RECERCA JOVE

La farga catalana al riu Sénia: el procés tecnològic del molí del Martinet

Carles Abella Belinchón

Treball de recerca 2n Batxillerat
Tutor: Cosme Cruzado
Departament de Tecnologia
Curs 2011-2012
IES la Sénia

"La història del molí del Martinet és la història de les primeres iniciatives industrials i empresarials d'aquesta zona del nostre país, a cavall entre Catalunya, Aragó i el País Valencià."

1.- Introducció

L'energia hidràulica ha estat una de les fonts d'energia més importants al llarg dels temps. Les antigues civilitzacions es van desenvolupar a prop dels rius aprofitant-ne tots els avantatges, i els grans imperis, com per exemple els grecs, els romans o els musulmans han assolit un gran perfeccionament tecnològic en l'àmbit de l'energia hidràulica. És tan gran la importància d'aquest tipus d'energia que ha perdurat fins a la societat actual, on ha assolit un important nivell tecnològic. Aquest tipus d'energia també va tenir molta importància a Catalunya gràcies al gran nombre de rius que té, així que podríem parlar de l'energia fluvial a Catalunya. Aquí a la Sénia, també tenim un riu que ha estat la font d'evolució de la nostra indústria durant molts anys: la indústria paperera, els molins d'oli, de blat, molins fariners, fargues…

Un dels motius pels quals vaig decidir treballar aquest tema en el meu treball de recerca -del qual aquí presentem un resum- va ser la gran importància que va tenir la farga catalana a tot Catalunya com a procés productiu i, en concret, al riu Sénia. Així doncs, com que a la Sénia hi va haver més d'una farga o martinet vaig decidir fer el treball de recerca sobre aquest antic procés de transformació a les nostres terres, al nostre riu.

Un dels objectius principals del treball va ser intentar reconstruir el procés tecnològic del molí del Martinet a partir d'un seguit de càlculs. Cal dir que la desaparició gairebé total dels elements propis de la farga catalana del molí del Martinet va comportar la formulació d'hipòtesis de treball per comparació amb altres fargues les quals han conservat les seues estructures de forma íntegra.

2.- El molí del Martinet

La història del molí del Martinet és la història de les primeres iniciatives industrials i empresarials d'aquesta zona del nostre país, a cavall entre Catalunya, Aragó i el País Valencià. L'aprofitament de la força de l'aigua per al procés de la farga catalana i la seua reconversió a fàbrica de llum van fer possible el desenvolupament industrial de la zona i l'afavoriment d'un gran ventall d'indústries que aprofitaven l'energia que proporcionava el riu.



Maqueta del molí del Martinet, obra d'Alberto Marcoval. Foto: Carles Abella Belinchón



Façana del molí del Martinet. Foto: Eva Garcia Lleixà

El Martinet es troba dintre de la zona protegida del Parc Natural de la Tinença de Benifassà, als peus dels Ports de Beseit. Ha estat testimoni directe de les èpoques més convulses de la nostra història, amb les Guerres Carlines, la Guerra Civil... i va acollir moltes històries viscudes arran d'aquests importants esdeveniments.

La història del Martinet es remunta al segle XVIII. Cap al 1774 en tenim la primera constància escrita a través de l'escriptura de venda del Martinet i les terres que l'envolten. En aquells temps eren propietat de l'aleshores anomenat "Real Monasterio de Benifasar y lugares de la Tenenza", l'actual Convent de Benifassà. El document, que encara es conserva, és una copia de la escriptura, extreta de l'arxiu del Monestir, i parla de com un cop reunits l'Abat i tots els monjos a la Sala Capitular per ocasions com aquella:

"Damos a frendo perpetuo irredimible a favor se Juan Marcoval martinaire vecino de la villa de La Cenia del principado de Cataluña, para si y a su habiente derecho a saber una porcin de terreno contiguo al molino harinero que tiene el Monasterio a roca corba que linda con el rio y camino que pasa a La Cenia con las aguas que discuren por la acequia para la fábrica de un martinete que se ha de construir en dicho sitio..."

Aquest edifici va ser concebut inicialment com un molí, aprofitant l'energia hidràulica que proporcionava el riu Sénia. El nom de "martinet" ve perquè es tractava d'una forja en què hi havia un martinet que servia per treballar el ferro.

La mateixa escriptura descriu amb tot tipus de detalls com havia de ser l'estructura completa de la farga:

"...martinete de cuarenta palmos[1] *catalanes de largo, treinta y cinco de ancho y diez y ocho de alto. Para dicho Martinete se necesita una rueda de doce palmos de alto, de un arbol de veinte y cinco palmos de largo con dos palmos de corona."*

El Martinet va continuar sent de la família Marcoval, com així ho demostra el document de l'any 1811, amb el segell de l'època de la invasió de Napoleó, on el fill de Juan Marcoval va demanar copiar l'acord d'arrendament:

"Juan Marcoval martinaire vecino del lugar del Vallestar reino de Valencia ha comparecido ante mi requiriendome el buscara y sacara de las dichas notas y protocolo... que el Real Monasterio de Benifasar sus Religiosos Monacales otorgaron a favor del ahora difunto Juan Marcoval su padre en ocho de dcbre del año pasado mil stecientos setenta y tres el martinete o fàbrica de alambres..."

Després, amb el pas del temps i a causa de la seua situació geogràfica, el Martinet va ser testimoni de les Guerres Carlines. També hi ha constància que es va utilitzar durant aquestes guerres com a fàbrica de munició i es diu que en una nit s'hi va fabricar un canó per fer front a l'atac de les tropes liberals que anaven de camí cap a la conquesta de Morella.



