

COM LES TIC PODEN AJUDAR A L'ENSENYAMENT DE LA HISTÒRIA DE LA CIÈNCIA

JOSEP MARIA PONS POBLET

DEPARTAMENT DE RESISTÈNCIA DE MATERIALS I ESTRUCTURES A L'ENGINYERIA.
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA.

Paraules clau: *TIC, ensenyament, Galileu, biga, 'Discorsi'*

How TIC Can Help in the Teaching of the History of Science

Summary: The aim of this paper involved the thematic: History of the Sciences and Scientific Education and wished to show how to teach history of science. We show how the use of TIC helps to present students –doubtful about these types of technologies– proposals or formulations made centuries ago. This implementation can be accompanied in parallel in the classroom of the theoretical formulations of subjects such as physics, mechanics and even others, such as philosophy.

Key words: *TIC, teaching, Galileo Galilei, beam, 'Discorsi'*

Introducció

Pues bien, señor Salviati, allanadnos, si podéis, estos obstáculos e iluminadnos estas oscuridades, pues me parece que este asunto de las resistencias es un campo fértil en bellas y útiles especulaciones.

Y si os parece bien que sea ésta la materia de nuestros razonamientos de hoy, a mí, y creo que al señor Simplicio, nos será de grato. (Galilei, 1638: 74).

Galileu, al seu conegut *Discorsi*, introduint una breu consideració sobre la ruptura d'una biga, planteja una interessant discussió sobre la manera de treballar d'aquesta estructura. A part d'enfrontar-se amb el problema físic en si, ho feia

també amb el saber imperant del moment, això és, per un costat amb l'aristotelisme dominant i per l'altre amb el nominalisme.

L'objectiu de la present comunicació fora presentar, dins *la temàtica de les TIC en la incorporació de la història de la ciència a l'ensenyament*, com l'ús d'aquestes eines pot ajudar a mostrar a l'alumnat –acostumat sens dubte a aquest tipus de tecnologies– proposicions o formulacions fetes segles enre-re. Aquesta implementació pot anar acompanyada en paral·lel, a l'aula, de les formulacions teòriques (de pissarra) de matèries com la física, la mecànica i fins i tot d'altres com podria ser la filosofia.

En referència a la temàtica de les TIC, a la pàgina de la UNESCO podem llegir:

Las TIC en la educación

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) tienen una influencia cada vez mayor en la forma de comunicarse, el aprendizaje y la vida.

El desafío consiste en utilizar eficazmente estas tecnologías para que estén al servicio de los intereses del conjunto de los estudiantes y de toda la comunidad educativa.¹

Gairebé han passat quatre-cents anys des que Galileu va escriure els *Discorsi*. Per tal de presentar aquesta obra als alumnes, alhora que es mostra un dels textos clau de la història de la ciència occidental, es pretén prendre un breu text del llibre i treballar-lo a l'aula amb els alumnes de secundària. És cert que el mateix abast de l'obra fa possible que sigui tractada en gairebé totes les disciplines –malgrat que nosaltres ens basarem en l'àrea científicotecnològica. Partint d'un breu text on l'italià parla de la ruptura d'una biga, es volen introduir els conceptes de força, de deformació i de trencament, tot copsant també la influència del material. Els alumnes podran veure que allò que Galileu postulava llunyanament, ells ho poden copsar en el seu dia a dia.

Avui, sovint es parla de transversalitat dins els currículums docents. I, com veurem, aquest exemple pot ser un bon moment per a implementar-la ja que el seu estudi ens ofereix la possibilitat d'emprar eines distintes per a enfrontar-nos-hi: des de la clàssica pissarra, fins a la manipulació de materials com la plastilina, tot passant per les més variades experiències que es puguin ocórrer als docents. Ara bé, darrerament comptem amb una ajuda que cada vegada es va obrint més pas a les aules: les TIC. Aquestes, sens dubte ens ajudaran i permetran la visualització del problema plantejat per la via d'unes interfícies que, cada vegada més, els alumnes tenen com a habituals. Aquest aliat ajudarà l'alumnat a prendre consciència d'uns conceptes que, *a priori*, poden semblar una mica abstractes.

