Acadèmia Mèdico-Pràctica de Barcelona*. Fundació Noguera. Barcelona, 2004.



### BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 3

- Betancourt, A. (1789). *Mémoire sur une Machine à vapeur, à double effet*. Arxius de l'Académie des sciences de Paris. París.
- Bret, P. (2009). *La fonderie de canons d'Indret. De quelques modes de circulation technique à la fin du XVIII<sup>e</sup> siècle*. A: Quaderns d'Història de l'Enginyeria. vol. X, pp. 53 – 66. Barcelona.
- Dickinson, H. W. (1957). *The Steam Engine to 1830*. A: A History of Technology. Edited by Singer, C.; Holmyard, E.J.; Hall, A.R.; Williams, T.I. Oxford at the Clarendon press. Oxford.
- Dickinson, H. W.; Jenkins (1989). *James Watt and steam engine*. Encore Editions. London
- Farey, J. (1827). *A treatise on the steam engine*. Printed for Longman. London.
- Gouzévitch, I. (2018). *Planète "Bétancourt"*. Université Paris Diderot. Paris.
- Jones, P. (2008). *Industrial Enlightenment. Science, Technology and Culture in Birmingham and West Midlands 1760 – 1820*. Manchester University Press. Manchester.
- Payen, J. (1965). *Capital et machine à vapeur au XVIII<sup>e</sup> siècle. Les frères Périer et l'introduction en France de la Machine à vapeur de Watt*. Mouton & Co. Paris.
- Roberts, L. (2000). *Water, steam and change: the roles of land drainage, water supplies and garden fountains in the early development of the steam engine*. A: Endeavour Vol. 24(2), pp .55 – 58.
- Roberts, L. (2004). *An Arcadian Apparatus: The Introduction of the Steam Engine into the Dutch Landscape*. A: Technology and Culture, Vol. 45, No. 2, pp. 251– 276.
- Roberts, L. (2009). *Full steam ahead. Entrepreneurial Engineers as Go-betweens during the late eighteenth century*. A: The brokered world. Go-Betweens and Global Intelligence, 1770 – 1820. Science History Publications. Sagamore Beach. U.S.A. pp. 193 – 238.
- Rumeu, A. (1990). *El Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro. Una empresa técnica de Agustín de Betancourt*. Fundación Juanelo Turriano. Móstoles.
- Segovia, F. (2008). *Las Reials Drassanes de Barcelona entre 1700 i 1936. Astillero, cuartel, parque y maestranza de artillería, Real Fundición de bronce y fuerte*. Museu Marítim de Barcelona. Barcelona.
- Tann, J; Brecking, M.J. (1978). *The International Diffusion of the Watt engine 1775 – 1825*. A: The Economic History Review, New series, vol. 31, num 4, pp. 541 – 564.
- Thomson, J. (1994). *Els Orígens de la industrialització a Catalunya. El cotó a Barcelona 1728 – 1832*. Edicions 62. Barcelona.





## BIBLIOGRAFIA CAPÍTOL 4

- Agustí Cullell, J. (1983). *Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII o la introducció de la màquina de vapor*. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.
- Bélidor B. (1782). *Architecture Hydraulique*. Vol. II, Livre IV. Chez le Cellot. Paris.
- Dickinson, H. W.; Jenkins, R. (1989). *James Watt and the Steam Engine*. Encore Editions. London.
- Ellis, G. (1876). *Sir Benjamin Thomson, Count Rumford*. Macmillan and Co.
- Helguera, J. (2017). *Jorge Juan y las transferencias de tecnología del s. XVIII. La máquina de vapor*. Biblioteca virtual Miguel de Cervantes pp 119 - 223. Alicante.
- Hills, Richard (1989). *Power from Steam. A history of the stationary steam engine*. Cambridge University Press. Cambridge,
- Machines et inventions approuvées par l'Académie Royale des Sciences*. Chez Gabriel Martin, Jean-Baptiste Coignard, fils, Hippolyte-Louis Guerin. Paris.
- Montava - Gadea, M. (2014) Francesc Santponç i Roca i la màquina de Gensanne (1802?). *Quaderns d'història de l'enginyeria*, vol. XIV, pp. 35-81.
- Nieto - Galan, A. (2001). *La seducción de la máquina*. Nivola. Madrid.
- Payen, J. (1969). *Capital et machine à vapeur au XVIII siècle. Les frères Périer et l'introduction en France de la Machine à vapeur de Watt*. Mouton & Co. Paris.
- Prony R. (1790). *Nouvelle Architecture Hydraulique*. Premier partie. Paris: Chez Fermin Didot. Paris.
- Prony R. (1796). *Nouvelle Architecture Hydraulique*. Seconde partie. Paris: Chez Fermin Didot. Paris.
- Robinson E.; Musson A. E. (1969). *James Watt and the steam revolution*. Editorial Adams and Dart. London.
- Santponç, F. (1816). *Notícia sucinta del origen y progresos de la máquina de vapor*. A: Memorias de Agricultura y Artes. Volum III pàg. 81-95.
- Savery, T. (1829). *The Miner's friend or, an engine to raise water by fire*. London: Printed for S. Crouch 1702, reprinted 1827.
- Edward Somerset, marqués de Worcester (1655). *The Century of inventions, written in 1655*. Nombroses reedicions anotades.
- Stuart, R. (1824). *Descriptive History of the Steam Engine*. London: John Knight and Henry Lacey.
- Thomson, Benjamin Count of Rumford (1797). *X Letter from Sir Benjamin Thomson, Count of Rumford, to Joseph Banks announcing a donation to Royal Society, for the purpose of insitutuina a Prize medal*. A: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol 87 pp 215-218.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1786). *XIV New experiments upon heat. By Colonel Sir Benjamin Thomson in a letter to Sir Joseph Bart.* A: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol 76 pp 273-304.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1797). *XII Experiments to determine the force of fired gunpowders.* A: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol 87 pp 222-292.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1796). *Essays, Political, Economical and Philosophical.* Vol I. London.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1800). *Essays, Political, Economical and Philosophical.* Vol II. Printed by A. Straban. London.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1799). *IX An Inquiry concerning the weight ascribed to heat.* A: Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol 89 pp. 179-194.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1802). *Philosophical Papers being a collection of memoirs, dissertations, and experimental Investigations by Benjamin Count of Rumford.* Vol I. Printed for Cadell and Davis Strand. London.

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1803). *III An account of a curious phenomenon observed on the Glacier of Charmouny; Together with some occasional observation concerning the propagation of heat in fluids.* A. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Vol 92 pp. 23-29

Thomson, Benjamin Count of Rumford (1807). *II Description of a new boiler with a view to the saving of fuel.* A: Journal of Natural Philosophy, Chemistry and The Arts. Vol XVII pp 5-10. Edited by William Nicholson. London.

**Annex I: Transcripció de la memòria de Santponç (1805)** de la Reserva de la Biblioteca de Foment del Treball, Barcelona



**NOTICIA DE UNA NUEVA BOMBA DE FUEGO**

Por el Doctor Don Francisco Sanponts, Director de Estatica, y de Hydrostatica en la Real Acadèmia de Ciencias naturales y Artes de Barcelona, y Socio de otras Acadèmias nacionales, y estrangèras.

*Herculis ans vires superans diffundet in orbem Divinitas*<sup>66</sup>:::

EXCUTIT INGENTES IMMANI PONDERE MOLES<sup>67</sup>

N.I.

J.R.<sup>68</sup>

[1805.

V. pag<sup>a</sup> 2<sup>a</sup> linea 11<sup>a</sup>]<sup>69</sup>

446 4(?)

---

<sup>66</sup> “Ans Hèrcules difondrà al món els poders sobrehumans de la Divinitat”.

<sup>67</sup> “Fa un gran pes enorme”, vers d’un poema antibel·licista de Jan Everaerts (1511-1536).

<sup>68</sup> N. I., abreviació de Nomine ipsius, “el seu nom” (?); I. R., abreviació de Jovi regi, “Júpiter regi” (?).

<sup>69</sup> Afegit a llapis.

Parte primera

1. La bomba de fuego, esta maquina admirable que con la fuerza del vapor del agua pone en movimiento à los cuerpos mas pesados, que es capaz por si sola de vencer resistencias, que en otros tiempos pasaban por insuperables, y de dar activad à todas las demas maquinas conocidas, supliendo en ellas las fuerzas motrices del viento, del agua, y de las cavallerias; ofrece una prueba evidente de ser muy verdadera la opinion de aquellos sabios que aseguraron que la invencion ó el descubrimiento que se hace en un siglo, no es mas que una preparaci3n paraqu3 el mismo invento llegue à ver comple[f.2v]to en siglo venidero.

2. No bastó un siglo paraque los medios de valerse con ventaja de la fuerza expansiva del vapor del agua destinado à obgetos utiles, llegasen al grado de sencillez y de perfeccion que el dia de hoy esta mereciendo entre nosotros la atencion de las personas instruidas. Desde que el Marquès de Worcester en el año de 1663, reynando Carlos Segundo en Inglaterra, publicó el escrito titulado Century of inventions en que habla del uso que puede hacerse del agua convertida en vapores, hasta el presente año de 1805, los medios de mejorar y de simplificar este precioso invento han sido obgeto de las meditaciones y desvelos de muchos Literatos, y de varios Artistas inteligentes. Las ideas que el Marquès de Worcester habia dado sobre la fuerza del vapor expresado, fueron mejorados por un Capitan Inglés llamado Savery, quien despues de haber dirigido en Inglaterra la construccion de una bomba de fuego destinada à subir agua, dió à la prensa un tratado con el titulo the Miner's Friend, ó el amigo del Minero en el qual explica el modo de execu[f.3r]tar aquella Maquina. Bradley, en otro escrito, manifestó mas por menor la bomba de fuego de Savery. Y en el año 1729 Switzer dió al Publico una obra impresa en Londres, que entre otras cosas, contiene un modo distinto de levantar el agua ideado por el mismo Savery, mucho mas sencillo que el primero. Pero muy antes de esta ultima epoca en el tiempo mismo en que los Ingleses estaban blazonando y publicando aquellas invenciones como el mayor de los triunfos de su Capital, el celebre Papinio Doctor en Medicina Profesor de Matematicas en la parte de Estatica y de Hydrostatica en Marburgo hizo evidente, que desde el año 1698 en presencia de S.A.S. Carlos Ludgrave de Hesse, habia demostrado con experimentos muy exactos el modo de èlevar el agua por la fuerza del fuego, cuyo feliz resultado se hizo publico por impresos con este titulo: Nouvelle maniere d'èlever l'eau par la force du feu. M<sup>f</sup> Amontons en el año 1699, presentò à la Real Academia de Ciencias de París una memoria que contenía la descripción de un molino, movido por medio del ayre dilatado por la accion del fuego condensado alter[f.3v]nativamente por el contacto del agua fria. Y en la historia de la misma Academia se lee que M<sup>f</sup> Delesme propuso el medio de emplear el vapor del agua como fuerza motriz aplicada à una Maquina que levantaba el agua à una altura considerable. Dos Artistas ingeniosos de Darmouth pequeña Ciudad de Inglaterra en el Condado de Southamptonshire llamados Newcomen y Juan Cawley idearon el modo de aplicar la fuerza del vapor à las bombas de sacar agua por medio del balancin, y este mecanismo proporcionó à M<sup>f</sup> Beighton la invencion de la corredera y de los reguladores destinados, entre otras cosas, à que la misma maquina por si sola pudiese abrir y cerrar los pasos necesarios para la dilatacion y condensacion del vapor. Estas maquinas mas ò menos variadas estuvieron en uso por el espacio de muchos años; pero executaban sus movimientos con el auxilio de mecanismos y juegos complicadisimos, y or lo mismo muy expuestos à descomponerse. Evitó en gran parte estos inconvenientes en 1770 un Inglés llamado M<sup>f</sup> Wats con haver encontrado el modo de condensar el [f. 4r] vapor fuera del Cilindro, y esto es lo mejor que se conocía en este particular antes del año 1778. En cuya época habiendo pasado à Londres Don Agustin de Bettancourt pensionado

por nuestra Corte, pudo visitar la bomba de vapor de los Señores Wats y Bolton quienes les permitieron ver el fuego y parte de lo exterior de la Maquina, pero le ocultaron, segun costumbre, lo mas esencial de ella y su mecanismo interior. Sin embargo Don Agustin de Bettancourt con su talento perspicaz, y con haver observado atentament entre otras cosas la regularidad del movimiento del embolo, supo penetrar el modo con que el vapor producía en el juego de la maquina, y en las pulsaciones del balancin, efectos mucho mas regulares que en las demas bombas de fuego conocidas. Fundado en dichas observaciones bien meditadas y estando ya de vuelta, hizo trabajar en Paris un modelo por cuyo medio quedó practicamente convencido de que no se habia equivocado en el concepto que formó en orden al movimiento de la bomba inventada por Wats y Bolton: y con esto tubo la gloria de haver trahido al continente el [f.4v] metodo de construccion de las maquinas de doble efecto que aquellos Ingleses ocultaban cuidadosamente. Conocido ya en Paris este descubrimiento de Don Agustin de Bettancourt fue adoptado con feliz suceso por los señores Perier en una maquina que mandaron construir en 1790 para mover algunas ruedas de molino. Esta dio lugar à que quedase demostrada la preferencia que merecen las bombas de doble efecto, respecto de las antiguas. Los ingleses que todos los dias estan tocando los apreciables efectos de las bombas de fuego à favor de su industria, no han cesado nunca de dedicarse al estudio de la perfeccion de estas maquinas, y han procurado siempre tenerlas en aquel grado de sencillez que les ha parecido asequible. De aquí es que en el año de 1797 M<sup>f</sup> Cartwright hizo algunas mejoras en la Maquina de Wats y Bolton que en 1798 Sadler supo encontrar el modo de aprovechar dos veces el vapor antes que entrase en condensacion, y de aligerar la maquina del peso del balancin: y que en 1799 el Ingeniero Hydraulico Murdoch de Redruth puso en mejor arreglo el movimiento de rotacion, y [f.5r] para extender el uso de la bomba de vapor à ciertos trabajos, se valió de la rosca sin fin. Pero sobreque estas ultimas mejoras eran únicamente respectivas à efectos parciales de la maquina, y solo podían conseguirse por medio de piezas costosísimas, delicadas, y de una execucion sumamente dificil; se vió que las bombas de fuego resultaban todavía complicadas, y que distaban mucho de aquella sencillez y permanencia que se deseaba.

3. En el estado que acabo de indicar rapidamente, se hallaban los progresos que en distintos tiempos se hicieron en la construccion de las bombas de fuego desde el año 63 del siglo penúltimo; quando en el año pasado de 1804 Don Jacinto Ramon dueño de una fabrica de hilados y de pintados de algodón en la calle de San Pablo de esta Ciudad, me manifestó los vivos deseos que tenia de muchos años à esta parte de que se introdujesen en este país las Maquinas de vapor, añadiendo que en otro tiempo habia practicado varias diligencias para poner una en su casa fabrica, y que con presencia de las noticias relativas à esta invencion que se habia podido procurar de países extran[f.5v]geros habia emprendido, con el auxilio de Artistas inteligentes, algunas tentativas con el objeto de executar la Maquina de vapor, que solo sirvieron para demostrarles lo arduo y dificil de semejante empresa. Pero que no pudiendo jamas perder de vista la incalculable utilidad que se seguiría á nuestra industria si llegase á introducirse el uso de la expresada Maquina en este suelo; noticioso de que yo me hallaba de Director de Estatica en la Real Academia de ciencias naturales y artes de esta Ciudad, confiaba en que no me negaria à dirigir la construcción de una bomba de fuego que deseaba tener en su casa, para cardar, hilar, subir agua, y executar otras operaciones en su fabrica, conforme habia ohido decir que lo executa la famosa maquina de Manchester en Inglaterra. Se me objetó desde luego que esta empresa podia ser para mi demasiado ardua y que me exponia à que mi honor quedase mancillado en el caso de que la Maquina no surtiese el efecto deseado; pero por otra parte conoci que esta ocasion de proporcionar à la Patria un bien de tanto interés era muy preciosa, y que seria demasiado sensible dexarla pasar negandome a los de [f. 6r] seos de tan



buen patricio. Esta poderosa reflexion me decidió à darle la palabra de dirigir la construccion de la consabida bomba de vapor. Puso inmediatamente baxo de mi direccion Artistas inteligentes para que executasen la maquina arreglandose à los planes y diseños que yo les manifestase; quedó concluida à su tiempo la bomba de fuego en el modo que estaba proyectada, y su efecto era equivalente al de diez y siete Cavallos y tres quintos.