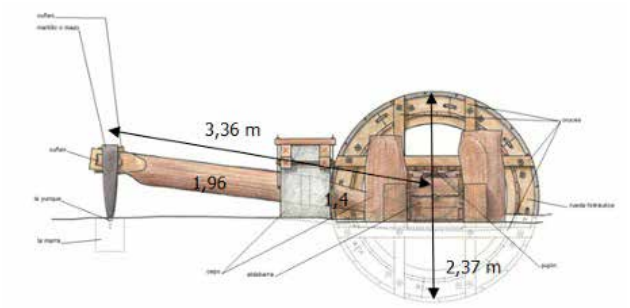
Detall dels forns del molí del Martinet, on no s'observa cap entrada d'aire de la trompa. Foto: Carles Abella Belinchón

2.1.- Composició del Martinet de la Sénia

El molí del Martinet de la Sénia tenia la composició bàsica d'un martinet. Estava format per dos forns, que tenien la funció d'escalfar el ferro/coure fins a una temperatura pròxima als 900 graus; d'aquesta manera el material estava en unes condicions òptimes per a ser treballat. No hi havia cap trompa que aportés constantment oxigen a la combustió del carbó; com a conseqüència, la temperatura dels forns no podia passar dels 900 graus. Després d'escalfar-se fins a una

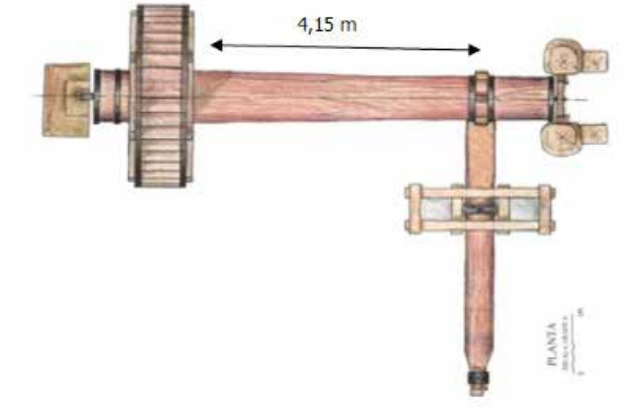
1 Un pam català equival a 0,197 m.

temperatura pròxima als 800-900 graus el material era traslladat al masser, on el mall el colpejava per a donar-li la forma desitjada. A diferència d'altres martinets, només hi havia un martell, format per un mall de 150 a 200 kg de pes, amb una longitud total de 3,36 m des del mall fins a la bóta. En aquesta part del martinet es pot apreciar perfectament un mecanisme de palanca, format pel mall (resistència), per la boga (fulcre) i la roda hidràulica, que proporcionaria la força.



Reconstrucció del martell del Martinet.
Font: Internet i elaboració pròpia

Teòricament el funcionament d'una palanca serveix per a fer menys força per a poder moure la resistència. Al Martinet, però, no es compleix aquesta relació ja que hi ha més distància del mall fins a la boga que de la boga a la bóta (on es transmet la força de la roda). Podem arribar a la conclusió que aquest mecanisme es va fabricar així per a poder elevar a més altura el mall i així obtenir més energia potencial, necessària per a deformar el material en caure.



La distància entre la bóta i la roda hidràulica era de 4,15 metres.
Font: Internet i elaboració pròpia

A causa de la mancança d'aquesta part d'informació, podem deduir que el Martinet estava alimentat amb una roda de calaixos, ja que la disposició respecte al riu impossibilitaria l'existència d'una roda de pales. Aquesta roda de calaixos tenia un diàmetre de 2,37 m i una amplada d'entre 20 i 50 cm. L'aigua era transportada per una canalització quadrangular que podia tenir entre 0,5 i 1,2 m de costat, amb un cabal regular. L'aigua queia sobre els calaixos de la roda, i tenia una energia potencial inicial, ja que estava elevada per sobre de la roda aproximadament uns 2 m, i al caure obtenia energia cinètica i velocitat. La pèrdua d'aquesta velocitat es transformava en energia aportada a les pales de la roda (conservació de l'energia mecànica) i d'aquesta forma la feia moure.

2.2.- Materials que es treballaven

Al molí del Martinet de la Sénia es treballaven dos materials, el ferro i el coure, per a poder produir objectes i eines. Compraven lingots de coure i ferro amb unes mesures i unes característiques estàndards i després els modelaven segons l'objecte que es volia aconseguir. Aquests lingots eren escalfats als forns fins a una temperatura pròxima als 900 graus. Un cop era escalfat, es portava al martinet i la força del mall colpejava repetidament el material fins a donar-li forma.

2.3.- Productes que es fabricaven al Martinet de la Sénia

Els productes que es fabricaven al Martinet de la Sénia eren: olles de coure, estris de cuina (ganivets, olles de ferro fetes amb motlle, etc.), espases, armes... Es pensa que la major part de producció van ser olles d'aram (coure batut), que es produïen amb aquest material ja que les característiques mecàniques del coure eren ideals per a produir olles. El coure es torna molt dur en ser colpejat repetidament (batre, coure batut) però recupera la seva ductilitat en ser recuit. Molts materials no tornen al seu estat natural després de ser escalfats a altes temperatures i posteriorment refredats.

3.- Comparació del procés general de la farga catalana amb el Martinet i la Fàbrica de Ferro de la Sénia

Generalment quan parlem de la farga catalana parlem del mètode per obtenir ferro directament del mineral. Dins de la farga, el martinet té dos funcions: fracturar la mena abans d'introduir-la al forn i forjar el metall obtingut per fabricar el producte desitjat (lingot, ferramenta, arma...). A la Sénia, però, hi ha una gran diferència respecte al procés general de la farga catalana. La diferència està que a la Sénia tenim dos edificis relacionats amb la farga, el molí del Martinet i la Fàbrica de Ferro.

El molí del Martinet de la Sénia no tenia la funció de fracturar la mena abans d'introduir-la al forn, sinó que simplement servia per a donar forma a base de cops produïts pel mall a un lingot de ferro/coure i així obtenir un producte. L'altra funció (fracturar la mena abans d'introduir-la al forn) es duia a terme a la Fàbrica de Ferro, on l'única funció era aquesta i així s'obtenia ferro a partir del mineral de limonita.

El molí del Martinet i la Fàbrica de Ferro van operar en èpoques similars i segur que les seves produccions van coincidir en el mateix moment. El que no sabem és si la Fàbrica de Ferro venia el ferro que fabricava al molí del Martinet perquè aquest el treballés i n'obtingués l'objecte desitjat, perquè no es té constància de si aquestes dos fargues tenien el mateix propietari. Podem dir que seria probable (per la seua proximitat) que el ferro de la Fàbrica del Ferro es portés o es vengués al Martinet, encara que no ho podem assegurar.