L'àmbit científicotecnològic

Per tal d'implementar el que acabem d'explicitar, proposarem un exemple aplicable dins l'actual marc educatiu. En el corresponent decret² del Currículum d'Educació Secundària Obligatòria, dins l'àmbit científicotecnològic, trobem els continguts corresponents (taula 1):

Pot esdevenir una tasca difícil per al docent intentar explicitar els diferents tipus d'esforços existents en un element resistiu. Hem de tenir present que aquest, convenientment disposat i agrupat amb d'altres, pot arribar a esdevenir una estructura pròpiament dita.

1. <<https://es.unesco.org/themes/tic-educacion>>

2. Decret 187/2015 DOGC, núm. 6945 - 28.8.2015.

Tercer curs (matèria comuna). Continguts**Estructures**

- Funció i característiques d'una estructura.
- Tipus d'estructures.
- Tipus d'esforços resistents.
- Elements i esforços estructurals d'objectes quotidians i construccions simples.
- Anàlisi d'esforços i estabilitat d'estructures mitjançant aplicacions digitals.
- Disseny, construcció i avaluació d'estructures simples.

TAULA 1. Currículum Educació Secundària Obligatoria Àmbit científicotecnològic (Part Estructures)

És ben cert que veient el material disponible tant en suport físic (llibres, apunts) com en exemples que he trobat corresponents a l'àmbit particular de la matèria Visual i Plàstica (plastilina, maquetisme), aquesta dificultat incipient pot anar fent-se cada vegada més petita, tot permetent que l'alumnat assoleixi part dels resultats desitjats.

Per altra banda, també s'ha cregut important destacar que fer un primer cop d'ull als criteris d'avaluació, disposats pel mateix Departament, ens pot ajudar a prendre consciència de dos conceptes considerats clau: la identificació dels esforços i la seva visualització amb simuladors (taula 2).

Criteris d'avaluació

Definir els diferents tipus d'estructures i identificar-les en objectes d'ús quotidià, indicant els tipus d'esforços a què estan sotmeses.

Emprar simuladors per a analitzar l'estabilitat d'estructures simples i analitzar els esforços a què estan sotmeses.

TAULA 2. Criteris d'avaluació³

Per tant, s'entén que un cop els diferents esforços ja han estat identificats, per exemple al grup classe, i per tant són coneguts per l'alumnat, ara ja podem entrar a la seva anàlisi a través dels simuladors. Es creu interessant remarcar que les noves tecnologies de les quals disposem (pàgines web, CD, entre d'altres), han d'ajudar a l'adquisició dels conceptes –que ha formulat el docent– per part

FIGURA 1. Exemple estudi de la tracció. Concepte⁴

3. Decret 187/2015 DOGC, núm. 6945 - 28.8.2015.

4. <<http://blocs.xtec.cat/tecnologiadeuseevero/2014/10/01/forces-i-estructures-unitat-3/>>



FIGURA 2. Exemple estudi de la tracció i la compressió. Simulació⁵

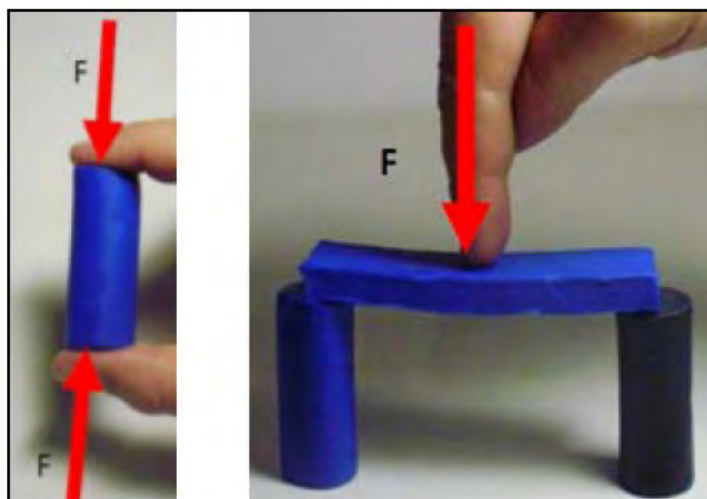


FIGURA 3. Exemples d'esforços de compressió i la flexió. Concepte⁶

dels alumnes que s'enfronten a unes formulacions certament complexes; però en cap cas no han de substituir-les (fig. 1 i 3). Per exemple; cal definir prèviament els conceptes que actuen en una determinada secció (o element) per tal que després la seva simulació ens sigui aclaridora (que serveixi per a refermar-los) (fig. 2 i 4).