4. Apenas hubo observado Don Jacinto Ramon los primeros movimientos de esta Maquina, reflexionando sobre ellos, conoció muy luego que aunque estaba executada perfectamente, no dexaban de notarse en ella algunos inconvenientes por defecto de invencion que aunque comunes en esta especie de maquinas, tal vez podian remediarse ò evitarse siendo los principales la violencia de los movimientos del balancin, las muchas valvulas y los juegos de piezas que se necesitan para moverlas, la precision y exactitud con que han de estar trabajadas y arregladas, y la facilidad de descomponerse.

5. Insistiendo pues el interesado en sus miras patrioticas y deseos constantes de proporcionar lo mejor que fuese ase [f. 6v] quible en este ramo de la industria, quiso saber de mi, si habia medio de evitar en todo ò en parte los inconvenientes expresados; le dixé que yo no dudaba de que la maquina podía simplificarse bastante, pero que para conseguirlo con seguridad, sería preciso practicar antes varios experimentos que no dexarian de ser de algun coste. No solo convino con singular largueza en que se executasen de su cuenta los experimentos insinuados, mas aun quiso que se emprendiese la construccion de otra bomba de vapor mas pequeña, que al paso que sirviese interinamente para executar en ella las pruebas que yo considerase conducente, pudiese despues de concluidas destinarse à usos domesticos, y servir de modelo para arreglar la grande à la nueva construccion en el caso de resultar ventajosa. No es este el primer y unico rasgo de patriotismo con que se ha distinguido muy particularmente Don Jacinto Ramon. A este sugeto verdaderamente digno de los mayores elogios debe Cataluña haberse establecido varios ramos apreciables de industria, particularmente la industria i perfeccion del metodo de hilar algodón con maquinas inglesas que [f.7r] descubrió a fuerza de mucha aplicación, gastos y desvelos. Su hijo Don Pablo Ramon manifiesta que es y será digno imitador de las virtudes sociales de su Padre.

6. Se emprendió la execucion de esta segunda Maquina, los Artistas que ya empezaban à estar instruidos en la colocacion, destino, figura, calibre, robustez, y combinaciones de las piezas que habían executado y colocado en la primera, trabajaron en esta con afición increíble y con mejor desempeño (a). De aquí es que pudieron efectuarse los experimentos proyectados que fueron muchos, y por este medio prolixo pudo llevarse la bomba de fuego al grado de perfeccion y de sencillez en q<sup>e</sup> oy día la estamos viendo.

7. A veces no limitándose los Artistas à la mera execucion, meditaban, combinaban, y me proponian variar ò dar otra forma à alguna de las piezas de la mueva ma

(a) Estos habiles Artistas que executaron con la mayor inteligencia y exâctitud las piezas de la maquina, y las q<sup>e</sup> sirvieron para los experimentos, merecen ser conocidos y son Don Ignacio March Arquitecto, Don Francisco Coromina Cerragero, Don Antonio Pujades Carpintero, y Don Pablo Peradejordi Calderero.

[f.7v] quina, ò porque la consideraban mas facil de executar, ò porque creian que habia de resultar mas proporcionada al intento, ò menos costosa. Yo me complacía al ver que estos Artistas aplicados se iban instruyendo en los pormenores y delicadezas de una maquina cuyo conjunto de partes es muy dificil de realizar y de ordenar con las debidas proporciones. En una

ocasion se animaron à proponerme que podria executar en la maquina cierta variacion substancial que habian pensado: creyendo equivocadamente que estaria à su arbitrio usar la fuerza expansiva del vapor en el grado que les pareciese, y estando en este concepto, proyectaron aligerar la maquina, suprimiendo en ella todas las partes concernientes al refrigerante: y me manifestaron el modo que habían discurrido para ensayarlo en el modelo. No pude dexar de contestarles que aunque me habían ohido decir alguna vez que el Marques de Worcester llegó à rebentar un cañon de hierro con la sola fuerza del vapor; no debian aypor en este [f.8r] hecho sus idèas, porque semejante efecto extraordinario de la dilatacion del vapor del agua solo pudo conseguirse por medio de un fuego continua de 24 horas, y estando el cañon cerrado herméticamente. Pero que tratándose de arreglar una bomba de fuego con pulsaciones determinadas y con aplicación à algun efecto útil, era preciso gobernarse por distintos principios, y tener presente que una atmosfera de vapor no llega à sostener el mercurio del barómetro à la altura de quatro pulgadas; como demostró con solidos y exquisitos experimentos Don Agustin de Bettancourt y que por lo mismo yo tenia por ocioso que emprendiesen la prueba que habian proyectado, porque no podía dar los resultados que ellos esperaban. Sin embargo, pareciendo que no quedarían satisfechos sino tenian el gusto de ver aquel experimento en que confiaban sobre manera, se executó, pero vieron al instante que la fuerza del embolo vencia muy poca resistencia, y quedaron convencidos de que no podian separarse de lo que yo les habia manifestado. Por otra parte diré que este experimento no fue del todo [f.8v] infructuoso, porque en la ocasion de preparar y de disponer la maquina para ejecutarlo diò lugar à varias observaciones utiles, y el Carpintero Pujades à fin de abreviar este ensayo dispuso una llave de paso con dos salidas que puede tener varias aplicaciones.

8. Continué dirigiendo y presenciando los demas experimentos que juzgué necesarios según las idas que me habia propuesto y del conjunto de todos se sacaron diferentes corolarios utiles, y entre estos algunos que conducen al conocimiento de que las bombas de vapor podrian simplificarse mucho, si entre otras cosas, las valvulas principales se suprimiesen enteramente, y se supliesen por medio de un registro general, cuya posibilidad quedaba manifestada por los mismos experimentos que se habian practicado con bastante exactitud.

9. Asi se ha conseguido despejar la bomba de doble efecto de todas las valvulas que servian para la introduccion alternativa del vapor al cilindro y para el paso del mismo fluido desde el cilindro refrigerante. Queda ya esta maquina libre del sistema aplicado de muchas [f.9r] piezas destinadas para transmitir el movimiento à dichas valvulas, queda aligerada de los juegos de reguladores que comunicaban es estas piezas, y de las correderas compuestas que servian de motor à todo el sistema expresado. Un registro movido por una corredera sencilla, y una sola valvula que juega por si misma, substituien perfectamente en esta nueva bomba de vapor todo aquel aparato y mecanismo engorroso que pasaba por necesario en las maquinas de doble efecto. Yo me persuado q<sup>e</sup> los sugetos que esten instruidos en la teoria y practica de las bombas de fuego, y que conozcan à fondo las funciones à que està destinada cada una de las valvulas que entran en la composicon de las bombas de doble efecto, no pondran duda en que los oficios de todas ellas se hayan podido suplir por el sencillo medio de un solo registro, si atienden à que no es imposible distribuir el vapor desde un solo punto, y hacerle tomar oportunamente los destinos conducentes. Me decidi à aventurar este nuevo genero de construccion sin contar con valvula alguna por haver conocido de antemano, por medio de experi[f.9v]mentos, que el vapor del agua no pierde tan pronto como comunmente se crehe su fuerza de expansion. Y convence ser asi, el ver que en las primitivas bombas de vapor se miraba por condicion necesaria que el cilindro mayor estuviese colocado inmediatamente sobre la cúpula del alambique, y en el dia,

estas dos partes principales de la maquina llegan à colocarse à bastante distancia la una de la otra, y aun en piezas separadas por pared en medio. El registro en la nueva maquina está colocado principalmente en la parte izquierda algo mas abajo que la base del cilindro; pero es indiferente que se coloque en la parte opuesta mas ó menos distante conforme mejor le acomode al constructor de la Maquina atendidas las circunstancias particulares. Pero de todos modos ha de recibir el vaho por dos ramales colocados en direccion opuesta, procedentes del tubo principal que sale de la cúpula del alambique, debiendo ser la suma de los diámetros de aquellos, igual al de la seccion del expresado tubo. La situacion del registro es horizontal su movimiento está limitado à una quarta de circulo, por medio [f.10r] de este abre y cierra en los instantes y espacios precisos los conductos convenientes para la entrada del vaho en los espacios correspondientes, y para la condensacion de este por el agua fria. Los conductos que reciben el vapor procedente del alambique estan colocados uno en cada lado del registro con direccion encontrada: los que le abren paso para introducirse al cilindro estan colocados en la parte superior; y los que conducen el vapor al refrigerante estan en la parte inferior del registro.

10. Me atreveré à decir que este nuevo metodo de construir las bombas de vapor con registro contribuirà à los progresos del arte con respecto à las bombas actuales de doble efecto, en mayor grado que lo hizo la invencion de estas respecto à las antiguas. Y es evidente: Porque los motivos de llevar aquellas la preferencia sobre estas, consisten solamente según Prony 1º en que la caldera no ha de tener tanta capacidad: 2º que la fuerza expansiva del vapor dentro del alambique es mas uniforme y menos violenta. 3º Que consume menos com[f.10v]bustible. 4º Que con un Cilindro de menor dimension puede conseguirse el mismo efecto. 5º Que no necesita contrapeso para conservar el movimiento de rotacion en el volante. Y últimamente que conserva un movimiento regular y uniforme.

11. A mas que ninguna de estas circunstancias favorables falta en la bomba de registro se reunen en ella ventajas mucho mas considerables no solo por lo que mira à las valvulas y à sus juegos, si que tambien por lo que respecta a los reguladores, à la corredera y al modo de poner la maquina en movimiento: qualquiera de las principales bombas de doble efecto que se conocen, como la de la Isla de los Cisnes, la de Caillot ù otras, nos ofrece una evidente prueba de esta asercion.

12. Para la colocacion debida de las valvulas y de sus juegos correspondientes es preciso emplear uno ò dos Cilindros distintos del principal, bien que de menor diametro, en cuyos extremos son necesarios ciertos espacios capaces de contener las valvulas y parte de las piezas que componen los mecanismos destinados à moverlas en [f.11r] instantes alternativos, precisos, y determinados. De esto resulta indispensablemente un sistema de juegos en tal manera complicado, que los autores quando ponen la descripcion de semejantes maquinas, tratando del destino de las valvulas tienen por conveniente prescribir reglas que sirvan de gobierno para clasificar metodicamente en la memoria las funciones de estas valvulas; pour classer commodement dans l'esprit les fonctions de ces differentes soupapes. Nada de todo lo dicho se necesita en la nueva maquina de registro para producir los mismos efectos: el registro suple por todas las valvulas y por todos los juegos expresados.

13. Si el sistema del mecanismo de las valvulas y de sus juegos correspondientes en las bombas de doble efecto es complicado, muy dificil de executar y de combinar como queda dicho, no lo es menos el de los reguladores que se necesitan en ellos. Quatro condiciones indispensables establecen los autores que ha de tener un buen regulador. 1º. Que una fuerza muy ligèra pueda vencer el efecto que el vapor produce contra la valvula corres[f. 11v]pondiente à cada regulador

respectivo, à fin de evitar estremecimientos violentos capaces de trastornar la maquina. 2°. que hagan abrir las valvulas prontamente à fin de que el vapor pueda vencer la resistencia sin perdida de tiempo. 3°. que hagan cerrar las valvulas con lentitud, paraque la maquina no padezca choques violentos quando el vapor ha de obrar en sentido contrario. 4°. Que los reguladores dispuestos de tal modo que por ellos puedan arreglarse facilmente las aberturas de las valvulas en las proporciones necesarias à la regularidad de los movimientos de la maquina. La nueva bomba de registro queda libre de semejante combinacion, ningún regulador entra en la construccion de ella por consiguiente seria pordemàs detenerse en detallar las circunstancias de todo aquel aparato que oy puede llamarse superfluo.

14. Ni son mas necesarias las correderas complicadas que construidas por distintos estilos estan en uso en las Maquinas de efecto doble; todas llevan varias clavijas distribuidas con ingeniosa combinacion y ri[f.12r]gurosa exactitud, para arreglar con ellas los precisos instantes del movimiento que los reguladores han de transmitir à las valvulas. La corredera en la nueva bomba de fuego es del todo sencilla sin necesitar de tantas delicadezas ni de tantas clavijas, un solo punto de estos basta para comunicar al registro los movimientos precisos para hacer jugar la maquina.

15. Para poner la maquina de doble efecto en movimiento es menester tener presentes varias circunstancias, abrir unas valvulas, dejar cerradas otras, mantener levantada en la ocasion precisa la que se llama rechinante para dar salida al aire atmosferico, y cerrarla despues quando el agua del alambique empieza el hervor. En la nueva maquina, para ponerla en accion no se necesita practicar mas diligencia que terciar el registro y abrir el respiradero del refrigerante, de este modo queda expedita la circulacion en todos los conductos y libre la salida del ayre atmosferico, y acabar de cerrar el registro y el tubo de respiro, luego que el vapor sale mui denso.

[f.12v] 16. En esta noticia histórica de la nueva maquina de registro, omitiré poner la serie interesante de los experimentos que se executaron, por considerar que me haría demasiado prolixo, el feliz resultado de ellos podrá deducirse por lo que diré en la parte descriptiva. No obstante no dexaré de decir que hize algunos, con animo de averiguar si sería posible condensar el vapor mediante la aplicacion externa del frio sin necesidad de hacer la inyección del agua dentro del cilindro ò de los tubos. Tenia presente haver leído que un Ingeniero Inglés se habia propuesto hacer lo mismo, y que despues de muchas pruebas que executó en el decurso de quince años publicó terminantemente que aunque se hiciese pasar un tubo lleno del vapor del agua hirviendo à lo largo de todo el rio Tamesis por debaxo del agua, toda la virtud refrigerante de esta no sería capaz de condensarlo.

Pero posteriormente fue mas feliz en los resultados otro Inglés que despues de haver colocado con[f.13r]céntricamente dos grandes tubos ò cilindros huecos el uno dentro del otro, hizo pasar el vapor por entre los dos que databan entre si de muy pocas lineas, y habiendo hecho cerrar à un mismo tiempo agua fria por dentro del cilindro interior, y por la superficie externa y convéxa del cilindro exterior, logró condensar el vaho; bien que para conseguirlo se necesitó mucha agua y unos cilindros de dificil construccion, y colocacion. De los resultados opuestos de estos experimentos executados en Inglaterra, pude deducir que el frio aplicado à la superficie exterior de un tubo lleno de vapor de agua hirviendo tiene su esfera de poder limitada à un corto numero de lineas, y que no pudiendo llegar su actividad à penetrar hasta el centro ó exe del tubo, nunca podrá el vapor enfriarse ni condensarse en aquel centro, y esta sería sin duda la razon que despues de los experimentos, obligó à aquel Ingeniero Ingles á decir que toda el agua de

Tamesis no condensaría el vapor dentro de un tubo sumergido en ella. El experimento opuesto confirma más mi conjetura, siendo evidente que la [f.13v] condensación del vapor entre los dos cilindros se verificó, porque distando estos muy poco entre sí, el vapor debió de encontrarse entre la esfera de actividad del frío aplicado a las superficies respectivas, y de consiguiente no pudo dexar de condensarse. A consecuencia de estos experimentos de los Ingleses, y del interés que parece tomaron en buscar el modo de condensar el vapor mediante la aplicación externa del frío sobre las superficies continentales, me ocurrió que podría executarse otro que con un aparato más sencillo y menos costoso sirviese para semejante demostración. Dispuse pues que se colocasen en la máquina dos superficies planas de metal que distasen la una de la otra no más que de dos líneas, pero que se les diese una extensión proporcionada para que el espacio que quedaba entre ellas fuese suficiente para dar paso al vapor, que debía entrar por un tubo colocado en uno de los extremos, y salir por otro en el extremo opuesto, no debiendo comunicar dicho espacio sino con los tubos expresados. Con este aparato muy sencillo pude observar que el vaho procedente del alambique después de haber perdido la figura cilíndrica del tubo, y haberse adelgazado entre las superficies planas, se condensaba con el contacto de estas superficies enfriadas por el agua exterior. Pero yo diré ingenuamente, que debe contarse muy poco con semejante condensación, por medio de la aplicación externa del frío, porque observé que tenía más virtud el calor del vaho contra el frío del agua, que al contrario, que por lo mismo de precisión se había de gastar más agua que en la condensación interna y en una palabra, yo entiendo que si no es imposible a lo menos es un extremo difícil valerse con ventaja de la aplicación externa del frío para la condensación del vaho por medio de la agua exterior, proyectadas con demasiada confianza por los Ingleses.