"Podem dir que seria probable (per la seua proximitat) que el ferro de la Fàbrica del Ferro es portés o es vengués al Martinet, encara que no ho podem assegurar."

4.- Comparació entre el molí del Martinet i la Fàbrica de Ferro

El Martinet i la Fàbrica de Ferro tenien funcions diferents, encara que a grans trets la seua estructura era semblant (martinet, roda hidràulica, forns...) hi ha una diferència a nivell tecnològic i també estructural. Primerament podem parlar de la producció de cadascun: del molí del Martinet s'obtenien béns de consum, productes elaborats i directament destinats a ser utilitzats. Per l'altra banda, la Fàbrica de Ferro produïa primera matèria, el ferro, que era venut i destinat a fabricar qualsevol objecte fet de ferro. Hem arribat a la conclusió que les mesures de l'edifici del molí del Martinet eren insuficients per dur a terme els dos processos (produir ferro i manufacturar-lo) i que només hi havia espai per a un martell. En canvi, a la Fàbrica de Ferro sí que es podia dur a terme la producció de ferro, ja que l'edifici era més gran.

Una altra dada important per a la comparació dels dos edificis són els seus forns. La Fàbrica de Ferro tenia forns típics d'una farga catalana, amb unes dimensions grans per a poder treballar grans quantitats de material (més de 300 kg de limonita i més de 300 kg de carbó), capaços d'assolir una temperatura superior als 1.000 graus gràcies a l'aportació constant d'oxigen a la combustió del carbó. D'aquesta forma el mineral de ferro (limonita) s'escalfava fins gairebé la temperatura de fusió i així podia ser treballat pel martinet on el mall colpejava la massa roent de ferro per eliminar-ne les escòries i obtenir una massa més o menys pura de ferro. A diferència de la Fàbrica de Ferro, el Martinet disposava de dos forns amb unes característiques molt diferents, perquè eren més petits i no treballaven amb quantitats tan grans de material; només havien d'escalfar els lingots de ferro/coure fins una temperatura de 800-900 graus. Els forns del Martinet no podien assolir una temperatura superior ja que no tenien cap trompa que aportés oxigen a la combustió.

El pes del mall i la seua freqüència de cops és un altra diferència clau entre el molí del Martinet i la Fàbrica de Ferro. El pes del mall de la Fàbrica de Ferro era superior al del Martinet, ja que a la primera el mall ha de treballar amb masses molt més grans de material (100 kg de ferro) i ha de colpejar-lo amb molta força per a poder eliminar les escòries del mineral. En canvi, el mall del Martinet era més lleuger, ja que treballava amb peces més petites (lingots) i simplement havia de donar forma a aquestes peces sense causar una deformació massa gran. Comparant-ho amb altres fargues podem dir que la freqüència de cops del mall del molí del Martinet era més gran que la Fàbrica de Ferro, ja que el mall havia de colpejar moltes vegades el material per donar-li forma, eren cops amb menys energia però més repetits. En canvi, el mall de la Fàbrica de Ferro tenia una freqüència més petita ja que havia de colpejar amb molta força els grans blocs de ferro, però deixant el temps suficient per anar adequant la massa de ferro segons s'anaven eliminant les escòries.

5.- Reconstrucció de la tecnologia emprada al molí del Martinet

La reconstrucció tecnològica del molí del Martinet està basada en la suposició i comparació amb dades d'altres fargues, a causa de la desaparició de molts dels elements propis del molí del Martinet. La suposició d'algunes dades, com el pes del mall, el cabal, etc. respecten els límits possibles de l'estructura del Martinet. Tot i que la recreació que he fet sobre l'estructura del molí del Martinet no sigui exacta a l'original, està dins dels límits del possible.

"La reconstrucció tecnològica del molí del Martinet està basada en la suposició i comparació amb dades d'altres fargues, a causa de la desaparició de molts dels elements propis del molí del Martinet."

5.1.- Anàlisi full de càlcul

He elaborat un full de càlcul per obtenir la potència que proporcionava la roda hidràulica, la potència útil al mall i la capacitat de deformació del metall, i d'aquesta manera veure les variacions de la potència de la roda hidràulica en funció del cabal i la velocitat angular, la possibilitat d'aixecar el mall segons la potència que arriba i el temps de cada cop i així, finalment, veure la deformació del metall en funció de la superfície de contacte del mall en el metall.

5.1.1.- Potència de la roda hidràulica

Dades:

	A	B	C
1	h	3,20	m
2	n	30	min-1
3	w	3,14	rad/s
4	Dens. Aig	1000,00	kg/m3
5	g	9,81	m/s2
6	Radi roda	1,20	m
7	v	3,77	m/s

Dades de la potència de la roda hidràulica. Font: Elaboració pròpia

En aquest quadre, hi ha expressades un seguit de dades relacionades amb els càlculs del molí del Martinet que serveixen per poder dur a terme un full de càlcul. La primera fila ens indica l'altura en metres que hi ha entre el canalet que transporta l'aigua i el punt de la roda on l'aigua xoca amb les pales. La segona fila ens indica la velocitat de la roda hidràulica en rpm, revolucions per minut. He pres 3 valors de la velocitat angular de la roda, 30 rpm, 28 rpm i 26 rpm. La tercera fila és una conversió a rad/s de la velocitat de la roda. A la quarta hi ha expressada la densitat de l'aigua en kg/m^3. La cinquena fila correspon a l'acceleració de la gravetat terrestre expressada en m/s^2. La penúltima fila ens indica el radi de la roda i, per acabar, la velocitat lineal de la roda que és una relació entre el radi de la roda i la velocitat angular d'aquesta, o sigui una multiplicació entre la fila 3 i la 6.