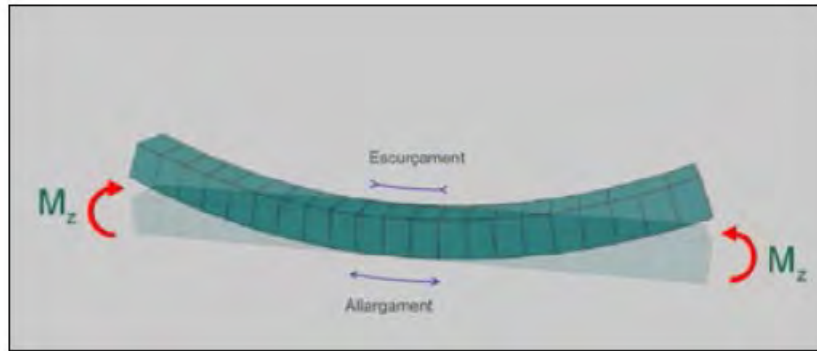
Un exemple

Analitzem el text. El fet que la majoria de traduccions dels *Discorsi* es trobin en anglès pot ajudar a la transversalitat dins l'aula ja que, prèviament, podria ser tractat a l'assignatura de llengua estrangera com a exercici de comprensió lectora i traducció.

A large marble column was laid out so that its two ends rested each upon a piece of beam; a little later it occurred to a mechanic that, in order to be doubly sure of its not breaking in the middle by its own weight, it would be wise to lay a third support midway; this seemed to all an excellent idea; but the sequel showed that it was quite the opposite, for not many months passed before the column was found cracked and broken exactly above the new middle support. (Galilei, 1638)

5. <<https://www.upc.edu/prismatic/prismatic.html>>

6. <http://apliense.xtec.cat/arc/sites/default/files/MA_practica_forces_i_esfor%C3%BEos.pdf>

FIGURA 4. Exemple d'esforç de flexió. Simulació⁷

Una gran columna de marbre va ser col·locada de manera que els seus extrems es recolzaven cadascun sobre un tros de biga; una mica més tard a un mecànic se li va ocórrer que, per tal d'assegurar que no es trenqués en el punt mig pel seu propi pes, seria prudent col·locar un tercer suport a la meitat; això a tothom li semblà una idea excel·lent; però els esdeveniments van mostrar just el contrari, ja que no passaren gaires mesos abans que la columna s'esquerdés i es trenqués just a sobre del nou suport.

Plantegem el problema i la solució

Galileu formula el problema resistiu de les bigues enfrontant-se a *un camp fèrtil en belles i útils especulacions*. El geni italià vol estudiar el perquè i el com es trenca una biga. Cert és que llavors, i ara, tothom té una relativa experiència d'aquest fet. Sabem que un determinat element resistent no pot ser carregat contínuament ja que arribat un cert punt col·lapsarà. Clàssicament, part del problema se solucionava augmentant les superfícies de treball (augment de la secció) o bé treballant amb valors de tensions relativament baixos. Si bé entrariem en altres èpoques on el que es prima és el disseny geomètric front del disseny resistiu. Un bon exercici podria ser cercar-ne exemples (es pot proposar inicialment el cas d'Egipte i les seves piràmides per després passar a l'exemple de la torre Eiffel).

L'exemple del nostre cas ens pot ajudar a introduir-nos a l'estudi de les forces (i per tant a definir-ne clarament el concepte i l'abast), tot i fent veure que no és el mateix una càrrega puntual que una càrrega uniforme (com seria el pes del nostre exemple) (fig. 5). També pot servir per a introduir què s'entén per enllaç i veure quins són els principals tipus d'enllaços d'una biga amb el terra (articulacions, encastaments...).