17. A la sola consideración de lo complicado y costoso del mecanismo de las bombas de vapor de doble efecto establecidas en países extranjeros, y de la sencillez y corto número de piezas con que ejecuta sus operaciones la nueva bomba de registro de Barcelona, [f. 14v] nadie dudará de las muchas ventajas que esta presenta respecto de aquellas. Siendo más sencilla y menos costosa, ha de proporcionar indispensablemente a favor de nuestra industria nacional varias aplicaciones que facilitando la ejecución de los artefactos serán de una utilidad incalculable. La Inglaterra debe la mayor parte de su riqueza industrial al establecimiento de las bombas de fuego: así lo dice el Autor de los anales de la industria hablando de las bombas de vapor en estos términos. “Las mejoras que se introducen en la bomba de fuego son muy interesantes, en efecto la mecánica no nos ha presentado nunca instrumento alguno que haya hecho tan útiles servicios. Es de admirar que hasta ahora sea tan corto el número de las bombas de vapor que se han establecido en Francia, siendo así que nadie ignora que la mayor parte de la riqueza industrial de Inglaterra proviene del uso multiplicado que se hace de las máquinas de vapor. Con el auxilio de estas bombas en un país donde todo está mucho [f. 15r] más caro que en Francia, se abren minas, se saca el material de profundidades inmensas, y a pesar de esto el carbón de piedra y los demás minerales están mucho más baratos que en otras partes donde los comestibles y los jornales no son tan caros. Con el auxilio de esta máquina los Ingleses establecen las fábricas de hilar, de cardar, de peynar, y aun de texer &c. Los Molinos económicos y demás máquinas para cuyo movimiento se necesita una fuerza motriz considerable andan con el auxilio de esta máquina, y en todas partes donde en otro tiempo para semejantes objetos habría sido necesario entrar una corriente considerable de agua suple por esta la bomba de vapor”. A lo que dice el Autor citado de los Anales de industria me parece podría añadirse que por medio de esta máquina se limpian, y se profundizan puertos, se abren canales de navegación se obliga a los barcos cargados a subir en ellos por esclusas en seco; y por fin se producen con esta máquina efectos extraordinarios que parecen increíbles.

[f.15v]18. Practicados los experimentos que se consideraron necesarios, y concluido à satisfaccion mia el modelo ó pequeña bomba de vapor de que he hablado en el numero (5), se ensayó con aplicación à dos distintos efectos utiles, en la misma casa fabrica de Don Jacinto Ramon. En el primero de estos ensayos se hizo que el modelo, comunicado sin intermedio en el movimiento de rotacion à una maquina inglesa, hilase perfectamente el algodón con muchísima igualdad, mayor aun que la que se consigue con las maquinas de esta clase movidas por cavallerias. Estaba este modelo arreglado à diez y seis impulsiones por minuto, el movimiento del volante era regular y uniforme, y el de rotacion gobernado por este; tambien lo era, y por consiguiente los movimientos de los husos de la maquina de hilar de precision hubieron de resultar sumamente iguales y arreglados. No fue dificil hacer la comparación de la igualdad del movimiento de esta maquina de vapor con el de las movidas por cavallerias; [f.16r] unas y otras estaban en la misma sala, y tan cerca, que la primera no distaba una vara de las segundas, y por esta misma circunstancia bastaba el ohido para que qualquiera pudiese convencerse de la diferencia de igualdad en los movimientos de estas maquinas de hilar, pues el paso que el ruido de los rodetes era uniforme en la maquina movida por la bomba de vapor, parecía undolatorio el que era efecto de los repetidos empujes de las cavallerias en las demas maquinas.

19. Despues de haver observado por espacio de unas tres semanas la accion de la pequeña maquina de vapor aplicada como fuerza motriz à la del hilado de algodón, y de haver visto, que en el trabajo diario, seguía con regularidad y arreglo; Don Jacinto Ramon manifestó que satisfecho ya del primer ensayo, deseaba que se pasase al segundo de aplicar al modelo à la operación de levantar agua. Este ensayo tenia dos miras que no eran indiferentes, la primera aplicar á la maquina dos bombas [f.16v] de sacar agua de tal modo que el embolo del cilindro principal trabaxase en todos instantes con igual resistencia y con igual utilidad, asi en el tiempo de la subida como en el de la baxada. La segunda observar si sería asequible, con ventaja, procurarse un salto continuo de agua que cayendo sobre una rueda de caxoncitos mantubiese por este medio en movimiento cierto numero de maquinas volviendo à servir la misma agua, aun que fuese con algun desperdicio de fuerza por parte del motor, como es regular. Este segundo ensayo surtió igualmente el efecto deseado.

20. La novedad de este invento atrajo à la casa fabrica de Don Jacinto Ramon un concurso de personas instruidas de distintas clases nacionales y extrangeras. El cavallero Intendente de este exercito y Principado de Cataluña Don Blas de Aranza y Doyle, que siempre se ha distinguido por su instruccion y celo à favor de la industria nacional, fue de los primeros que pre[f.17r]senciaron las operaciones de este modelo de la bomba de vapor de registro. Consideró sin duda este ilustrado Gefe que los felices resultados de las operaciones executadas con la nueva maquina de registro merecían ser comunicadas à la Corte; pues que con fecha de 23 de Agosto del corriente año 1805 se sirvió trasladarme un oficio de contestacion del Ex<sup>mo</sup> Señor Ministro de Hazienda Don Miguel Cayetano Soler, en que S. Ex<sup>a</sup>, despues de distinguirme en nombre del Rey con expresiones mui honorificas siempre superiores à mi corto merito, me encarga de orden S. M. que con la brevedad posible arregle una memoria sobre esta invencion, por la qual se entiendan las utilidades que en adoptarla resultaran a los diversos ramos à que se puede aplicar, para que por la lectura de dicha memoria pueda qualquier Fabricante convencerse de su uso y de su construccion. Este fue el motivo mas poderoso que tube para tomar la pluma y escribir la presente memoria, y en consi[f.17v]deracion al obgeto à que está destinada he procurado evitar en ella el lenguaje cientifico de cálculos y formulas algebraicas à fin de que resulte de este modo, proporcionada à la inteligencia de mayor numero de Lectores.

[f.18r]Explicacion de la vista del Modelo. Fig. 1.

**A** Cilindro principal.

**B** Tubo que conduce el vapor del alambique al cilindro.

**C** Parte de la corredera que sirve para abrir y cerrar el registro.

**D** Contrapeso q<sup>e</sup> vence la resistencia del manubrio del registro.

**E** Manubrio del registro.

**F** Paso del vapor al refrigerante.

**G** Paso del agua al refrigerante.

**H** Tapadero del deposito de agua fria.

**I** Tubo de desagüe del sobrante de la inyeccion.

**K** Tubo por donde sube el agua q<sup>e</sup>sobra de la inyeccion.

**L** Vara del embolo de la bomba pneumatica.

**M** Corredera.

**N** Vara del embolo del cilindro principal.

**O,O** Brazos de hierro que comunican el movimiento à los manubrios de dos ruedas dentadas, que por medio de un piñon hacen girar el volante, por el metodo de Sadler.

**P** Tubo que restituye al alambique la cantidad de agua necesaria.

**Q** Tubo que conduce el vapor des del registro à la parte inferior del embolo del cilindro principal.

**R** Tubo que conduce el vapor des del registro à la parte superior del embolo.

[f.19r] Noticia de una nueva bomba de fuego

Parte segunda.

21. Paso à tratar en esta segunda parte de la bomba grande de vapor executada en la misma casa fabrica de Don Jacinto Ramon, à consecuencia de los felices resultados que ofrecieron las pruebas y experimentos practicados con el modelo ò maquina pequeña cuya vista se manifiesta en la Figura 1.

La figura segunda presenta la maquina colocada dentro del edificio cuyo corte està tirado por la línea AB del plano de la figura 3.

**A** Figura 2, cilindro principal.

**B,B** Tubo que conduce el vapor des del alambique al cilindro principal.

**C** Cupula del alambique.

**D,D** Contrapesos que sirven para vencer la resistencia del manubrio del registro.

[f.19v] **E** Manubrio del registro.

**F** Paso del vapor al refrigerante.

**G** Paso del agua de inyeccion al refrigerante.

**H** Bomba pneumatica.

**I** Tubo de desagüe del sobrante de la inyeccion.

**K,K** Tubo por donde sube el agua sobrante de la inyeccion.

**L** Vara del embolo de la bomba pneumatica.

**M** Corredera.

**N** Vara del embolo del cilindro principal.

**O,O** Brazos de hierro que comunican el movimiento à los manubrios de las dos ruedas dentadas  
**S,S**.

**P** Tubo que restituye al alambique la cantidad de agua necesaria conocido con el nombre de tubo nutridor.

**Q** Tubo que conduce el vapor des del registro à la parte inferior del embudo del cilindro principal.

**R** Tubo que conduce el vapor des del registro à la parte inferior del embolo del embolo.

**S,S** Ruedas dentadas q<sup>e</sup> engrenan entre si, y con el piñon [f.20r] del volante.

**T** Piñon del volante.



**V,V** Volante.

**X,X** Pieza de hierro que enfilada por la vara del embolo forma cruz, y tiene sus extremos unidos à manera de goznes con los brazos **O,O**.

**Y** Pieza de manera que comunica el movimiento à las palancas que mueven las bombas.

**Z** Pieza de hierro que une el extremo de la vara del embolo **N**, con la pieza de madera **Y**.

- 1 Corte del exe del volante.
- 2 Viga que sostiene los exes de las ruedas dentadas por su parte anterior.
- 3 Una de las dos vigas que sugetan al cilindro principal.
- 4 Anillos de guia por donde pasa la corredera.
- 5 Pieza de madera cortada por su parte superior en forma de media luna, sirve para limitar el espacio en que debe girar el manubrio **E** del registro.
- 6 Caja que encierra parte del registro y da paso à los tubos **Q** y **R** del mismo.
- 7 Caja de madera en que estan colocados los puntos [f.20v] de rotacion donde juegan los contrapesos, y el manubrio del registro.
- 8 Receptaculo destinado à recibir el agua sobrante de la inyeccion que sube por el tubo **K**.
- 9, 9 Otro recptaculo en que està colocado el regrigerante 10, y la bomba pneumatica **H**.
- 10 Refrigerante.
  - 11 Tubo de paso por donde se dirige porción de agua des del receptáculo 8, al tubo nutridor **P**.
- 12,12 Cañon de chimenea.
- 13 Porcion de tubo que lleva un vaso que contiene la valvula llamada de seguridad.
- 14 Juego por cuyo medio se facilita el poder abrir la valvula de seguridad desde la estancia en que se halla colocado el cilindro principal.
- 15 Tubos de prueba.
- 16 Orificio de inspeccion.
- 17 Puerta del hogar.
- 18 Puerta del cenizero.
- 19 Escalera para subir quando se necesita manio[f.21r]brar en la cabeza del alambique.
22. La figura tercera demuestra el plano del edificio, y la colocacion de las principales partes de la maquina en su parte inferior.
- 15 Cenizero.
- 19 Escalera.
- H Bomba pneumatica.
- 10 Refrigerante.
- 9,9 Receptaculo.
- 20 Parte de la escalera que cahe fuera de la línea del corte.
- 21 Bombas que levantan el agua para el efecto util de la maquina.
23. La Figura quarta cortada horizontalmente sobre el sitio donde descansa el cilindro principal y à vista de paxaro, presenta la colocacion de las dos caxas notadas en la Figura 2 con los números 6 y 7.
- 6,6 Caja de Registro.
- 7,7 Caja del manubrio del registro y de los contrapesos **DD**.
24. La figura quinta cortada debaxo de la parte orinzon[f.21v]tal del tubo **BB** del vapor, presenta à vista de paxaro la cabeza del alambique.

- 12 Chimenea.
- 14 Juego de la valvula de seguridad.
- 13 Vaso de la misma valvula.
- P. Tubo nutridor.
- 15 Tubos de prueba.
- 16 Orificio de inspeccion.

25. Dada ya una idea general de la bomba de vapor de registro es preciso pasar à la explicacion por menor de aquellas partes principales que pueden facilitar la inteligencia de esta maquina. Para proceder con orden procuraré no separarme del mismo que presentan dichas partes por su colocacion y uso, empezando por las que sirven para la produccion del vapor, y concluyendo por aquellas que lo restituyen al alambique en forma de agua despues de haver corrido el competente circulo.

26. El alambique de cobre (Figura 6 y 7) es el manantial de donde sale el vapor, que es el alma de la bomba de fuego: allí se forma, y desde allí entra en circulacion.

[f.22r] El vapor no puede formarse sin que el alambique contenga cierta cantidad de agua, y sin que esta reciba un calor suficiente que la mantenga en estado de ebullicion, que por lo regular debe ser de 80 à 86 grados del thermometro de Reamur. De aqui resulta la necesidad del auxilio del fuego en esta maquina y del hornillo para mantenerlo.

27. La disposicion y construccion del hornillo no es indiferente, y la mejor será siempre aquella que con igual efecto en la produccion del calorico, consuma menos combustible. El dueño de esta bomba que regularmente se sirve del carbón de piedra, hizo el ensayo de observar hasta que punto podria economizarse este material por medio de un hornillo executado exactamente segun el metodo del Conde Rumfort; no perdonè gasto en la construccion, ni omitiò en ella las planchas de hierro colocado para formar perfectamente el espiral insiguiendo las reglas publicadas por aquel Autor; sin embargo la experiencia hizo ver que si bien aquella disposicion de hornillo es excelente para dar à un [f.22v] puchero económico un grado suficiente de coccion, no basta para producir con la debida actividad un raudal de vapor capaz de mantener sin interrupción los movimientos de una bomba de fuego. A esto se agrega el inconveniente de que debiendo arreglarse la capacidad del espiral con proporción à su longitud, este conductor del humo y de la llama resulta limitado respecto de la figura y dimensiones de la caldera, y de aqui se sigue que mui à menudo cargándose de hollin, impide la libre circulacion de la llama y del calorico, por cuyas circunstancias se conoció que el metodo de Rumfort no es el mejor que puede adaptarse en la construccion de los hornillos de las bombas de fuego. Sin embargo porque no quedase duda sobre el particular Don Jacinto Ramon dispuso que se colocasen ciertos conductos que teniendo comunicacion con el espiral pudiesen cerrarse hermeticamente, y abrirse quando se necesitase descargarlo del hollin y limpiarlo. Esta precaucion que parecia mui acertada, atendiendo à que en las bom[f.23r]bas de fuego las calderas han de estar macizadas y no pueden sacarse del hornillo como las marmitas, no fue suficiente para evitar los inconvenientes insinuados.

28. Por los referidos motivos el Arquitecto Don Ignacio March, tomando un termino medio entre los hornillos de bombas de vapor antiguas y de Rumfort, ideò la construccion del nuevo con una sola espira mucho mas capaz guardada proporción, que las que describe este Autor, con un fogon mas reducido del que estaba en uso en las bombas sobredichas. Esta combinacion que habia executado con buen éxito en el modelo, le surtió el mejor efecto en el hornillo de la maquina grande, reuniendo de este modo la viveza del fuego, y la economía del combustible. Luego que el humo y la llama salen del fogon se introducen con libertad por el principio de la espira que cahe perpendicular debaxo de la chimenea, pero encontrandola cerrada en su base,

siguen subiendo por la espira, y al llegar à la misma perpendicular sobre la base encuentran el paso libre para elevarse por la chimenea que es triangular, y conserva la direccion de la perpendicular expresada.