Càlculs:

F	G	H	I	J	K
Cabal (m3/s)	Potència entrada (W)	Potència sortida(W)	Rendiment RODA	Potència eix, útil (E-S)	Parell eix (N·m)
0,200	6278,400	1419,782	0,300	1457,585	464,199
0,210	6592,320	1490,772	0,300	1530,465	487,409
0,220	6906,240	1561,761	0,300	1603,344	510,619
0,230	7220,160	1632,750	0,300	1676,223	533,829
0,240	7534,080	1703,739	0,300	1749,102	557,039
0,250	7848,000	1774,728	0,300	1821,982	580,249
0,260	8161,920	1845,717	0,300	1894,861	603,459
0,270	8475,840	1916,706	0,300	1967,740	626,669
0,280	8789,760	1987,695	0,300	2040,619	649,879
0,290	9103,680	2058,684	0,300	2113,499	673,089
0,300	9417,600	2129,674	0,300	2186,378	696,299

Càlculs de la potència de la roda hidràulica. Font: Elaboració pròpia

A la primera columna del full de càlcul, hi ha expressats els diferents cabals en m^3/s, les dades varien des d'un mínim de 0,2 m^3/s fins a 0,3 m^3/s (0,2 m^3/s equivalen a 200 l/s o sigui 200 litres cada segon). Aquesta és una dada clau en els càlculs, ja que si variem el cabal també varia la potència d'entrada i el parell[2]. El possible cabal que arribava a la roda hidràulica estava proper als 0,25-0,26 m^3/s. A la segona columna hi ha la potència d'entrada en Watts. A la columna H hi ha la potència de sortida en W; aquesta varia en funció de la velocitat angular de la roda. He suposat un rendiment permanent de la roda del 30%, o sigui que només s'aprofita un 30% de la potència. La penúltima columna (J) expressa la potència útil de la roda, que és la potència d'entrada menys la potència de sortida multiplicada pel rendiment de la roda (30%). Per finalitzar, a la columna K hi ha el parell de la roda que relaciona la potència amb la velocitat angular de la roda. El parell és igual a la divisió de la potència amb la velocitat angular; així que si augmentem la velocitat, el parell disminuirà i si augmentem la potència, el parell augmentarà.

Procediment del càlcul:

El primer pas per a la reconstrucció del molí del Martinet és analitzar tot el conjunt de dades i extraure'n un seguit de conclusions que ens en facilitin la reconstrucció. Primer de tot, cal veure la potència disponible en l'aigua i les corresponents mesures del martinet. L'aigua circula pel canalet fins que cau al damunt de la roda hidràulica. La distància entre el canalet i el contacte amb la roda és de 2 m. L'aigua fa girar la roda i l'abandona per la part inferior; considerem aquesta alçada el radi de la roda: 1,2 m. La velocitat de l'aigua al canal es perd, perquè va en sentit horitzontal i la caiguda és en vertical, així que només considerem l'energia potencial que té l'aigua al caure i no la cinètica de quan circula pel canalet.

La roda hidràulica rep una potència hidràulica igual a: *P = densitat x gravetat x altura x cabal.* La densitat serà la de l'aigua, 1.000 kg/m^3, la gravetat té un valor de 9,81 m/s^2 i l'altura serà la suma dels 2 m més els 1,2 m. Aquestes 3 dades seran constants en qualsevol situació, la dada que varia serà el cabal. La potència variarà en funció del cabal, com podem observar a la columna G de la taula on figuren les diferents potències en funció del cabal de la columna F. Observem que si tenim un cabal més petit la potència d'entrada també serà més petita.

2 *parell de forces*: Sistema constituït per dues forces d'igual mòdul, paral·leles i de sentit contrari i tals que les rectes d'aplicació no són coincidents (Diccionari de la llengua catalana. Institut d'Estudis Catalans)

Un cop l'aigua ha caigut del canalet a la roda i s'ha frenat xocant contra els seus calaixos, cal que l'aigua pugui sortir de la roda. Llavors l'aigua té una energia cinètica romanent en sortir de la roda. Com a mínim tindrà la velocitat tangencial de la roda. Si la roda gira a 30 rpm, obtenim la velocitat lineal de la roda a partir del radi i la velocitat angular. 30 rpm equivalen a π rad/s. Com que el radi de la roda és igual a 1,2 m, la velocitat ineal de la roda és igual a:

$$V = \omega \times r$$

Si substituïm les dades obtenim :

$$V = \Pi \times 1{,}2 = 3{,}77 m/s$$

Aquest resultat variarà només en funció de les voltes per minut de la roda hidràulica.

La potència de l'aigua al sortir de la roda serà:

$$\mathrm{Ps} = 1/2 \times \mathrm{densitat} \times \mathrm{v2} \times Q$$

La potència de sortida de la roda és la potència que no es pot aprofitar i que variarà en funció del cabal, com hem explicat abans, i de la velocitat angular de la roda hidràulica.

Es pot observar a partir de les taules que si la velocitat angular de la roda és més petita, hi haurà menys pèrdues d'energia. El cabal també és una dada que influeix en la potència de sortida, però també intervé en la potència d'entrada; així que el factor determinant en la variació de l'energia perduda és la velocitat de la roda.

La potència disponible per a la roda serà l'energia potencial inicial de l'aigua menys l'energia cinètica de sortida:

$$P.út = P.entrada - P.sortida$$

Aquest valor varia en funció del cabal i de la velocitat de la roda. Si augmenta el cabal, la potència també ho fa i si la velocitat angular de la roda augmenta, la potència i el parell disminueixen.

A aquesta potència útil s'hi haurà d'aplicar un rendiment. El rendiment d'una roda de calaixos pot ser inferior al 30%. Suposem per fer els càlculs un 30%, així que la potència útil que hi ha a la roda haurà de ser reduïda en un 70%, només el 30% podrà ser utilitzada. Això és deu a diferents factors, al fregament que hi ha en l'eix, pèrdues d'aigua...

Un cop establim la potència real que ens proporciona la roda a l'eix, es pot obtenir el parell a l'eix.

El parell és igual a la potència dividida per la velocitat angular de la roda:

$$\Pi = P / \omega$$

El parell variarà en cada cas, depenent de la potència disponible i la velocitat de la roda.