Passem doncs a analitzar el text pas a pas, introduint alhora les consideracions convenientes, tot i tenint present que Salviati planteja el cas de la ruptura de la columna gruixuda de marbre precisament pel punt per on es va voler reforçar.

A large marble column was laid out so that its two ends rested each upon a piece of beam. (Galilei, 1638)

Una gran columna de marbre va ser col·locada de manera que els seus extrems es recolzaven cadascú sobre un tros de biga.

7. <<https://www.upc.edu/prismatic/prismatic.html>>

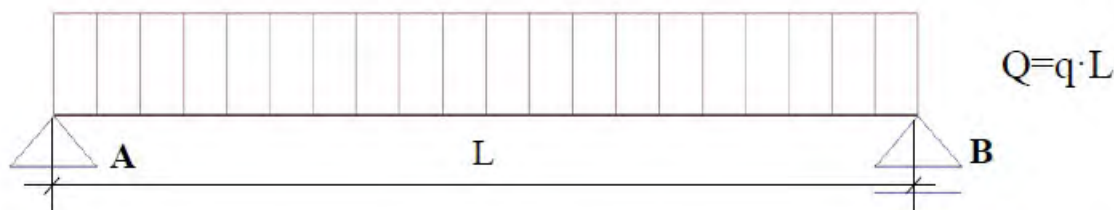


FIGURA 5. Biga articulada - recolzada amb càrrega uniforme

Tot i que els alumnes encara no han estudiat les equacions de l'estàtica (especialment el concepte de *moment d'una força*), sí que podem fer servir la lògica del que significa l'equilibri estàtic. En aquest cas veiem que, tractant-se d'un problema simètric, el valor que haurà de suportar cada reacció valdrà la meitat de la càrrega total aplicada.

$$R_A = \frac{ql}{2} = \frac{Q}{2}, R_B = \frac{ql}{2} = \frac{Q}{2}$$

També podem fer veure que la deformació màxima es troba al bell mig de la biga.

Dèiem que fora bo que els alumnes veiessin aplicacions d'això que estan estudiant en el seu entorn quotidià, o bé en allò estudiat en d'altres matèries. El fenomen precedent podria ser perfectament emmarcat dins l'assignatura d'història (o de cultura clàssica), tot veient el perquè de determinades construccions clàssiques i la seva solució constructiva. La deformació produïda a la llinda de certs elements es podia minimitzar amb la col·locació escaient de suports (generalment columnes) (fig. 6 i 7).

[...] a little later it occurred to a mechanic that, in order to be doubly sure of its not breaking in the middle by its own weight, it would be wise to lay a third support midway. (Galilei, 1638)

[...] una mica més tard se li va ocórrer a un mecànic que, per tal d'assegurar que no es trenqués en el punt mig pel seu propi pes, seria prudent col·locar un tercer suport a la meitat.

Així doncs, amb la col·locació d'aquest element *aparentment* l'estructura treballarà millor. Aquest fet ens pot fer introduir, encara que sigui només conceptualment, el concepte de biga hiperestàtica, és a dir, aquella en la qual hi pot haver múltiples solucions per a determinar el valor de les reaccions –d'entre les quals una d'elles serà l'òptima (fig. 8).

En principi *la lògica* semblaria indicar-nos que tots tres suports tenen el mateix valor.

$$R_A = \frac{ql}{3} = \frac{Q}{3}, R_B = \frac{ql}{3} = \frac{Q}{3}, R_C = \frac{ql}{3} = \frac{Q}{3}$$

És cert això? Evidentment, no! Tenint present que el suport central ha de suportar el doble de càrrega *sembla* que la solució òptima fora:

$$R_A = \frac{ql}{4} = \frac{Q}{4}, R_B = \frac{ql}{2} = \frac{Q}{2}, R_C = \frac{ql}{4} = \frac{Q}{4}$$

[...] this seemed to all an excellent idea. (Galilei, 1638)

[...] això semblà a tothom una idea excel·lent.