[f.23v] 29. Tocante à la forma del alambique nada se ha variado en la presente maquina. Sabido es, que son tres las figuras que principalmente se han dado à esta pieza en las bombas de fuego. La forma de un globo, la longitudinal ò quadrilonga, y la mixta compuesta de una especie de semi-esferoide colocada sobre una porción de cono inverso: Parece que esta ultima no tardó mucho en ser conocida y adoptada como preferible à la primera: Posteriormente se creyó que empleando una caldera quadrilonga con un cañon puesto horizontalmente en su centro en la direccion de su mayor diametro, y obligando la llama à pasar por dicho cañon sumergido en el agua de la misma caldera; mantendria esta el debido hervor con economía considerable de combustible. Pero es regular que de esta forma quadrilonga de las calderas no se seguirian aquellas ventajas que se habian propuesto sus inventores; pues que en las maquinas modernas solamente se usan las ultimas ò mixtas, casi en la misma disposicion que se empleaban antiguamente.

30. El alambique de la maquina de que aquí se trata [f.24r] es de los de esta ultima especie, compuesto de dos partes, la una es conocida por los nombres de cuerpo del alambique ò caldera 22,22 (Figura 6) la segunda se llama cupula media naranja, ò cabeza del alambique c,c (Figura7). La caldera (Figura 6) tiene, como se ha dicho, la forma de un cono truncado inverso. Su mayor diametro 23,23 excede al menor 21,21 como 15 à 14. En la parte superior en todo el circulo tiene un borde 25,25 cuya salida esta arreglada à la septima parte del diametro menor, y este es à la altura del cono, como  $20 + \frac{3}{4}$  es à 10. El fondo de la caldera es convexo àcia la parte superior, y sirve de cupula al hogar del hornillo: lo que el cono pierde de altura en su centro, por motivo de la convexidad del fondo, respecto à la altura total del cono, està proporcionado con la diferencia de  $19\frac{1}{2}$  à 21. La caldera lleva junto à su fondo una llave 26 que sirve para viciarla.

31. En la cupula del alambique (Figura7) tampoco se ha hecho variacion substancial en esta maquina. Sin embargo pareció que seria mucho mejor no colocar el grande tubo de vapor **B** en una parte excentrica de la cabeza [f.24v] del alambique como se ve en casi todas las maquinas de construccion moderna, en las que se pone el orificio de inspeccion 16 en el centro, y el tubo de vapor excentricamente en la parte lateral de la cupula del alambique. Me parece que no hay razon física que no persuada que es mas natural y mas arreglado à principios el colocar el conducto del vapor en el centro de la cabeza del alambique, como se practicaba en las primitivas bombas de fuego, que el apartarlo del centro como hacen algunos modernos. En efecto, si se observa la figura que tiene la cupula, si se considera que el vapor se forma en toda la extension de la superficie horizontal del agua del alambique que regularmente sube un poco mas alta que el borde de la misma cupula, se conocerà fácilmente que la forma que primitivamente se dio à la cabeza del alambique, se dirigió à que el torrente de vapor, que se eleva del agua, reuniendose en la parte superior como le es natural, saliese por el centro de la cupula. Se conocerà igualmente que el vapor dirigido à este punto exerce su fuerza de expansion con toda la igualdad, y regularidad [f.25r] que puede desearse en toda la extension de la cabeza del alambique; y que al contrario si el vapor sale por una parte excentrica, que de precision ha de encontrarse mas baxa que el centro de la cupula, sucederà que cierta porcion de vapor para salir por aquella, habrá de padecer un movimiento retrogrado, que ocasionando una compression desigual en la cupula, puede exponerla à romperse ò à achatarse. No corre este riesgo el poner el orificio de inspeccion en una parte excentrica de la cabeza del alambique, porque estando

destinado este à que por el se pueda reconocer y limpiar la caldera, al tiempo del hervor del agua ya queda cerrado hermeticamente, y es como si no existiese.

32. A mas de los dos orificios sobredichos que hay en la cabeza del alambique, el uno en su centro à que està adaptado el grande conducto **B** del vapor (Figura7), y otro 16 exentrico que se cierra exactamente con un tapadero sugetado por tornillos; tiene otros quatro colocados en la disposicion siguiente. El que està en el punto 13 dexa pasar el vapor que se introduce en el tubo que lleva la [f.25v] valvula de seguridad, llamada así porque està destinada à dar salida al vapor quando llega à ser demasiado fuerte y con ella se evita el riesgo de una explosion. Por el orificio que està en **P** pasa un tubo conocido con el nombre de nutridor que es el que sirve para mantener en el alambique la cantidad de agua necesaria. Y en los orificios 15, 15 està ajustados los dos pequeños tubos llamados de prueba y sirven para manifestar la altura en que està el agua en la caldera. En las maquinas modernas colocan algunos un tubo de cristal que comunicando con la caldera manifiesta lo mismo: esto es mas expuesto por las contingencias que tiene de romperse. Otro tubo **Z** està destinado para saber si el agua quando no hierve llega a la debida altura. La cabeza del alambique lleva tambien un borde de cuya salida no es mas que la tercera parte de la del borde de la caldera: la cupula del alambique se coloca sobre la caldera, y se cierran hermeticamente haciendo ajustar perfectamente borde con borde por medio de tornillos.

[f.26r] 33. El conducto del vapor **B** despues de subir perpendicular sobre el centro de la cabeza del alambique tuerce en direccion horizontal, y pasa al través de la pared que separa la pieza en que està colocado el alambique, de la otra en que està el cilindro principal: en el modo que manifiesta la Figura 2. Al llegar este conducto cerca del cilindro dexa la horizontal, y despues de haver baxado diagonalmente dividido en dos ramales, remata en el registro. En las bombas de fuego conocidas, el conducto del vapor finaliza conservando el mismo diametro en toda su extension y se junta con el espacio destinado à contener cierta cantidad de vapor, paraque mediante el juego de las valvulas y la introduccion de este fluido à los dos cilindros menores, pueda dirigirse alternativamente à la parte superior è inferior del embolo en el cilindro principal. En la nueva maquina el tubo del vapor se divide en dos ramales cilíndricos, cuyas secciones juntas igualan la seccion del tubo mayor de donde toman su origen, terminando con direcciones opuestas en las partes laterales del re[f.26v]gistro. Esto se comprenderà mejor por lo que se dirà despues.

31. Estamos ya en el punto de tratar del registro por donde es preciso que pase el vapor para distribuirse con oportunidad, y con las proporciones y tiempos necesarios al arreglo de las impulsiones de la maquina en la subida y baxada del embolo. No seria posible comprender el modo como esto se executa sin tener antes una idea clara de la forma y construccion de este registro; y esto se conseguirà sin dificultad atendiendo à la siguiente explicacion de las figuras 8 y 9, 10, 11, 12, 13.

36. La forma exterior del registro consiste en la de una especie de conducto prolongado octagono, se manifiesta en su parte externa como compuesto de ocho superficies planas quadrilongas unidas sucesivamente unas con otras por sus mayores lados y en su parte interior y cóncava es cilindrico. Sobre el plano superior del octagono (Figura8) estan colocados dos tubos **Q** y **R** unidos por medio de una zapatilla de bron[f.27r]ce de figura casi elíptica 27,27 sirven uno y otro para encaminar el vapor à los tubos que lo conducen alternativamente dentro del cilindro principal. Por el primero **Q** se dirige el vaho a la parte del cilindro inferior al embolo, y por el segundo **R** se dirige à la parte superior del mismo embolo. Sobre el plano lateral del registro que cahe à la hizquierda hay otro tubo que lleva una corona ò zapatilla circular 28

destinada à unirse por medio de tornillos con la que está al extremo de uno de los ramales 29 del tubo **B** del vapor. El plano inferior del octagono tiene tambien dos tubos 30 y 31, que ajustados por medio de zapatillas elípticas con los ramales del tubo **F**, que es el que conduce el vapor al refrigerante, sirven para paso à este fluido alternando por turno. En el plano lateral derecho del octagono està fixado otro tubo 32 que remata con corona, como la que està señalada por 28, destinado à recibir el vaho de uno de los ramales 29 del conducto del vapor **B**. La Figura 9 sirve tambien para hacer ver la disposicion de los expresados conduc[f.27v]tos señalados con las mismas letras y cifras.

36. Conocida ya la disposicion y figura exterior del registro no será difícil entender la que tiene en su parte interior. Una pieza cilíndrica del mismo metal, no solamente ocupa toda la longitud interior del conducto octagono expresado, si que tambien la excede en ambos extremos para los usos que luego se explicarán. En esta pieza cilindrica están abiertos seis conductos, iguales en su diametro interior al de los tubos colocados en el octagono. La disposicion de estos conductos se manifiestan por corte en las figuras 10, 11, 12 y 13, y por ellas se vendrà en conocimiento del modo como la pieza cilíndrica, moviéndose solo en una quarta de circulo, mediante los conductos sobredichos executa todas las combinaciones necesarias para el fuego y operaciones de la bomba de vapor. Aunque para la execucion y combinacion de este registro se necesitan Artistas habiles que trabaxen con mucha exactitud, tiene la ventaja de ser una pieza resistente, nada sujeta à recomposiciones, y de con[f.28r]siguiente de mucha duracion, preferible por lo mismo à todo sistema de valvulas.

37. En la figura 10 se ve el corte del conducto octagono, y el de la pieza cilindrica contenida en el, con la positura de los pequeños conductos representados en el acto de pasar el vapor des del alambique à la parte inferior del embolo del cilindro principal. En la Figura 11 se manifiestan los mismos cortes y conductos en situacion de pasar el vapor desde la parte inferior del embolo al refrigerante. De suerte que la primera operación se executa estando encarados y abiertos los conductos ò tubos (28, 28 con 1,1) y (**Q,Q** con 2, 2.) y cerrados (31, 31 con 4, 4); la segunda operacion se verifica dando la pieza cilíndrica una quarta de circulo, y quedan con este movimiento encarados y abiertos los conductos (**Q,Q** con 1, 1) y (31, 31 con 3,3,) y cerrados (35,35 con 2,2,) y (28, 28 con 4,4). Esto que se acaba de indicar es unicamente por lo tocante à la entrada y salida del vapor en la parte inferior del embolo.

38. La introduccion y salida del vapor al cilindro en la [f.28v] parte superior al embolo se executa por igual movimiento en quarta de circulo con los conductos y tubos posteriores; pero en tiempos y circunstancias del todo opuestas respectivamente: de suerte que en los instantes en que el conducto del vapor està abierto en uno, està cerrado en el otro; quando el paso del vapor del cilindro al refrigerante està cerrado en uno, en el otro està abierto. Se entenderà mas facilmente por medio de las siguientes figuras.

39. La Figura 12 manifiesta la situacion de los conductos y tubos en actitud de pasar el vapor des del alambique à la parte superior del embolo, y la Figura 13 los preserva en el acto de pasar el vapor desde la parte superior del embolo al refrigerante. La primera de estas operaciones se verifica estando encarados y abiertos los conductos (**R,R** con 6, 6,) y (32, 32 con 7, 7,) y cerrados (31, 31 con 5, 5,) y (30, 30 con 8, 8,) la segunda operacion se executa estando encarados y abiertos los conductos (**R,R** con 7, 7,) y (30, 30 con 5, 5,) y cerrados (31, 31 con 6, 6,) y (32, 32 con 8, 8,).

[f.29r] 40. De aquí debe concluirse que las combinaciones del registro se ejecutan en el modo que se hace patente en el estado que sigue:

Quando del embolo sube.

Abiertos

Cerrados

**Q,Q** con 2,2 y 28, 28, con 1, 1,.....31, 31 con 4,4 y 35, 35, con 3, 3,

**R,R** con 7, 7, y 30, 30, con 5, 5.....34, 34 con 6, 6 y 32, 32 con 8, 8,

Quando el embolo baja

Abiertos

Cerrados

**Q,Q** con 1, 11 y 31, 31 con 3, 3.....28, 28, con 4, 4, y 35, 35, con 2,2,

**R, R** con 6, 6; y 32, 32, con 7,7.....34, 34 con 5,5,; y 30, 30, con 8, 8,

41. Queda insinuado que la pieza cilíndrica excede en ambos extremos la longitud del octagono. En la porción excedente 33 de la parte posterior de dicha pieza (Figura 8 y 9) entra una especie de cuña cortada en forma de cola de golondrina, que cruzando con otra de semejante construccion, y recibiendo una compresion graduada que se le comunica por medio de una clavija; mantiene el registro y sus conductos en tal disposicion, que cada uno de ellos ajusta y encaxa, en los instantes oportunos, con el [f.29v] otro à que respectivamente corresponde, sin discrepar en el menor apice ni instante en las funciones à que està destinado.

42. La porcion excedente de la pieza cilíndrica en el extremo opuesto (Figura 8 y 9) lleva en su centro un manubrio **E** por el qual se le comunican los movimientos correspondientes. El giro de este cilindro està reducido à una quarta de circulo y à fin de que no pase de esta, por un lado; ni por otro, està sentada en su frente una media luna de madera mui solida que al paso que sirve de apoyo al manubrio en sus reposos alternativos, le precisa à mantenerse en los debidos limites. La colocacion de esta media luna està manifestada en 5 (Figura 1) y (Figura 2) Este genero de construccion sencilla, contribuye en gran manera à que siempre se pueda conocer el estado interior del registro: circunstancia muy conducente para poderlo mantener arreglado con aquella precision, que se necesita en una pieza de que depende la regularidad de las pulsaciones de la bomba de vapor.

43. Por la explicacion antecedente del registro se ha [f.30r] visto, que de los quatro tubos que le están unidos, dos conducen el vapor al cilindro principal, y otros dos lo dirigen al refrigerante; es menester pues dar una idèa de estas ultimas piezas y de las que estan unidas ò contenidas en ellas. El cilindro principal representado por corte en la figura 14, es de bronce: **A A** manifiesta el cuerpo del cilindro, 37 es el fondo vaciado con el mismo, y de contingente està cerrado herméticamente por esta parte, este fondo forma declivio desde 38 à **Q**, el dar esta inclinacion al fondo del cilindro es con la mira de procurar que el vapor, despues de haver tomado de nuevo la forma de agua, no se detenga en el fondo del cilindro y baxe con facilidad por el mismo gollete **Q**. Estancada dicha agua en el fondo del cilindro y elevandose de nuevo en forma de vaho, podria perjudicar à los movimientos del embolo al tiempo del descenso. **Q** y **R** son dos golletes

tambien de bronce, que por medio de sus respectivas coronas, se unen con las que llevan los tubos señalados con las misma letras (Figura 2) que suben desde el refrigerante. En la parte exterior del cilindro hay [f.30v] un borde 39 39 de mucha resistencia, por cuyo medio el cilindro queda firme y sugetado solidamente por la viga 4 y su paralela opuesta. El cilindro lleva tambien un borde en su parte superior, à la qual se ajusta una tapa, por cuyo centro pasa la vara del embolo.

44. La tapa (Figura 14) destinada à cerrar exactamente la parte superior del cilindro para evitar en lo posible la salida del vapor, debe estar trabaxada con mucho cuidado, de modo que ajuste bien en toda la circunferencia del cilindro y de su borde, y paraque se consiga mejor impedir con ella la salida del vaho, tiene el cilindro abierta en ella una muesca angular que admite el relieve de corte semejante que la tapa lleva en la circunferencia: el corte de esta muesca se puede ver en la misma figura. La circunferencia de la tapa se sujeta y se aprieta por medio de tornillos con el borde del cilindro; y paraque estas piezas ajusten mejor, se les pone por intermedio un pedazo de tela de algodón, empapado con una mezcla de cal y clara de huevo, ò de azeyte de linaza y albayalde.