5.1.2.- Potència aplicada al mall

Dades:

	A	B	C
1	**Massa mall**	**200**	**kg**
2	**Pes mall**	**1962**	**N**
3	**H.mall-terra**	**0,15**	**m**
4	**velocitat angular roda**	**30**	**min-1**
5	**voltes roda per segon**	**0,5**	
6	**g**	**9,81**	**m/s2**
7	**1min**	**60**	**s**
8	**rendiment sistema**	**0,5**	

Dades de la potència aplicada al mall. Font: Elaboració pròpia

En aquest quadre de càlcul hi ha expressades un seguit de dades relacionades amb els càlculs del molí del Martinet que serveixen per poder dur a terme un full de càlcul. La primera i segona fila corresponen a la massa i el pes del mall. Com que el pes d'aquest pot variar molt dependent de la seua funció, he suposat un pes de 200 kg. Aquest pes està deduït a partir de l'anàlisi i comparació del molí del Martinet amb altres fargues. La tercera fila correspon a l'altura que hi ha entre la punta del mall i el contacte amb el material. La quarta fila ens indica la velocitat angular del molí del Martinet. La quinta expressa el nombre de voltes per segon que fa la roda hidràulica a una velocitat angular de 30 min^{-1}. A la sisena fila hi ha la gravetat de la terra en m/s^2. La penúltima fila ens indica l'equivalència entre minuts i segons. Per finalitzar, a la vuitena fila hi ha el rendiment total del procés.

Càlculs:

E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
n. palmes	cops per segon	temps per cop	ep (J)	temps cainet	temps pujada	temps descansans	p. mínim per aixecar el mall (w)	Rendiment procés	Potència roca hidráulica (W)	Potència útil al mall (W)	P. pujada a l'eix del mall	p. pujada 2g (W)
1,0	0,5	2,000	294,300	0,175	0,175	1,650	1682,676	0,500	1845,000	922,500	10548,885	3365,35
2,0	1,0	1,000	294,300	0,175	0,175	0,650	1682,676	0,500	1845,000	922,500	5274,443	3365,35
3,0	1,5	0,667	294,300	0,175	0,175	0,317	1682,676	0,500	1845,000	922,500	3516,295	3365,35
4,0	2,0	0,500	294,300	0,175	0,175	0,150	1682,676	0,500	1845,000	922,500	2637,221	3365,35
5,0	2,5	0,400	294,300	0,175	0,175	0,050	1682,676	0,500	1845,000	922,500	2109,777	3365,35
6,0	3,0	0,333	294,300	0,175	0,175	-0,016	1682,676	0,500	1845,000	922,500	1758,148	3365,35

Càlculs de la potència aplicada al mall. Font: Elaboració pròpia

La columna E expressa el nombre de palmes que hi ha a la corona. Si hi ha una sola palma només farà un cop cada volta de la roda; si n'hi ha dos, el mall farà dos cops per volta, i així successivament. La columna F fa referència al nombre de cops per segon que fa el mall, que augmentarà si augmentem la velocitat angular de la roda o si augmentem el nombre de palmes. El temps que s'empra en cada cop està expressat a la columna G. Si el mall fa més cops per segon, el temps en cada

cop es reduirà, en canvi si el número de cops per segon és baix el temps en cada cop serà alt. A la columna H s'expressa l'energia que té el mall a 0,15 m d'altura; sempre serà la mateixa ja que el pes del mall no varia. També serà el mateix el temps de caiguda del mall en la columna I. A la columna J hi ha el temps de pujada del mall fins els 0,15 m en cada cop. En un principi suposo que el temps de caiguda és igual al temps de pujada del mall. A la columna K s'expressa el temps de descans del mall. Aquest és igual a la resta del temps de cada cop menys el temps de pujada i menys el temps de baixada. A la columna L s'estableix la potència mínima per a poder aixecar el mall, que és igual a l'energia que fa falta per aixecar el mall dividida entre el temps de pujada. Si la potència que subministrem al mall és inferior a aquesta, mai podrà pujar. El rendiment del sistema és igual al 50% i està expressat a la columna M. Prenem una potència concreta de la roda hidràulica, 1.845 W, equivalent a un cabal de 0,26 m^3/s i una velocitat angular de 30 voltes/min. Aquesta potència està expressada a la columna N. La potència que subministrava la roda variava en funció del cabal i de la velocitat angular. Segons el cabal, la potència disponible anava des d'un mínim de 1.450 W fins a un màxim de 2.150 W. Encara que en aquesta taula he pres un valor exacte, ja que el cabal del molí del Martinet era pròxim als 0,24-0,26 m^3/s, tindré en compte tots els valors de la potència a l'hora de fer els càlculs i les conclusions. A la columna O hi ha la potència útil al mall, és a dir el 50% d'aquests 1.845 W que ens proporcionava la roda hidràulica. La potència de pujada a l'eix ens indica la potència que realment s'està aplicant de l'eix al mall, ja que la potència útil de 922 W només s'utilitza durant 0,175 s (el temps que tarda a pujar el mall), així que realment estem subministrant una potència de 922 W durant 0,175 s i així obtenim una potència superior a la mínima per a poder aixecar el mall. A l'última columna, Q, s'expressa la potència real que necessita el mall per a pujar a la mateixa velocitat amb què baixa, la potència necessària serà el doble que la potència mínima, ja que estem pujant un cos a una acceleració igual a la gravetat així que a l'hora de fer els càlculs prenem 2 cops la gravetat de la terra.

Procediment de càlcul:

Amb aquest full de càlcul s'ha de demostrar si la potència que subministra la roda hidràulica és suficient per a poder aixecar el mall. El mall requereix una energia al ser aixecat a una altura de 0,15 m. *E = m x g x h*, l'energia que requereix el mall per a ser aixecat és igual a la massa del mall per la gravetat per l'altura. Aquest valor serà constant, així que obtenim un valor igual a: *E = 200 x 9,81 x 0,15 = 294,3 J*. Si la roda fa 30 rpm, tarda 2 s a fer una volta, en una volta ha d'aixecar el mall 4 cops. Així que cada cop el fa en 0,5 s, per tant 2 cops cada segon. Dins el temps de cada cop (0,5 s) una part del temps està caient i l'altra part del temps està pujant. El temps de caiguda lliure del mall des de 0,15 m, sense la inèrcia del mànec, solament pel que fa al mall, seria:

$$E = {}^{1}\!/_{2}\, g \times t^2$$

És a dir, tarda 0,17 s a caure, que serà una mica més per culpa del mànec. Si assumim que tarda 0,17 s a pujar, i descansa a baix la resta fins a 0,5 s, el temps de descans serà igual a: 0,5-0,17-0,17 = 0,16 s. Si tarda 0,17 s a pujar i guanyar una energia de 294,3 J, la potència punta del sistema d'elevació ha de ser:

$$P = {}^{E}\!/_{T} = {}^{294{,}30}\!/_{0{,}175} = 1682W$$

A l'eix de la roda disposaven d'entre 1.400 i 2.000 W continus, sense pauses. Entre la roda i el mall hi ha un mecanisme que té unes pèrdues. El rendiment és del 50%. Queden disponibles al mall procedents de la roda entre 700 i 1.000 W. Sembla que amb això no podríem aixecar el mall, ja que es necessiten 1.682 W. Però la clau està que la roda fa arribar a l'extrem entre 700 i 1.000 W contínuament mentre que el mall en necessita només 1.682 W durant 0,17 s en cada cop, o sigui durant 0,17 s dels 0,5 s. La roda i tot el mecanisme s'acceleren mentre no aixeca el mall i acumula energia que allibera mentre eleva el mall. L'energia final útil que arriba al mall és d'entre 700 a 1.000 W durant 0,5 s, és a dir, entre 350 i 500 J en cada cicle, i el mall necessita 294,3 J per elevar-se. És a dir, cal una potència punta de 1.682 W durant 0,17 s que surten dels 700-1.000 W procedents de la roda durant 0,5 s.

$P.mall = {}^{E}\!/_{T}$ obtenim una potència entre 2.060 i 2.940 W. Llavors, tenim una potència suficient per a poder aixecar el mall.

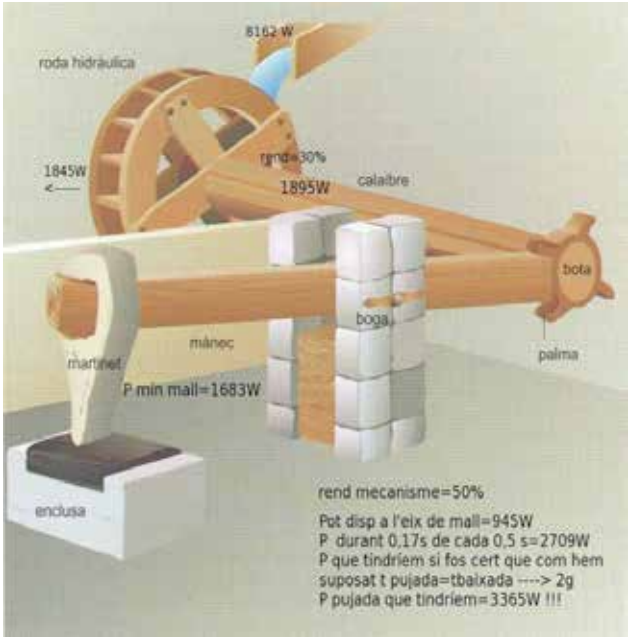
Un altre punt clau en els càlculs és que si el mall cau amb una acceleració igual a la gravetat (9,81 m/s^2) i el mall s'ha d'elevar en el mateix temps que cau, necessita el doble de força que la gravetat, és a dir, una força igual a: *F = m x g x 2*.

"La roda i tot el mecanisme s'acceleren mentre no aixeca el mall i acumula energia que allibera mentre eleva el mall."

Estrictament, necessitaria una potència útil igual a: *P = (m x g x 2 x h) /* 0,17 = 3458 W, és a dir, el doble de la potència anterior que he anomenat mínima (1.682 W). Amb aquesta energia, el temps a aconseguir elevar el mall seria molt gran. Amb el doble de potència, tardaria el mateix a pujar que a caure. Això darrer no és gaire problema, perquè he comptat que el

mall descansa 0,16 s. Això solament vol dir que el mall s'elevarà més lentament i descansarà menys temps, segons la potència disponible en la roda. El temps màxim de pujada del mall si aquest copeja 2 cops/s seria de 0,32 s, el temps de descans seria 0 i el temps de baixada seria igual a 0,17, així que es pot aixecar el mall amb una potència d'entre 2.060 i 2.940 W; el que variarà serà el temps de pujada. Per sota de la potència mínima, el mall no s'aixecaria mai, així que si la potència que subministra la roda és inferior a 1.200 W serà impossible aixecar el mall.

Aquests càlculs són fets amb una velocitat angular de la roda de 30 min^{-1} i amb una freqüència de 2 cops/s. Si augmentem el nombre de cops per segon a més de 3, serà impossible aixecar el mall ja que el temps en cada cop seria de 0,33 s i hem calculat que el temps de baixada és estrictament de 0,17 s i el temps de pujada no pot ser més petit, ja que no tenim potència suficient. Amb una simple resta es pot veure que és impossible que es pugui aixecar el mall.



5.1.3.- Capacitat de deformació del metall

Dades:

	A	B	C
1	**Energia potencial (J)**	**294,3**	
2	**gruix**	**3**	**mm**
3	**límit elàstic**	**140**	**Mpa**
4	**mòdul elasticitat**	**90000**	**Mpa**
5	**Límit ruptura**	**140**	**Mpa**

Dades de la capacitat de deformació del metall. Font: Elaboració pròpia

"Els càlculs s'ha de dir que engloben aspectes tècnics més complicats com poden ser el límit elàstic, deformacions plàstiques i elàstiques del materials..."