[f.31r] La misma pasta se pone tambien entre las zapatillas ò coronas que sirven para unir los demas tubos de la maquina que conducen el vaho y el agua.

45. El centro de la tapa (Figura 14), por donde pasa la vara del embolo, consiste en una pequeña caxa fundida con la misma tapa, cuyo centro tiene la figura cilindrica en su parte superior y conica inversa en la inferior; se la llena de estopa untada con sebo que se aprieta fuertemente, mediante una pieza circular que entra en la parte cilindrica, y otra de mayor diametro **NN** que cahe sobre esta, las que atravesadas por la vara del embolo, quedan sugetas con quatro tornillos en el modo que manifiestan las Figuras 14 y 15: de las quales la primera representa la caxa por corte y la segunda por plano. El destino de esta caxa es impedir la salida del vapor de la parte superior del cilindro al paso que la vara del embolo sube, baxa, y corre libremente por su centro.

46. La construccion del embolo no es indiferente en las maquinas de doble efecto. Debiendo ser de un metal que [f.31v] resista a los influjos del calor y de la humedad del vaho, por lo regular se hace de bronce. Parece que bastaría dar al embolo la forma de una garrucha llenando de estopa la parte cerrada en su circunferencia y obligandolo à entrar con alguna fuerza dentro del cilindro, pero no es asi; la estopa, à fuerza de jugar el embolo en el cilindro, se comprime mucho y disminuye el volumen, y el embolo corre floxo; en estas circunstancias es preciso recomponerlo añadiendole estopa. Esta operacion no dexa de ser engorrosa, porque es menester sacar el embolo del cilindro: y sobre no ser fácil acertar la cantidad de estopa que precisamente ha de entrar en la recomposicion, es difícil despues introducir el embolo en el cilindro.

47. Para evitar esta incomodidad fue preciso pensar un medio, con el qual se pudiese recomponer el embolo aumentando el volumen de estopa hasta que tubiese la debida compresion y roze, sin necesitarse sacarlo del cilindro. A este efecto se inventaron los embolos comprimentes, cuya construccion se comprenderà fácilmente à la sola vista de la Figura 16, por ella se ven [f.32r] drà en conocimiento de que esta especie de embolo se compone de dos platos circulares **A,A** y **B,B** vueltos de boca à baxo que el uno entra dentro del otro, y que poniendo entre ellos la estopa **C,C** se la comprime apretando los tornillos **D,D**, y que la vara del embolo **N** està sugetada en el centro de la pieza **B,B**. Este embolo que usan los extranjeros padece los defectos de ser pesado, de ocupar demasiado lugar dentro del cilindro y de dexar en su parte inferior un espacio perjudicial à la igualdad del vapor, porque conteniendo esta parte mayor

cantidad de vaho, de precision ha de faltar el quilibrio, y ha de resultar una desigualdad de fuerza siempre contraria à la perfeccion de la maquina. La vista de la Figura 17, en que està el embolo extranjero mirado de frente, nos manifiesta quanto abulta y quanto dista de la exâctitud necesaria.

48. Si el dar el embolo la forma de una garrucha es conveniente porque no queden espacios inutiles y aun perjudiciales que causen desigualdad en las recamaras del vapor dentro del cilindro; la nueva construccion del embo[f.32v]lo (Figura 18) será apreciable por estas circunstancias y por reunir à las mismas la de poderse comprimir la estopa con los tornillos, sin necesidad de sacarlo del cilindro para executar semejante operacion. El corte de esta pieza està bien declarado en la Figura 14 donde se puede observar, que consta de dos platos ò piezas circulares que encajando la inferior dentro la superior à la manera de las caxas circulares de tomar tabaco recibe entre los dos bordes la estopa, que se sujeta y se comprime por medio de los tornillos indicados por la letra **I** en las Figuras 14, 18 y 19. En el mismo corte del embolo de Figura 14 se puede ver el modo como està afirmada la vara del embolo pro la rosca **K,K** que la mantiene enteramente sujeta. La circumferencia de la hembra de esta rosca està cortada en octagono à fin de que con la llave, ô palanca de hierro hecha à proposito pueda apretarse fuertamente. Las Figuras 20 y 21 acaban de manifestar la construccion del nuevo embolo, cuya idèa propuesta por el citado Artista Don Antonio Pujadas queda realizada con buen exito.

[f.33r] 49. El Refrigerante Figura 22 es aquella parte de la bomba de fuego donde un surtidor de agua fria condensa el vapor. Consiste en un cilindro de cobre hueco 40 40, que ajustado con tornillos dexa esta parte cerrada enteramente. Conviene que esta media naranja esté dispuesta así de quita y pon con tornillos, porque de este modo proporciona el poder arreglar y graduar sin dificultad el surtidor de agua que sale del tubo 13. Algo mas abaxo de la union de dichas dos piezas tiene un orificio 41 por donde recibe el vaho que entre en el refrigerante por el conducto **F**. Acia la mitad de su altura se le agrega un conducto 12, 22 que da paso al agua fria que baxa de un receptaculo y forma con el cañoncito 43, un surtidor perenne de agua fria en el centro del refrigerante. En la parte mas baxa de este, se encuentra otro orificio 44, que sirve para desaguar el fluido sobrante de la inyeccion. Mui cerca de este orificio en 15 està colocada una valvula, que juega igualmente en la subida que en el descenso del embolo, està pendiente de una charnela [f.33v] en el modo que se manifiesta en la Figura 23, y luego hay un tubo de respiro 46 montado con vaso y valvula à la manera de seguridad 13. Este tubo sirve principalmente quando se prepara la maquina para darle movimiento como se dirà despues: atraviesa la pared del receptáculo 9,9 (Figura 2) sube encorvado, y sostiene el vaso casi al nivel del receptaculo sobredicho. El tubo 45 prosigue en direccion horizontal hasta encontrar la bomba pneumatica **H** (Figura 2) con la qual tiene, comunicacion en la parte mas baxa.

50. Es indispensable que el tubo 42, 42 del mismo refrigerante (Figura 22) tenga una llave de paso de tales circunstancias que pudiendose cerrar mas ò menos, se consiga con ella proporcionar la cantidad de agua que conviene que pase al refrigerante conforme la velocidad que se pretende dar à la maquina; que à mas de esto señale por parte de afuera el grado de abertura en que està en lo interior, y quede asegurada de modo q<sup>o</sup> nadie pueda hacerla dar buelta, con lo que podria ocasionar un trastorno y desareglo en la maquina. La llave [f.34r] de paso figurada en el n<sup>o</sup> 47 dela Figura 22 tiene reunidas estas circunstancias; el cuerpo de esta llave lleva dos círculos concéntricos vaciados del mismo metal uno en cada parte, el macho lleva tambien otro circulo concentrico à aquellos, todos estan graduados en su circumferencia con varios agujeros que facilitan poder fixar, y dexar abierta la llave en qualquier grado que se le quiera mantener. Esto se consigue mediante una varilla que despues de haver enfilado los



agugeros de los tres círculos sobredichos, se cierra con un candado de maleta à fin de que nadie por casualidad ò por malicia, pueda quitarla, ni volver la llave. Por la sola vista de la figura se vendrà en conocimiento de la construcción de esta llave de paso.

51. La bomba pneumática nada ofrece de particular y por lo mismo sería ocioso detenerse en la descripción de ella, basta decir que es una bomba atractiva cuyo embolo lleva una válvula que se abre hacia arriba al tiempo del descenso, y permite libre paso al agua, al ayre atmosférico, y aun à alguna cantidad de vapor, que se en[f.34v]cuentran en la parte inferior del cuerpo de la bomba, y que con la acción de la subida del embolo, obliga à estos fluidos à que pasen por el tubo ascendente **KK** (Figura 2). Siendo de advertir que el cuerpo de la bomba ha de estar cerrado exactamente por su parte superior, no dexando pasar por ella mas que la vara del embolo bien ajustada al orificio de la tapa. Aunque esta bomba extrahe del refrigerante toda la cantidad de agua que sobra de la inyección con cierta porción de vapor y de ayre atmosférico; es llamada por los Físicos impropriamente bomba pneumática, con el fin de distinguirla por este nombre de las bombas del efecto útil en las máquinas que estan destinadas à levantar agua y aun de otras.

52. Después de haver manifestado las principales partes que sirven para la conducción del vapor, y del agua de inyección en esta bomba de fuego, esto es las que estan destinadas à lo que se llama parte física de la máquina; conviene hablar de aquellas que tienen destino en la parte mecánica [sic], la disposición y combinación de estas por estar mas presentes à la vista, será mucho mas fácil de comprender.

[f.35r] 53. Los contrapesos (Figura 1 y 2) señalados por **D,D** tienen cada uno su mango que se reúne en el centro de rotación con otro mango igual que no lleva contrapeso, juntos los tres forman dos ángulos como se puede ver distintamente en la Figura 1. Para saber los grados de abertura que han de tener estos dos ángulos, cuyos lados se suponen compuestos por los mangos sobredichos, no puede darse una regla general; porque debiendo caer los mazos ò contrapesos precisamente en el último instante de la subida y baxada del embolo; dicha abertura depende de la mayor ò menor longitud del cilindro principal ò del modo que esta arreglado el ascenso ò descenso del embolo: pues es conseqüente à este el de la corredera que es la que determina los momentos de caída de los contrapesos. Es de advertir que el eje que està en el centro de rotación de los contrapesos nada tiene de comun con el centro de rotación del manubrio del registro; aquellos en fuerza del empuje de la corredera giran libremente independientes del registro hacia un lado ò à otro, y solo arrastran el manubrio del registro [f.35v] en el instante mismo de haver vencido el centro de gravedad.

51. La corredera **M** (Figura 1 y 2) es una vara inflexible de hierro que sostenida en su extremo superior por otra pieza del mismo metal; y guiada por los anillos 4 4, al tiempo del descenso del embolo empuja el mango **C** (Figura 1) obligándolo à baxar hasta que los contrapesos caen hacia à la derecha, y al tiempo de la subida del embolo arrastra el peso que està en el mango de en medio hasta que cahe acia la izquierda. La rosca que sujeta la corredera con la pieza que sostiene sirve tambien para arreglarla en la longitud conveniente, paraque los mazos disparen à tiempo. Dicha pieza que sostiene la corredera se presenta por plano en la Figura 24.

55. La pieza horizontal que forma cruz con la vara del embolo vista por plano està en la Figura 25, y de perfil en la en la Figura 26, en cada uno de sus extremos 18 18 lleva un juego como de gozne dispuesto en el modo que indica en las mismas figuras. En la parte céntrica 49 tiene un orificio en el qual se en[f.36r]fila la vara del embolo, afirmándola fuertemente con roscas.

56. Los brazos **O,O** Figura 27 y 28 vistos de frente en la primera, y de lado en la segunda, se unen por la parte 50 con la 48 de las Figuras 25 y 26, y entrando aquella en esta de un modo análogo al de la cabeza de un compas, forma los goznes de que se ha hablado. Y las mismas piezas **O,O** de las figuras 27 y 28 en los extremos 51.51 están en forma de anillo, y reciben los manubrios de las ruedas dentadas **SS**.

57. Poca explicación parece que se necesita para dar à entender la combinación del juego de engranaje de las ruedas dentadas **S,S** entre sí, **Y** con el piñón **T** del volante en la figura 2 está delineada de un modo muy fácil de comprender. Las ruedas **S,S** sujetadas por su eje con el manubrio, de precisión han de moverse cuando se mueve este, no pueden girar sin que dé vueltas el volante que engrana con ellas por el piñón **T** que tiene la tercera parte de diámetro respecto de aquellas, ni este movimiento de rotación de las tres piezas puede verificarse sin que suba y baje la vara del em[[f.36v](#)]bolo y por consiguiente el mismo embolo, sin que se verifique el expresado movimiento de rotación. Este método de engranaje que suple por el balancín es debido a un Inglés llamado Sadler. No puedo dexar de advertir aquí que si la máquina es grande será mucho mejor que el piñón del volante tenga las dos terceras partes del diámetro respecto del de las dos ruedas dentadas à fin de que no adquiera una velocidad excesiva en el movimiento de rotación.

58. Conocidas ya las principales piezas de la bomba de vapor, y el modo como están colocadas y enlazadas, no será difícil enterarse de los movimientos y operaciones que ejecuta con ellas toda la máquina en general: que es el objeto y fin à que están destinadas mediante la aplicación de las fuerzas sobrantes à diferentes empresas útiles. Conviene pues dar à conocer el orden y el modo con que se ejecutan aquellas operaciones; empezando desde el punto mismo de dar fuego al hornillo, concluyendo por el de la aplicación de la fuerza de la ma[[f.37r](#)]quina à otro cualquiera artefacto.

59. Suponiendo que todas las partes de la bomba de vapor están arregladas y colocadas como corresponde, la primera diligencia que debe practicarse cuando se la quiere poner en movimiento, es echar agua dentro del alambique hasta que llegue à unas cuatro pulgadas más alta que el borde de la caldera lo que se conocerà fácilmente abriendo la llave **Z** (Figura 7). Luego después, ò quando se quiere pegar fuego al combustible, que se supone ya preparado en el hogar del hornillo.

60. Mientras el agua del alambique se está calentando, antes de hervir se dispone la máquina de modo que el aire atmosférico contenido en todos los cilindros y conductos tenga libre salida. Esto se consigue por dos medios, el uno consiste en dexar terciado el registro, esto es en poner el manubrio del registro en situación vertical que no se incline à un lado ni à otro. Es claro que estando el registro en esta actitud, todos los orificios de los conductos que comunican con esta pieza están no más que à medio cerrar; [[f.37v](#)] y por lo mismo el vaho que empieza à desprenderse del alambique, circulando libremente por ellos, va desalojando al aire atmosférico que los ocupaba. No estando todavía la máquina en movimiento, ò no jugando la bomba pneumática, este aire atmosférico no encontraría por donde salir y enrareciéndose más y más en cada instante por el calor sucesivo, correría riesgo de reventarse algún tubo, y de causar una explosión. Al efecto de precaverla fue inventado el tubo de respiro 46 (Figura 2) cuya válvula debe dexarse levantada al mismo tiempo que se dexa terciado el registro, lo que fácilmente se consigue con poner tirante la cadenilla pasando uno de sus anillos en un clavo que está en la pared, conforme puede deducirse por la vista de la figura: y este es el segundo medio que facilita la salida del aire atmosférico.

61. Luego que la maquina està ya bastante descargada del ayre atmosferico que contenía, lo que se conoce quando el vapor empieza ya à salir mui denso por el tubo de respiro, se dexa la valvula [f.38r] que tapa este tubo, separando del clavo el anillo de la cadenilla: luego se hace girar el manubrio del registro acia al lado que corresponde. Digo al lado que corresponde, porque si el embolo se encuentra à la parte superior del cilindro principal el manubrio del registro ha de estar cahido acia la parte hizquierda de la media luna, porque el vapor entra por arriba: Y si el embolo se encuentra en la parte inferior, el manubrio del registro ha de descansar sobre la derecha de la media luna, porque el vapor, entra por abaxo. En teniendo cuidado de dexar el registro respectivamente en la situaciones sobredichas, no es menester tener mas cuidado, que la maquina por si sola ya se pondrá en movimiento. No puede exercutarse con tanta comodidad esta operación en las demas bombas de vapor de doble efecto conocidas, como queda ya indicado en los numeros 12,13 y 15 de este escrito.