En aquest quadre de càlcul hi ha expressades un seguit de dades relacionades amb els càlculs del molí del Martinet que serveixen per poder dur a terme un full de càlcul. La primera fila expressa l'energia potencial que té el mall a 0,15 m d'altura, tal com he descrit en els càlculs anteriors. A la segona fila hi ha el gruix de la peça de coure que es vol manufacturar: he pres un valor de 3 mil·límetres de gruix. El límit elàstic del coure està expressat a la tercera fila i és equivalent a 140 MPa (megapascals). A la penúltima fila hi ha el mòdul elàstic del coure i, per finalitzar, el límit de ruptura del coure; he suposat un valor pròxim al límit elàstic així que també té un valor de 140 MPa. Cal recordar que la massa del mall és de 200 kg, tal com s'ha descrit en els càlculs anteriors.

Càlculs:

D	E	F	G	H	I	J
amplada mall (cm)	llargària mall (cm)	superfície mall (m2)	força impacte mall (N)	penetració mall (mm)	gruix final (mm)	
3	1	0,0003	42000	7,01	-4,00714	Talla
3	2	0,0006	84000	3,50	-0,50357	Talla
3	2,5	0,00075	105000	2,80	0,19714	Deforma
3	3	0,0009	126000	2,34	0,66429	Deforma
4	3	0,0012	168000	1,75	1,24821	Deforma
4	4	0,0016	224000	1,31	1,68616	Deforma
5	4	0,002	260000	1,05	1,94893	Deforma
5	5	0,0025	350000	0,84	2,15914	Deforma
5	6	0,003	420000	0,70	2,41607	Deforma
6	6	0,0036	504000	0,58	2,41607	Deforma
6	7	0,0042	588000	0,50	2,49949	Deforma
20	10	0,02	2800000	0,11	2,89489	Deforma

Càlculs sobre de la capacitat de deformació del metall. Font: Elaboració pròpia

A la primera i segona columna hi ha l'amplada i la llargària de la punta del mall, aquesta és la que entra en contacte amb la peça que volem treballar, la superfície de contacte del mall està expressada a la columna F en m^2. La columna G indica la força que fa el mall sobre el material que es vol treballar. La força és igual a la pressió per la superfície i també és igual al límit elàstic per la superfície. La columna H expressa els mil·límetres que el mall entra en la peça que s'està treballant. Com que la peça té un gruix de 3 mm, tota deformació superior a aquests 3 mm farà que la peça es trenqui per la meitat; això està indicat a l'última columna, la I. Com podem observar a les dos primeres files, el mall trencaria per la meitat la peça de coure. En canvi, la resta simplement la deformaria en cada cop depenent de la superfície del mall: contra més superfície, menys deformació causarem. Cal recordar que la massa del mall és de 200 kg tal com s'ha descrit en els càlculs anteriors.

Procediment de càlcul:
Abans de començar amb els càlculs s'ha de dir que engloben aspectes tècnics més complicats com poden ser el límit elàstic, deformacions plàstiques i elàstiques del materials... això dificulta poder entendre els diferents càlculs a una persona que no té aquests coneixements previs.

Per començar, es pren l'energia disponible pel mall a una altura de 0,15 m que és igual a 294,3 J. Si la força contra la peça és constant al llarg del cop, l'energia del cop es pot assumir com: *E = F x espai = pressió x superfície x espai*. L'espai és la distància que el mall entra en el metall. Quan el metall està fred té un límit elàstic. Si no se supera la pressió del límit elàstic, el martell rebota sense deixar marca. Quan superes el límit elàstic, el metall es deforma.

Com que el coure es pot recoure, o sigui que es pot escalfar i gelar sense modificar la seua estructura interna, farem els càlculs amb el coure. Prenem el límit elàstic igual a 140 MPa. Abans que el coure es deformi plàsticament (deformació permanent), el coure es deforma elàsticament (sense deformació permanent, torna al seu estat original) sota un mòdul d'elasticitat de 90.000 MPa. La deformació elàstica sota una pressió de ruptura de 140 MPa és igual a: límit ruptura/mòdul d'elasticitat

$$\varepsilon = \sigma / E = 140 / 90000 = 1{,}56 \bullet 10^{-3}$$

en tant per unitat. (S=límit ruptura coure, E=mòdul d'elasticitat)
Si la planxa de coure a deformar fa 3 mm de gruix, la deformació és de $4{,}67 \cdot 10^{-3}$mm. L'energia acumulada per una molla de mòdul elàstic 90.000 MPa és igual a $E = 1/2 \times k \times e^2 = 0{,}109 J/m^3$ Suposem que la superfície d'atac (superfície de contacte) és de 3 x 1 cm, això és igual a *S* = 0,03 x 0,01 = 0,0003 m^2. L'energia que cal per a la deformació elàstica d'una zona de 3 x 1 cm i 3 mm de gruix és Energia = 0,109 J/m^3 × 0,0003 m^2 × 0,003 m = 0,0981 J. Es pot menysprear enfront dels 294 J del mall. Així que 300 J van a fer deformació permanent. La tensió de deformació és la de ruptura, és a dir 140 MPa. La força que això representa sobre el rectangle de 3 x 1 cm és de F = 140 MPa × 0,0003 m^2 = 42.000 N. L'energia és E = Fxe = 42.000xe = 294 J . e= 0,007 m = 7 mm: aquesta és la deformació que obtenim amb els 294 J del mall.

Si la planxa és de 3 mm, el mall talla la planxa perquè té massa energia, la travessaria en 7 mm. Això vol dir que hem d'augmentar la superfície del cop o reduir l'alçada o la massa del mall. Si augmentem la superfície del cop a 5 x 5 cm, S = 0,05 × 0,05 = 0,0025 m2. L'energia de deformació elàstica per un gruix de 3 mm és de 0,109 J/m^3 × 0,0025 m^2 × 0,003 = 0,8 J, energia que desestimem enfront els 294 J del cop. La força de deformació seria F = 140 MPa × 0,0025 m^2 = 350.000 N. Això dóna una deformació de e= Energia / Força = 294J / 350.000 = 0,86 mm. La deformació seria en cada cop de 0,86 mm. La planxa, doncs, s'aprima de 2,14 a 3 mm en aquell punt.

6.- Conclusions

D'aquesta recerca se'n poden traure dos línies de conclusions: les conclusions que s'han tret de la comparació del molí del Martinet amb la Fàbrica de Ferro i el procés general de la farga catalana i les conclusions del procés tecnològic del molí del Martinet. Respecte a la comparació entre el Martinet i la Fàbrica de Ferro i el procés de la farga catalana, la primera conclusió que hem extret és que era impossible o quasi impossible que al molí del Martinet fonguessin mineral de ferro, ja que no hi ha cap tipus de sistema que aportés aire directament al forn. Com a conseqüència, la temperatura que es podia assolir als forns del Martinet era insuficient per a poder fondre la mena rica en ferro. En canvi, a la Fàbrica de Ferro sí que havia un sistema d'insuflat d'aire directe al forn, a través de la trompa. La mida dels dos edificis també és una dada clau ja que, en el cas del Martinet, limita la possibilitat de dur a terme un procés de reducció del mineral de ferro. També hi diferències en el procés productiu de les dos fargues: el pes del mall de la Fàbrica de Ferro era més gran que el del Martinet, la freqüència de cops del mall del Martinet era més gran que a la Fàbrica de Ferro, al Martinet només manufacturaven lingots de ferro i coure i, en canvi, a la Fàbrica de Ferro produïen lingots a partir de la mena que portaven de les mines.

Les conclusions del procés tecnològic del molí del Martinet són les següents: amb un augment de cabal s'obtenia més potència i un parell superior a la roda, encara que és probable que el cabal del Martinet estigués comprès entre 0,25 i 0,26 m^3/s. Tot el procés és més eficient si reduïm la velocitat de la roda hidràulica i augmentem el nombre de palmes per a mantenir la freqüència de cops del mall, amb això obtenim més potència i força útil i una freqüència de cops igual. A l'analitzar la potència útil al mall, s'ha arribat a la conclusió que si la roda hidràulica subministra entre 1.450 i 2.180 W i al mall arriba només el 50% d'aquesta

"La mida dels dos edificis també és una dada clau ja que, en el cas del Martinet, limita la possibilitat de dur a terme un procés de reducció del mineral de ferro."

potència, o sigui més o menys entre 700 i 1.000 W, és possible aixecar el mall encara que la potència mínima que es necessita per aixecar-lo sigui de 1.683 W. Aquest fet s'explica perquè aquests 700-1.000 W són aportats durant 0,175 s cada 0,5 s (si el mall copeja 2 cops per segon) i així obtenim una energia superior a la necessària per aixecar el mall, és a dir, una potència durant l'aixecament del mall d'entre 2.060 i 2.940 W, superior a la mínima necessària de 1.683 W. Finalment, per concloure la part de la potència aplicada al mall, cal dir que si la potència de la roda hidràulica no supera els 1.200 W serà impossible aixecar el mall. Arribarien al mall menys de 600 W i el mall necessita una potència mínima de 1.683 W. Amb una energia inferior a 294 J obtindríem menys de 1.683 W i seria impossible aixecar el mall. També serà impossible aixecar el mall si augmentem la freqüència de més de 3 cops per segon, o sigui un cop cada 0,33 s, ja que amb la potència de què disposa el mall no el podem pujar més ràpid que en caure, i el mall no podria pujar.

"Hem fet una valoració del tot el procés i s'ha arribat a una conclusió general que el rendiment total era molt baix i la potència útil es veia reduïda en un 85%."

Amb una superfície de contacte inferior a 0,00075 m^2 que equival a una superfície de 3 mm per 2,5 mm i un pes del mall de 200 kg aportem al material una pressió massa gran i aquest es veurà tallat en cada cop. Com hem vist, el pes del mall és constant i tots els càlculs anteriors estan basats en aquest pes. La solució per canviar la pressió que exerceix el mall sobre la peça seria canviar la punta d'atac del mall, i tenir-ne de diferents formes i superfícies, per tenir pressions diferents segons convingui. Hi ha martinets i malls que tenen un "porta puntes", és a dir, un encaix a la punta de manera que hi pots posar la punta que convingui. Contra més gran sigui la superfície del mall, menys deformarà el material, però tampoc és bo que tingui una superfície molt gran ja que costaria molt deformar el material, ni tampoc que tingui una superfície massa petita ja que tallaria el material.

Per concloure, hem fet una valoració de tot el procés i s'ha arribat a una conclusió general que el rendiment total era molt baix i la potència útil es veia reduïda en un 85%, així que de la potència inicial que subministrava la roda hidràulica només un 15 % es podia aprofitar per moure el mall. Per tant, valorem que no era un procés optimitzat, perquè hi havia moltes pèrdues d'energia. S'ha de dir que a part dels càlculs que aquí mostrem sobre el procés tecnològic del molí del Martinet, se'n podrien fer molts més i que hi ha aspectes tècnics que queden sense resoldre.

7.- Biblografia i webgrafia

Arasa, Jordi; Garcia, Eva; Fuses, Víctor; Serra, Manel (2008). "La farga i el ferro a la vall del riu Sénia: el cas de la Fàbrica del Ferro" dins *Lo Senienc. Memòria, natura i llengua* (núm. 5, agost). La Sénia: Centre d'Estudis Seniencs. p. 26-34

http://www.fargarossell.ad/
http://jhbladesmith.com/en/making-steel/catalan-forge.html
http://bertan.gipuzkoakultura.net/es/16/en/2.php
http://www.aedie.org/11chlie-papers/248-Bosch.pdf
http://www.ilustrados.com/tema/2832/Proceso-Laminacion.html
http://www.turbinas3hc.com/servicios/download/medir_caudal_altura.pdf
http://es.libros.redsauce.net/?pageID=19
http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/3320/1/24article2.pdf
http://www.xiloca.com/xilocapedia/index.php?title=Martinete_de_cobre
http://patrimonioindustrialensegovia.blogspot.com/
http://www.shannondale.org/forum/

8.- Agraïments

M'agradaria agrair l'ajuda i la implicació que he rebut en aquest treball per part d'Alberto Marcoval, Víctor Fuses, Elisa Nofre i el meu tutor Cosme Cruzado. Gràcies a la seua dedicació he pogut dur a terme aquest treball. També vull agrair el suport dels meus pares que m'han ajudat en tot allò que els ha estat possible.