62. Habiendo dicho que luego de expelido por la introduccion del vaho el ayre atmosferico que ocupava los conductos dela maquina, se dexa el manubrio del re[f.38v]gistro quieto sobre uno de los lados de la media luna, y que estando la maquina en esta disposicion empieza por si sola sus impulsiones arregladas; es preciso añadir ahora el modo como esto se verifica. Supongase, sin perder de vista las demas circunstancias sobredichas, que el manubrio del registro descansa sobre el lado hizquierdo de la media luna, y que el embolo se entra en la parte superior del cilindro (vease la Figura 1) en este estado de la maquina el vapor se introduce sobre el embolo por el tubo **R**, y à proporcion que va adquiriendo mayor fuerza expansiva obliga al embolo à que vaya baxando por grados. El embolo no puede baxar sin que baxe igualmente la corredera, ni tampoco la corredera sin que baxe el mango **C**, que arrastra los contrapesos. Este movimiento de la corredéra y del mango **C**, nada influye por el presente à que se mueva el manubrio del registro, que se queda quieto hasta que el embolo, y por consiguiente la corredera llegan al punto mas baxo de su descenso, entonces el contrapeso **D** despues de haver pasado la vertical y vencido [f.39r] el centro de gravedad se desploma y cahe sobre la parte opuesta, y en este momento el contrapeso **D**<sup>2</sup> da un golpe repentino contra el manubrio del registro obligándolo así à pasar à la otra parte de la media luna. Con esta mudanza repentina del registro, queda cerrado el tubo **R** que daba el vapor sobre el embolo, y abierto el tubo **Q** que empieza à darlo à la parte inferior.

En esta diposicion de la maquina, el embolo sube junto con la corredera, esta arrastra el contrapeso **D**<sup>2</sup> que en pasando de la vertical se desprende acia la otra parte, y el contrapeso **D** muda el registro en la misma conformidad que se ha dicho respecto de la baxada del embolo y así sucesivamente. Es mui esencial que la actividad del registro no se mude por grados, sino súbitamente en los últimos instantes de la subida y de la baxada del embolo, y en esto consiste la regularidad y perfeccion del consabido juego del registro.

63. Teniendo presente lo que se ha dicho en el numero 40 no habrá dificultad en comprender que quando el vapor pasa à la parte superior del cilindro por el conducto **R**, [f.39v] el que se halla en la parte inferior baxa à condensarse en el refrigerante por el tubo **Q**, y que quando entra debaxo del embolo por el mismo conducto **Q**, el de la parte superior baxa al refrigerante por el tubo **R**. Y de aqui resulta que el vaho se dirige al refrigerante por el conducto **F** por repetidas avenidas alternativas.

64. Al entrar el vaho por el conducto **F** al refrigerante da desde luego con el surtidor con el surtidor de agua fria que sale con ímpetu del tubo 42 (Figura 22) y en el instante mismo del contacto, el vaho se condensa repentinamente, esta condensacion es sostenida en todos los

puntos de la parte interna del refrigerante por la continua lluvia del agua fria que cahe rechazada por la cupula del refrigerante. De la condensacion que el vaho padece por este medio resulta el vacio, parte en el mismo refrigerante, y parte en el conducto 43. Al tiempo de verificarse dicha condensacion del vapor que baxa al refrigerante; la valvula que està en 45 (Figura 22) se cierra y no pudiendo por esta causa ocuparse el espacio vacio por la parte inferior del refrigerante, es preciso que el vapor contenido [f.40r] en el cilindro principal baxe à llenarlo en aquellos momentos en que el registro presenta comunicacion libre entre dicho cilindro y el refrigerante. Esta es la causa física del movimiento y de la fuerza en la bomba de vapor. La valvula sobredicha es la unica que sirve para dar al embolo del cilindro principal los movimientos alternativos de subir y baxar.

65. Parece que desde que los Ingleses Bolton Y Watts inventaron la bomba de fuego de doble efecto, ha sido mui comun construir el refrigerante por el mismo estilo de aquella: que consiste en tener el tubo de inyeccion sumergido en agua dentro del receptaculo de modo que la misma agua sirva para la inyeccion. Por los experimentos citados en el numero 16 pude conocer entre otras cosas que de esta especie de refrigerantes no deben esperarse todas las ventajas de una condensacion perfecta: y por lo mismo opinè que debia executarse conforme està descrito en el numero 49, esto es, haciendo baxar el agua fria de inyeccion por el tubo 42, 42 desde otro receptaculo distante del calor de [f.40v] la maquina, como en las bombas de vapor antiguas.

66. Ningun Fisico dexarà de conocer que insiguiendo la construccion de los Ingleses, asi el refrigerante como los demas tubos y conductos que estan sumergidos en el agua del receptaculo, de precision han de comunicarle algun calor: el que aquellos conservan para pasa de 45 grados, y por lo mismo pueden considerarse como otros tantos cilindros calientes que contribuyen à disminuir la frieldad del agua que los està circuyendo. No puede dudarse que en este caso el agua que recibe mas calorico es la que està mas inmediata à estos conductos calientes incluso el mismo tubo de inyeccion: Luego si se hace uso, para la inyeccion, del agua del receptaculo, y si se introduce à dicho tubo el agua que està mas inmediata à su extremo abierto, lo que es indispensable; es preciso confesar que por el metodo de Watts y Bolton el agua que entrarà en el refrigerante no será la mas fria, y que este estilo de valerse para la inyeccion, de una agua que se mantiene casi estancada en un receptaculo en que estan [f.41r] sumergidos varios tubos que despiden calorico, no es el mas acertado. Digo casi estancada, porque tampoco se puede decir que aquella agua està del todo detenida, en atencion à que siempre entra en el deposito ò receptaculo, cierta cantidad de agua fria para compensar el gasto de la que pasa por el tubo de inyeccion; pero esta no es suficiente para impedir todos los efectos del calorico en la que està inmediata à los tubos y conductos sobredichos, como es facil comprobarlo con el thermometro.

67. Estoy cierto de que para conservar el agua del receptaculo enteramente fresca en terminos que no se recibiese influxo alguno del calorico que los tubos y conductos difunden en su esfera de actividad; seria preciso que una corriente copiosa de agua fria pasase sin intermisiòn por el receptaculo; pero ya es de ver que no serian muchos los sugetos que teniendo la proporcion de poseher una corriente de agua en la altura y cantidad que convendria para un refrigerante como el sobredicho, pensasen en construir la bomba de fuego.

[f.41v] Siendo cierto como lo es, que el buen efecto de la bomba de fuego aumenta en raxon directa de la mayor condensacion del vapor, y que esta es proporcional al mayor grado de frio del agua de inyeccion; parece que no es dificil comprender que el metodo de condensar el vapor en el refrigerante por medio de un continua chorro de agua fria procedente de un deposito que no està en contacto con las partes calientes de la maquina, será siempre mui preferible al de

valerse, para la consabida inyeccion, del agua de un receptaculo en que hay siempre una continua afluencia de calorico que se comunica con aquel fluido.

68. Conducido el vapor al refrigerante se condensa mezclándose con el agua fria, y bolviendo à tomar la forma de agua, baxa al fondo del refrigerante junto con el agua de inyeccion. Puede considerarse que son tres los fluidos que llenan el espacio interior del refrigerante, el vaho, el ayre atmosferico, y el agua: el vaho ocupa la parte superior, el ayre se halla debaxo, y el agua de inyeccion ocupa la parte inferior.

[f.42r] Para que la maquina pueda continuar sus impulsiones es mui esencial aligerar de estos fluidos aquel espacio, este es el destino que tiene la bomba pneumatica en las maquinas de vapor; es esta la bomba atractiva, que sacando el agua sobrante de inyeccion y la que resulta del vapor, desde el fondo del refrigerante, la sube al receptaculo 8 (Figura 2), y con esta misma operacion el refrigerante se descarga tambien del ayre atmosferico y del vapor superfluo.

69. El agua que sube por el tubo ascendente de la bomba pneumatica así que llega à una altura proporcionada se dirige al receptaculo 8 (Figura 2). El agua que entra à este receptaculo tiene dos salidas, la una es por el tubo horizontal 11 que la conduce al tubo nutridor **P**, y la otra por el tubo vertical **I** por donde baxa el agua sobrante, esto es, aquella cantidad de agua que no conviene que pase por el tubo nutridor, porque sería demasiada para entrar à la caldera. De este modo, medi [f.42v] ante una llave de paso que tiene el tubo horizontal, se proporciona la cantidad de agua que ha de entrar al alambique por el tubo nutridor que es la que debe reparar las perdidas de este fluido ocasionadas por la evaporacion. Esta agua quando baxa conserva todavia un calor de 30 à 40 grados, y debe ser así, à fin de que no perjudique al hervor del agua de la caldera como podria suceder si entrase fria. El agua sobrante despues de haver pasado por el tubo vertical **I** ya no sirve mas par la maquina, y por lo mismo, ò bien se la dexa perder, ò se la da algun destino util si las circunstancias locales lo permiten.

70. Arreglada la bomba de fuego, y menejada del modo que dexo explicado executará sus impulsiones regulares aun que no se dexa entrar agua fria en el refrigerante para la condensacion, pero apenas tendrá mas fuerza que la que necesita para andar por si sola y vencer la resistencia del embolo sin aplicacion alguna; porque [f.43r] sin la condensacion no se forma aquel vacio que según se ha dicho en el numero 64 es la causa fisica del movimiento y de la fuerza de la bomba de vapor. Pero si dexando la maquina en este mismo caso de no cargar el embolo con alguna resistencia, se permite que entre agua fria al refrigerante, se pondrá desde luego en movimiento mui rápido y en extremo violento. De este exceso de fuerza se aprovechan los Fisicos para las aplicaciones utiles de la bomba de fuego.

71. La parte de la {maquina} donde regularmente se aplica la resistencia, es la vara del embolo. El movimiento de subir y baxar el embolo es el que suele aprovecharse para el efecto util en todas las bombas de vapor de balancin. Por medio de esta pieza se transmite la fuerza de la potencia à un volante si se necesita el movimiento de rotacion: se consigue tambien sin este intermedio, sino se necesita otro movimiento que el de hacer subir y baxar un embolo ù otra pieza como por exemplo en las bombas de sa[f.43v]car agua, y en otras maquinas de igual ò semejante clase.

72. En la bomba de vapor que es obgeto de este escrito, en vez de hacer uso del balancin, se ha adaptado el metodo de engranage de que ya se ha hablado en el numero 57. Esta construccion porporciona el poderse aplicar la resistencia de los distintos modos. El primero, valiéndose de la pieza de madera **Y** se pueden hacerse jugar sin interrupción dos bombas de sacar agua: esto es

lo que se ha puesto en practica con la maquina grande de Don Jacinto Ramon, en la qual mediante la sobredicha pieza de madera, se mueven las palancas que hacen jugar embolos de dos bombas de un pie de diametro una al subir y otra al baxar el embolo del cilindro principal: sin necesidad de cargar con pesos inútiles las espigas de los embolos de aquellas bombas: esto es debido à la igualdad de tiempos con que se distribuye la fuerza del vapor por medio del registro.

73. El segundo medio sirve para quando se necesita [f.44r] que la maquina comunique à la resistencia un movimiento de rotacion. Consiste en hacer que el exe de la rueda  $S^2$  (Figura 2) que es la que està sin engranar con el piñon del volante, sea mui resistente, y prolongado en la parte opuesta al manubrio: à esta parte del exe de aquella rueda se le aplican las piezas que sirven para el movimiento de rotacion procurando que el centro de estas quede unido con el dela rueda  $S^2$ . Es evidente que no pudiendo girar el exe de esta rueda  $S^2$ , sin que gire el de aquellas piezas, será indispensable que el movimiento de rotacion se haga comun y por consiguiente se tendrá la fuerza de la maquina aplicada à un movimiento rotatorio sin necesidad de balancin.

74. Es preciso advertir aqui y debe tenerse mui presente, que quando la maquina produce su efecto util con los movimientos de subir y baxar la pieza (Figura 2) es indiferente que las ruedas  $SS^2$  den la buelta acia la derecha ò acia la hizquierda; pues de todos modos andarà bien la maquina, y executarà con la misma regularidad los movimientos de la subida y baxada dela pie[f.44v]za  $Y$  sobredicha. Pero si quando produce aquel efecto con el movimiento de rotacion aplicado al exe de una de las ruedas  $S$ , conviene que el movimiento se haga siempre acia à un mismo lado, como en las maquinas de hilar y otras. En este caso, supongase ahora que el embolo està alto, es menester procurar que los manubrios de las ruedas sobredichas en la primera impulsion de la maquina esten un poco divergentes y de este modo empezaran y continuaran el movimiento rotatorio acia fuera, y si estan convergentes giraran las ruedas hacia dentro; y por lo contrario si suponemos que el embolo està baxo, para dar el movimiento de rotacion à las ruedas de modo que giren acia fuera, los manubrios han de estar convergentes, si se pretende que giren acia dentro han de estar divergentes.

75. Quedando suprimido, como queda en esta bomba de vapor el balancin, y todas las cadenas, se consigue en ella la apreciable circunstancia de que no haga aquel incomodo y fuerte ruido, que suelen causar aquellas piezas. Con los expresados medios de usar de la grande potencia de [f.45r] la bomba de fuego, podrá qualquier Maquinista aplicarla à infinitos ramos de industria, para sacar agua, hilar, cardar, peynar, texer, torcer devanar, beneficiar minas, tirar metales, moler granos, y otras materias, limpiar puertos, llenar ò desaguar diques, profundizar canales de navegacion, y en una palabra aplicarla à infinitos otros obgetos importantes. Yo espero que la sencillez y corto numero de piezas con que la bomba de vapor de registro, que presento à la nacion española, executa sus operaciones, ha de tener un influxo decidido à favor de nuestra industria nacional, à lo menos puedo decir que este ha sido el obgeto y fin de mis desvelos. La presente maquina está arreglada à un cilindro que tiene quince pulgadas y  $\frac{1}{4}$  de diametro interior: sería por demas decir que la capacidad de esta pieza debe variar conforme las resistencias que el Maquinista se propone vencer, y que à proporcion de aquella se han de variar las dimensiones de las demas partes de la maquina; en semejante construccion puede servirle de modulo de semi-diametro del cilindro principal.

[f.46r]	Indice de Materias	Numeros
	Parte primera	
	La bomba de fuego suple las fuerzas motrices del viento, del agua de las cavallerias.....	1
	Origen de las bombas de fuego.....	2
	Motivos de haverse executarse en Barcelona la nueva bomba de fuego.....	3
	Defectos principales comunes à las bombas de vapor.....	4
	Propuesta de corregir aquellos defectos.....	5
	Construccion de una bomba de vapor pequeña para practicar experimentos à este fin.....	6
	Experimento dirigido à probar la fuerza de la bomba de doble efecto sin inyeccion fria.....	7
	Idèa de suprimir las valvulas por medio de un registro general.....	8
	La idèa de suplir por las valvulas y reguladores con un registro general llegada à efecto llevada à efecto.....	9
	Ventajas que lleva la nueva bomba de registro sobre las demas bombas de vapor conocidas.....	10
	[f.46v] Siguen las ventajas sobredichas.....	11
	Complicacion excesiva del sistema de valvulas.....	12
	Complicacion y delicadeza excesiva del sistema de reguladores.....	13
	Demasiada complicacion de las correderas.....	14
	Mayor facilidad de poner en movimiento la nueva maquina de registro.....	15
	Experimentos dirigidos à condensar el vapor mediante la aplicacion del frio à la superficie externa de los tubos.....	16
	Utilidades de la bomba de fuego aplicada à varios ramos de la industria.....	17
	Aplicacion de la misma maquina pequeña al hilado de algodón.....	18
	Aplicacion de la misma maquina à levantar agua.....	19
	Estas aplicaciones se manifiestan al publico .....	20
	Explicacion de la vista del modelo ò maquina pequeña.....	20
	[f.47r] Parte Segunda	
	Idea general de las piezas que componen la maquina grande.....	21
	Plano del edificio y colocacion de las principales partes de la maquina en su parte inferior.....	22
	Corte horizontal tirado sobre el sitio donde descansa el cilindro principal.....	23
	Corte horizontal tirado sobre el sitio donde descansa el cilindro principal.....	23
	Corte tirado por debaxo la parte horizontal del conducto de vapor.....	24
	La explicacion por menor de las principales partes de la maquina, sigue su colocacion y uso.....	25
	Produccion del vapor en el alambique.....	26
	Reflexiones acerca la disposicion y construccion del hornillo, y ensayos con el de Rumfort.....	27
	Hornillo en cuya construccion se sigue un termino medio entre los antiguos y los de Rumfort.....	28
	[f.47v] Formas del alambique, usadas en distintas épocas.....	29
	Forma del alambique en la maquina de que se trata en esta memoria..	30
	Cabeza del alambique, y razones por no colocar en el centro el orificio de inspeccion.....	31
	Otras circunstancias de la cabeza del alambique, y tubos de prueba...	32
	Direccion del conducto del vapor desde la cupula del alambique hasta al cilindro.....	33

Del registro.....	34
Forma exterior del registro y colocacion de tubos en su superficie.....	36
Cortes del conducto octagono en la actitud de pasar el vapor à la parte inferior del embolo y en la de salir de ella.....	37
La introduccion y salida del embolo se executa en tiempos y circunstancias opues[f.48r]tas à los de la operacion antecedente.....	38
Paso del vapor desde el alambique à la parte superior del embolo y desde esta al refrigerante.....	39
Estado de las combinaciones que se executan con el registro.....	40
Construccion y destino de la parte excedente posterior de la pieza cilíndrica del refrigerante.....	41
Manubrio del registro, y media luna que lo sostiene.....	42
Idea del cilindro principal.....	43
De la tapa que cierra el cilindro, y del betun que sirve para unir estas y otras piezas.....	44
Caxa de la tapa por donde pasa la vara del embolo.....	46
Conviene dar mayor perfeccion al embolo que usan los extrangeros..	47
El embolo sobredicho perfeccionado.....	48
[f.48v]Refrigerante, tubo de inyeccion tubo de respiro, valvula de doble efecto.....	49
Llave de paso del refrigerante.....	50
Bomba pneumatica.....	51
De las piezas que pertenecen a la parte mecánica.....	52
Contrapesos que sirven para variar las posiciones del registro.....	53
Corredera que arregla los tiempos de la cahida de los contrapesos.....	54
Pieza orizontal que forma cruz con la vara del embolo.....	55
Los brazos que ponen en movimiento los manubrios de las ruedas dentadas.....	57
Movimientos y operaciones de la maquina.....	58
Echar agua en la caldera, pegar fuego en el hornillo, varios combustibles.....	59
[f.49r]Modo de dar salida al ayre atmosferico contenido en los cilindros y conductos.....	60
Actitud que debe darse al registro al tiempo de salir el ayre atmosferico, y quando ha de empezar à andar la maquina.....	61
De que modo se verifica que la maquina se pone por si sola en movimiento.....	62
Alternativa del vapor en la entrada y salida del cilindro.....	63
Impulsiones alternativas causadas por la afluencia del vapor al refrigerante.....	64
El estilo moderno de valerse para la inyeccion fria del agua de un receptaculo en que estan sumergidos los tubos del refrigerante presenta inconvenientes, el metodo antiguo es preferible.....	63
Confirmacion de no ser el mas propio el metodo de tener sumergidos tubos calientes en el agua del refrigerante.....	66
[f.49v]Es mejor que el agua inyeccion baxe de un deposito apartado del calor de la maquina.....	67
Fluidos que ocupan la parte interna del refrigerante, y operacion de la bomba pneumatica.....	68
Destino del agua que sube por el tubo ascendente de la bomba pneumatica.....	69
Efectos de la inyeccion en el refrigerante.....	70
Parte de la maquina donde se aplica la resistencia.....	71
Primer modo de aplicar la resistencia à la maquina sin balancin.....	72
Segundo modo de aplicar la resistencia à la maquina sin balancin, y con	



movimiento de rotacion.....	73
Advertencia sobre el modo de disponer las ruedas dentadas, quando se aplica el movimiento de rotacion.....	74
Esta bomba de vapor no molesta con el ruido.....	75

**Annex II : Polèmica arran d'un article a la Gazeta de Madrid (1805) (Fons família Santponç)**

Santponç copia la informació de la *Gazeta* del 26 de juliol de 1805 sobre l'èxit del funcionament del prototip de la seva màquina. A continuació escriu una nota en la que protesta contra l'atribució del disseny del registre de la màquina a Antoni Pujades i dona la referència del llibre de Bèlidor per trobar el disseny original de l'aixeta de doble sortida.

[f.1r]

---

GAZETA DE MADRID

DEL VIERNES 26 DE JULIO DE 1805

---

ESPAÑA

Barcelona 13 de Julio.

En esta ciudad acaba de executarse una máquina ó bomba de vapor, de un mérito singular, que por lo mucho que tiene de original, merece la admiración y particulares elogios de las personas inteligentes. Siendo de las llamadas de doble efecto, queda reducida á un cortísimo número de piezas, respecto de las Inglesas, incluidas las mas modernas: de suerte que con el auxilio de una sola válvula, executa los movimientos alternativos de la [f. 2r] subida y baxada del émbolo, sin que para este juego se necesiten; que hasta el presente siempre se habian considerado por indispensables. Esta máquina está aplicada á hilar algodón en la casa fábrica de D. Jacinto Ramon, cuyo patriotismo excede á todo elogio, por lo mucho que le debe la industria nacional; pues nunca ha perdonado gastos ni diligencias para proporcionar á la patria los mas útiles descubrimientos. Esta bomba de vapor servirá interinamente de original y de modelo para executar otra de dimensiones mucho mayores, que sea capaz de poner en movimiento á la mayor parte de las de la misma fábrica destinadas á distintos objetos. La disposicion y execucion de esta utilísima produccion hidrostática ha sido dirigida por el Dr. D. Franciso Sanpons, Director de estática y de hidrostática de la Real Academia de ciencias naturales y artes de esta ciudad, quien está en ánimo de componer y publicar una disertacion, para dar a conocer á los inteligentes y facultativos los principios en que se funda esta nueva máquina. Los artistas que han trabajado en la construccion de esta máquina y han realizado perfectamente las ideas del Director son naturales de este pais. El arquitecto D. Ignacio March se ocupó en dirigir la construccion del hornillo económico y demas obras pertenecientes á su arte. El cerrajero D. Francisco Coromina [f1.v] desempeñó la execucion de las diferentes piezas de hierro que entran en la composicon de la máquina. El calderero D. Juan Pablo Peradejordi tuvo á su cargo la formación de la caldera, vasos de alambre, inflexión de tubos, y lo demas perteneciente á este ramo; y el carpintero D. Antonio Pujadas, sobre haber trabajado exactamente lo que es de su oficio, se distinguió en idear una llave de paso de particular disposicon, que contribuye á la simplificacion de la máquina. El Caballero Intendente de este Exército y Prindipado, el Sr. D. Blas de Aranza y Doyle, cuyo zelo en proteger todo descubrimiento útil es bien notorio, no perdió instante en visitar este nuevo establecimiento desde el primer dia de estar corriente, mereció la aprobacion y distinguidos elogios de S.S. con expresiones nacidas del vivo interes que toma á favor de los progresos de las ciencias, de las artes y de la industria.

Nota.

El sugeto que compuso este artículo de gazeta no emitió nada de quanto podía hacer brillar el merito de los Artistas, en particular el del Carpintero Pujadas, á quien parece se deseaba con empeño atribuirle el merito de inventor de la llave de paso que está en la bomba de fuego. Para condescender á estos deseos fue preciso valerse de un modo figurado diciendo: se distinguió en idear una llave de paso de particular disposicion, porque sin faltar á la verdad no podía decirse de particular invencion, respecto de que la tal llave es sacada del tomo segundo de la Arquitectura hydraulica de Belidor, libro quarto, capitulo primero, paginas 240 y siguientes laminas 1, 2, 3 y 4.

Belidor publicó esta llave de paso con el titulo de Robinet tribanche.

El Director no ha hecho mas que disimular este plagio, [f. 2r] pero ha pretendido tener parte en el porque podria ofuscarle el verdadero merito que tiene en la direccion de la nueva bomba.

**ANNEX III: Nota del Marquès de Monistrol (s.d.). Arxiu RACAB.**

El Marqués de Monistrol escriu a Santponç per felicitar-lo per haver-se defensat dels informes negatius que han sigut enviats a instàncies superiors sobre la la màquina de vapor.

Mi mas apreciable Santpnts: En la justa satisfaccion con que considero á VM, por el oficio que les ha remitido á vm el Cab[allero]o Intendente el Sr Secretario de Hacienda, en que le manifiesta la aceptacion que ha merecido la Maquina, o bomba de vapor, fruto del zelo y talento de vm, tomo la parte que se atribuye la buena voluntat que le profeso en quanto pertenece vm, y deseo repetidas ocasiones en que pueda dar á vm un testimonio positivo de la consideracion que merece mi opinion, su instruccion, y vastos conocimientos de vm. Doy les à vm igualmente la enorabuena por haver triunfado de los siniestros informes que se han dado a la superioridad, concernientes a Hilados de algodón, y es lastima a que no sea publico el beneficio incomparable que ha echo vm a la patria, pero le queda a vm la satisfaccion mayor que es la de haver procurado un bien, en el que deseo cooperar en todo lo que sea posible. Su muy admirable y apasionado servidor M. Marques de Monistrol , oy 23

S. Don Franco Santpnts.



**Annex IV: Carta de Santponç al Baró de Castellet (17 octubre 1815)**

Santponç escriu aquesta carta perquè busquin la memòria perduda a la Impremta Reial, la descriu perquè la puguin localitzar i li envia la portada. Sospita que els francesos han pogut furta la memòria i els russos han pogut copiar la màquina. Es posa a disposició per aplicar la tecnologia de vapor a la construcció de Canals.



Ex<sup>mo</sup> S<sup>or</sup>

Mui Sor mio, en un articulo de gazeta de 17 de Octubre ultimo leí que entre las noticias comunicadas a v.e. sobre los progresos de la industria en los países extranjeros una de las que deben llamar la atención pública por el grande interés que ofrece, es la aplicación que se hace en Schalselburgo pueblo de Rusia de la maquina de vapor para el estampado de indianas. Apareciendo v.e. tan útil mecanismo, asi por los muchos brazos que ahorra, como por el grande aumento de productos que con el se adquiere, y por poder proporcionar notables beneficios á las fabricas de este Principado menoscabadas por la ultima guerra, á cuyo fin v. e. se sirvió disponer se publicase tan importante noticia, deseoso del adelantamiento de las Artes, y de la prosperidad de la patria.

No haría yo el debido aprecio que justamente se merecen las rectas intenciones de v.e. dirigidas á la prosperidad de la patria, si en esta ocasión me quedaba silencioso, si estando como está en mi mano después de repetidos cálculos, y prolixas meditaciones el difundir en España las luces que v.e. desea, ni ofreciese reunir los esfuerzos de mi corto talento al apreciable patriotismo de v.e.

En el año de 1803 hallandome, como actualmente, de Director de Estatica, y de Hydrostatica en la Real Academia de ciencias naturales y artes de esta ciudad, un rico Fabricante de indianas llamado Dn Jacinto Ramon, me pidió que le hiciese el favor de indicarle una fuerza ó agente por cuyo medio pudiese mejorar y adelantar mas las operaciones de su fabrica, economizando principalmente en el numero de mulas que tenia que mantener para dar movimiento á sus maquinas. Despues de haberme enterado de su objeto, y de lo que necesitaba le dixé que el mejor de todos los agentes conocidos de que podía executar con ahorro de las mulas, y de muchos brazos la mayor parte de las operaciones de su fabrica; pero que debia estar en el concepto de que esta era mucha empresa para el, y para mi, para el, por lo costoso de la maquina, y para mi por la dificultad de las combinaciones y calculos; pero que esta parte quedaría á mi cuidado, en la inteligencia, de que no debía hablarme de intereses, ni hacerme expresión alguna pues me bastaria tener el gusto de servirle á el, y la satisfaccion de proporcionar un bien á mi patria. Dn Jacinto Ramon que siempre ha dado pruebas de buen patricio á favor de los inventos útiles al pais, resolvió des de luego emprender la deseada obra. A este efecto puso á mi disposicion los mejores artistas de varios ramos que se necesitaban paraque yo los dirigiese en la execucion de mis ideas. En cosa de un año estuvo realizada la maquina de vapor de un modo no visto, con supresion de varias balbulas que antes se habían considerado necesarias de las que entonces se conocian; y con variaciones y simplificaciones tan notables, que la constituyeron en la clase de maquina original.

Se aplicó su movimiento á las muchas maquinas de cardar, y de hilar algodón que había en el primero y segundo alto de aquella fabrica, y se iba á aplicar á otras faenas. Pero aquí fue ya la admiración universal, todo Barcelona acudia á ver aquel nuevo fenómeno de la estatica pneumatica; el capitán general, el Sor Obispo, y el caballero Intendente también quisieron ser admiradores de aquella novedad. Y este ultimo creyó que era de su obligacion poner en noticia de S.M. lo útil de este descubrimiento, y lo verificó teniendo por incalculables los beneficios que del tal invento podrían seguirse á la industria española.

S. Magd. en vista de la exposicion del Cab<sup>o</sup> Intendente se dignó mandarme que extendiese una memoria detallada de mi invencion de la bomba de vapor aplicable á las Fabricas, y que se la remitiese; en la inteligencia de que había resuelto mandarla imprimir en su Imprenta Real, y



circularla de su orden á los consulados de comercio, para distribuirla á las principales Fabricas de España.

Recibida dicha Real Orden empleé poco mas de medio año en la composicion de la memoria, y en la execucion de los finisimos dibuxos para las laminas que debian acompañarla formando junto un tomo en 4º de marca mayor mui abultado; la pasé concluida y primorosamente encuadernada al Caballero Intendente, quien la dirigió á S.M. por la via de hacienda: segun noticias baxo de orden del Rey á la imprenta Real para la impresión, y se estaban grabando las laminas. En esta ocasion entraron los franceses á Madrid, y con esta novedad se interrumpió este trabaxo, la Nacion española quedó privada de este beneficio que S.M. le proporcionaba con la publicación de esta obra, y yo sin la satisfaccion de ver sazonado el fruto de mis muchos desvelos.

Es posible que los franceses se llevasen de la Imprenta Real el original de esta producción literaria; es también posible que la maquina de vapor que se ha executado en Rusia sea hija de la nuestra, es igualmente que se encuentre en las oficinas de Imprenta Real. No me es dable(¿) enviar a v.e. copia de la RI Orden con que se mandó imprimir y circular mi disertación, porque después de la ausencia de seis años que hize de esta capital mientras permanecieron en ella los franceses, no la encuentro entre los papeles que se han salvado, pero he encontrado entre los mismos dos copias que tengo el honor de remitir a v.e. originales, una del oficio con que dirigí al Intendente la consabida memoria, y otra de la carta con que la acompañé al Sor Ministro de hacienda. Con presencia del adjunto borrador de la portada de dicha memoria, podría acaso encontrarse su original en la Real Imprenta.

La maquina de vapor de la Fabrica de Indianas de Dn Jacinto Ramon está existente, actualmente no está en exercicio por motivo de las circunstancias consequentes á la pasada guerra, y por lo caro del combustible en esta ciudad, cuyo grande consumo de leña ha alexado los bosques. Antes de la guerra se abastecia del carbon de piedra que trahian por lastre los Ingleses y lo vendían á precio bastante comodo, al presente no hay esta proporcion, porque no estando en vigor el comercio falta aquel trafico de los Ingleses. Sin embargo la Real Junta de Comercio de esta Principado, que siempre se desvela en fomentar todo lo útil, ha encontrado por medio de uno de sus comisionados, una mina de carbon de piedra que puede traer mucha utilidad á nuestras fabricas.

Si he sido molesto en causar la atención de v.e., interrumpiendo sus serias y utiles tareas, me ha animado á ello el ver á v.e. bien penetrado de lo mui interesante que es el invento de que se trata, y de las utilidades que de el pueden resultar á la industria española, y á la Agricultura facilitando aguas y riegos y la construccion de canales y puertos ahorrando infinitos brazos.

Esta ocasion me ha proporcionado ofrecer á v.e. mis servicios, asegurándose que soi de v.e. el mas seguro afectuoso servidor, que ruega a Dios que la vida de v.e. ms as y B.S.M = exmo sor.

Fran<sup>co</sup> Sanpons = Exmo Sor Dn Pedro Cevallos(¿)

En 17 Obre 1815

## **ANNEX V: Resum de la ponència presentada a les XVII Jornades sobre la Història de la Ciència i l'Ensenyament.**

En aquestes Jornades es va presentar el projecte educatiu en el que els alumnes del Cicle Formatiu de Mecànica de l'Institut Esteve Terradas de Cornellà de Llobregat van reproduït a escala tres elements de la màquina de vapor de Francesc Santponç: el cilindre i el pistó, el registre de la màquina i els engranatges. Van ser dirigits pels seus tutors Àngel Carazo Garcia i Maria Montava Gadea. Les tres maquetes han sigut mereixedores de tres primers premis Bonaplata Joves concedits per l'Associació del Museu Nacional de la Ciència i la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya (AMCTAIC).



## **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 «Francesc Santponç i Roca»  
Universitat Politècnica de Catalunya.

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

Educational Project: Scale reproduction of three elements of the steam machine designed by Francesc Santponç i Roca.

*Summary: In this work we present the results of an educational project that lasted 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 following the Mechanical Manufacturing Training Curs. Two other goals of the project were the introduction of History of Science and Technology into the educational curriculum, and the delivery of each model together with a report at the annual Bonaplata Joves awards. In this paper we explain the didactic sequence we designed and the mechanization of the three models that were constructed. The three models have been awarded three Bonaplata Joves first prizes by the Association of the National Museum of Science and Technology and Industrial Archeology of Catalonia (AMCTAIC). The conclusions of this communication are a summary of all the goals achieved.*

*Key words: Educational project, steam engine of XIX century, 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 que es va desenvolupar foren 2015-16, 2016-17 i 2017-18. 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 Angel Carazo Garcia, professor del centre, que impartia varies assignatures. I Maria Montava Gadea, professora de matemàtiques en educació secundària i estudiant de doctorat en Història de la Ciència i la Tècnica; el seu 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 s'elegien un màxim de cinc alumnes que serien els responsables de què el projecte anés endavant.

Podia implicar-se qualsevol alumne que estigués inscrit al Cicle de Fabricació Mecànica i que fos alumne del professor Angel Carazo, qui havia de tutoritzar el procés. 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 dels que parlarem, amb major profunditat, a l'apartat 3.3 d'aquesta comunicació.

El segon eix el podem anomenar *eix històric-tecnològic* que va ser l'eix des del que 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 a una memòria descriptiva. Aquests premis anuals són atorgats pel *Museu de la Ciència i de la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya* amb l'objectiu d'aquests premis és 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 els tres anys consecutius. Aquesta circumstància va donar una motivació extra i una predisposició de l'alumnat del centre a la participació en el projecte del següent any.

### **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 es seguien els següents passos per a la realització del projecte.

#### *Estudi de la peça a reproduir*

Francesc Santponç va escriure una memòria sobre el procés de construcció de la seva màquina en la que va incloure els plànols de la màquina amb la finalitat de donar a conèixer el seu disseny per poder ser reproduïda. La identificació d'aquesta memòria, manuscrita per Santponç, a la biblioteca de Foment del Treball ens ha facilitat uns plànols de la màquina molt ben acabats. Ja es coneixia un esborrany d'aquesta memòria que va ser transcrita per Jaume Agustí Cullell l'any 1983 i publicada sense plànols (Agustí, 1983: 140-183)

Es mostrava als alumnes el plànol de la peça que anava a ser mecanitzada a escala. D'aquesta manera, s'emprava la Història de la Ciència per construir un projecte educatiu en el que els estudiants aprendrien com havien evolucionat les tècniques d'una professió que estaven aprenent.

#### *Decisió de l'escala de la maqueta i realització dels plànols*

Una vegada coneguda i estudiada la peça la primera decisió que calia prendre era l'escala a la que es construiria la maqueta. El material disponible en el taller i les dimensions de la peça a reproduir eren les que havien de marcar la decisió sobre la seva escala. Els alumnes havien de reflexionar sobre les opcions que tenien i argumentar bé la decisió presa.

Una vegada estava clara l'escala a la que es construiria la peça calia fer els plànols de cadascuna de les seves parts (vegeu fig. 1). Els tres programes disponibles al centre educatiu per fer els plànols foren Autocat versió 2014, *Illustrator CC* i *Inventor*. Els alumnes del cicle mitjà varen requerir, durant el projecte, aprendre a utilitzar les funcions bàsiques dels programes.

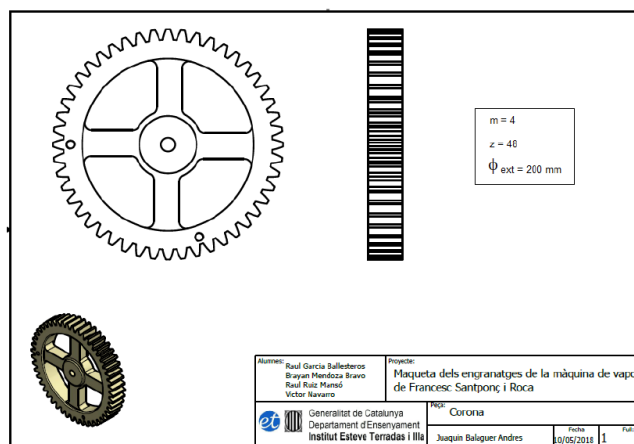


FIGURA 1. Plànol de la corona dels engranatges de la màquina de Santponç realitzat amb el programa Autocat.

### *Mecanització de la maqueta i assoliment del currículum educatiu*

Aquest pas de la seqüència didàctica, junt a la realització dels plànols de la peça, constituïa la part del projecte en la que 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.

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 la habitual utilització de roba i calçat d'acord amb les mesures de seguretat i protecció. Així com el tractament adequat de residus per al seu reciclatge.

### *Mecanització per arrencament de ferritja i decisió dels processos de mecanització*

Les dues màquines-eina que utilitzaren els alumnes per la mecanització de les peces foren la fresadora i el torn universal. Per els 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 amb elles.

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 l'ajust de peces.

Tots els processos requerien de molta precisió; tant els més senzills com els més complicats. Entre els 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 rutil 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 del 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 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 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; se'n parlà de les dificultats del projecte i de les resolucions que es varen adoptar al apartats 4, 5 i 6 d'aquest treball, en els que 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 èxit 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 cada maqueta. Consistiren en una descripció de la màquina de vapor i de forma més específica la part de la màquina que anava a ser mecanitzada.

S'inclouen 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 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 l'època de Santponç podeu consultar (Montava, 2014; 39-45).

### *Cilindre i el pistó*

Les dimensions de la maqueta del cilindre i el pistó vingueren determinades pel material del que 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 planols dibuixats per Santponç no presentaven cap mesura i no podiem saber les mesures de la màquina de Santponç. Per resoldre aquest escoll decidirem fer la maqueta en proporció als planols dibuixats per Santponç. Tenint en compte que el diàmetre interior del cilindre del planols de Santponç era de 20 mm l'escala de la maqueta respecte els planols 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 0.05mm. Encara que podien haver fet ús d'una junta de PVC que hagués assegurat un ajust de molta precisió, es va decidir utilitzar cànem per al seu 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, 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, decidirem retocar el diàmetre de la tapa anterior per a què la tija pogués passar sense dificultat i amb un ajust òptim.

Santponç va dissenyar la tapa posterior del cilindre amb un pla inclinat per a que l'aigua que es condensava a l'interior del cilindre tingués una sortida fàcil per el 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 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 un 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 de 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 per els registres provocava parades en la producció tèxtil segons testimonis escrits de l'època. (Robinson, Musson: 1969)

El registre de Santponç té un disseny molt diferent als de la seva època en consistir en un prisma de base hexagonal amb un pistó en forma de cilindre al seu interior. En el següent apartat s'explicarà amb més detall el seu 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 rotar 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. Altres dos dels conductes arribaven al condensador i els últims dos, estaven connectats a la caldera (vegeu fig. 2).

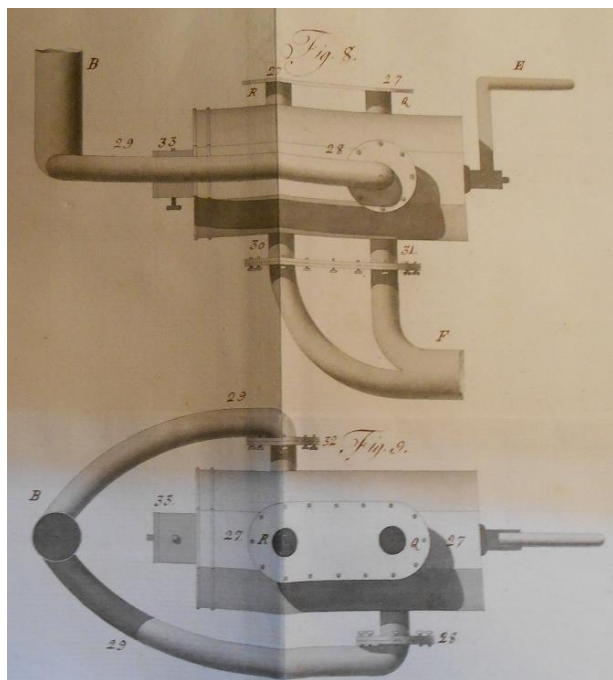


FIGURA 2. Registre de la màquina de Santponç dels plànols de la seva memòria

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 rotar 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 o sortir del cilindre de la màquina i del condensador.

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 per a què 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**

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 al girar la roda (o rodes)

motrius es produeix una transmissió exempta de rellicament. 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 pistó pera acoblar totes aquestes peces i donar una millor idea de la màquina de vapor sencera.

Els engranatges de la màquina de Santponç consisteixen en dues rodes o corones iguals amb 48 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 16 dents (vegeu fig. 3).

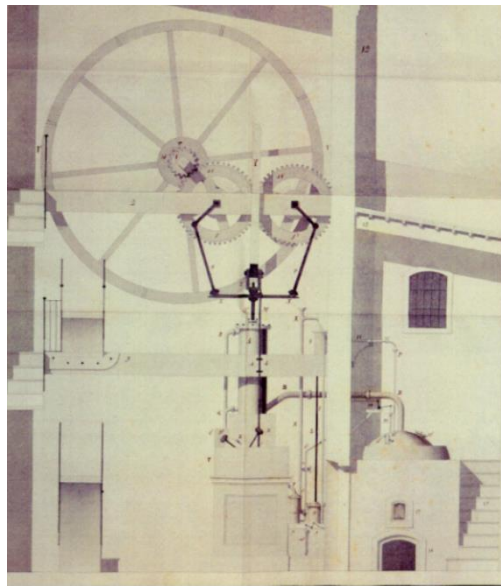


FIGURA 3. Plànol complet de la màquina de realitzat per Santponç on es veuen els engranatges, el pinyó i el volant d'inèrcia.

#### *Procés de construcció de les dues rodes dentades*

Com que havíem d'acoblar els engranatges amb la maqueta del pistó i 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 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 250 per les fresadores.

Per solucionar aquest inconvenient, decidirem dividir el diàmetre de les rodes entre dos. Això volia dir que a la maqueta, totes les mesures referents als engranatges serien la meitat que el que haurien de ser respecte 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 metal·lúrgic que col·laboren amb el centre en diversos programes, però tampoc trobarem cap fresa d'aquesta mida i la 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 nylon per construir les rodes dentades i el pinyó perquè en les instal·lacions les barres d'acer més grans eren de diàmetre 120 mm. El nylon 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 l'acer.

Voldríem destacar que, segons indica el currículum educatiu, en l'assignatura *Elements Mecànics* del cicle mitjà de Fabricació Mecànica, cal estudiar el càlcul d'engranatges però no la seva mecanització i muntatge que està programada 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 la ajuda del seu professor-tutor i alumnes del cicle superior que s'implicaren, no tingueren majors problemes per aconseguir-ho.

A partir del cilindre de nylon 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 figs. 4, 5 i 6).



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

S'utilitzà la fresadora universal per a distribuir les dents de forma equidistant al llarg del perímetre de les corones. Per a fer-ho s'utilitzà un divisor universal que disposa d'una maneta accionada per l'operari de forma que al girar-la 40 voltes, el plat on fixem la peça gira només una volta. Disposàvem de 3 jocs de plats normalitzats on es circumscrivien en cadascun d'ells 6 circumferències de forats equidistants que ens permeteren realitzar qualsevol tipus d'operacions. Com que havíem de mecanitzar 48 dents, que no és un número divisible per 40, necessitàrem utilitzar un dels plats amb forats circumscrits per a poder distribuir uniformement els 48 dents al voltant de les corones.

Respecte el pinyó de la màquina de Santponç, és una peça que compta amb 16 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 per el torn i la fresadora. Per tant, decidirem reduir-lo, igual que les rodes dentades, a la meitat respecte 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. Utilitzarem un compàs de corda per traçar les circumferències i un goniòmetre manual per traçar les finestres per al seu buidatge. Férem tots els talls traçats amb una caladora (vegeu fig. 7).



FIGURA 7. Mecanització del volant d'inèrcia amb caladora

#### *Mecanització de les bieles*

Aquestes peces són les úniques que guarden la proporció respecte el 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 a unir les bieles amb les rodes dentades i amb la biela horitzontal es varen utilitzar cargols allen de mètric 10 amb les seves femelles.

Per evitar l'oxidació, es va portar endavant un procés de pavonat 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 de projecte la nostra tutora va aportar una nova dada: el diàmetre interior real del cilindre de la màquina de Santponç. Aquesta dada, junt a altres mesures, es pot consultar a l'obra Jaume Agustí (Agustí, 1983: 134-137). Malauradament Agustí no cita la font d'aquestes notes, però ens va permetre donar una escala de les nostres maquetes respecte la màquina original. El diàmetre interior del cilindre de la màquina era, d'acord amb les mesures de l'època, 1 peu, 3 polzades i 3 línies que equival a 336,02 mm<sup>70</sup>.

<sup>70</sup> 1 peu són 12 polzades, 1 polzada són 25,4 mm i 1 línia són 1,94 mm.

Així, podem afirmar que l'escala de les maquetes del cilindre i pistó i dels engranatges respecte la màquina de Santponç ha sigut de 1:2,24 (vegeu figs. 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.

## 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 – 1806.

Les maquetes construïdes pels estudiants del Cicle 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 donar 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.

Cada any es va presentar la maqueta construïda junt a 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 muntatge de les peces de les maquetes, li ha permès aprofundir en el coneixement de la màquina i entendre millor el seu funcionament. Aquesta experiència a suposat per ella poder immersir-se en el context actual de tècniques mecàniques i ha suposat una important ajuda 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 partícips 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 meva tesi, el seu recolzament en la realització d'aquest projecte educatiu. I a la professora Maria Rosa Massa-Esteve per donar-me la oportunitat d'explicar aquesta experiència educativa en les XVII Jornades 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 hagués 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.

### **Bibliografia**

AGUSTÍ, Jaume (1983) *Ciència i Tècnica a la 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, Maria (2014) "Francesc Santponç i Roca i la màquina de Gensanne (1802?)", *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*. Barcelona, Centre de Recerca per a la Història de la Tècnica "Francesc Santponç i Roca". Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (UPC), vol XIV, 35-83.

PAYAN, J. (1969) *Capital et Machine à vapeur au XVIIIe siècle*. Ed. Mouton & Co. Paris.

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*. Barcelona, Centre de Recerca per a la Història de la Tècnica "Francesc Santponç i Roca". Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona (UPC), vol V, 27-58.

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

ROCA-ROSELL, A.; PUIG-PLA, C. (2010) “History of Technology: The Beginnings of Mechanical Engineering in Spain: The Contribution of Francesc Santponç i Roca (Barcelona, 1756-1821)”. *History of Technology*, vol. Thirty, 32-45.

SANTPONÇ, F. (1804-1806) “Noticia de una nueva bomba de fuego.”, mss, Biblioteca de Foment del Treball ,Barcelona, Transcrita per AGUSTÍ, Jaume (1983) del manuscrit de la família Santponç.