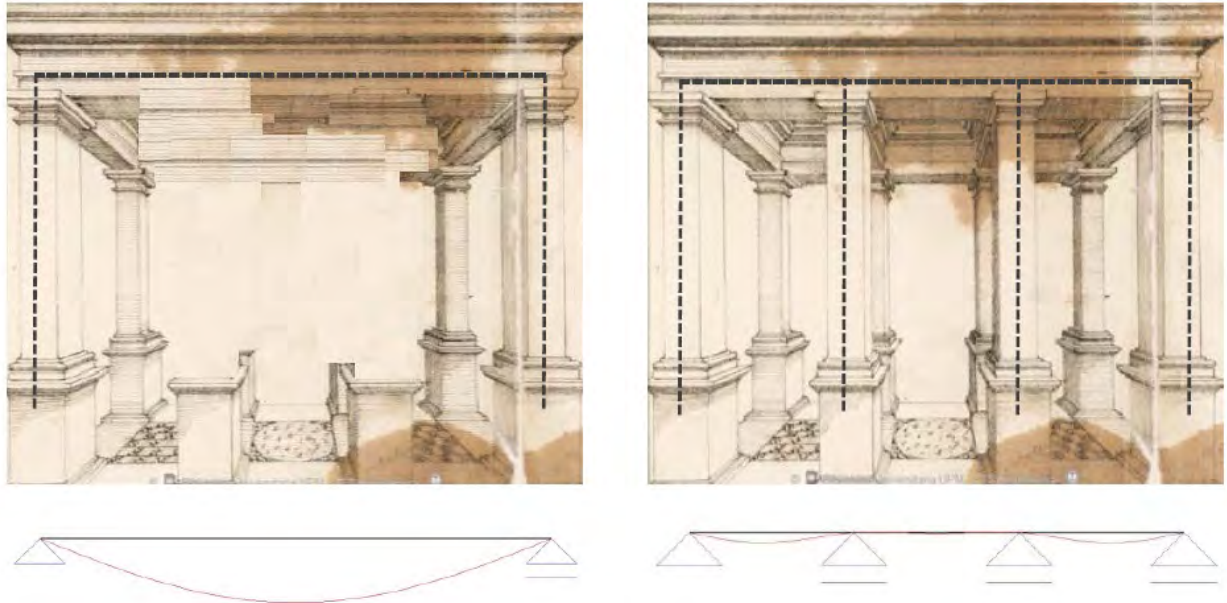


FIGURA 6. Efecte dels recolzaments sobre les deformacions



FIGURA 7. Llinda de pedra. Localització Stonehenge (Font: Internet)

L'exemple anterior pot obrir un interessant debat a l'aula: té raó Galileu plantejant que són millor tres punts de suport que no pas dos?; es poden determinar aquest valor? Podem començar a veure que a vegades la lògica ens pot jugar alguna mala passada...

Salviati continua:

[...] but the sequel showed that it was quite the opposite, for not many months passed before the column was found cracked and broken exactly above the new middle support. (Galilei, 1638)

[...] però els esdeveniments van mostrar just el contrari, ja que no passaren molt mesos abans que la columna s'esquerdés i es trenqués just per sobre del nou suport.

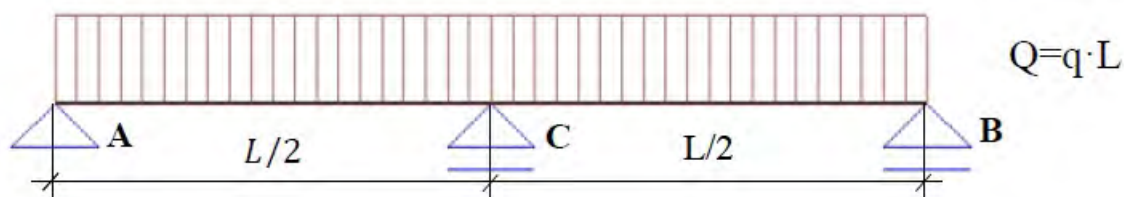


FIGURA 8. Biga amb tres punts de recolzament i càrrega uniforme. Estructura hiperestàtica

Sens dubte l'afirmació de Galileu és desconcertant: es trenca precisament pel punt de recolzament alhora que per la part superior; per què? Podríem obrir de nou un debat sobre el motiu d'aquesta afirmació. Vegem quina argumentació ens és proposada per l'autor:

[...] for when the two pieces of the column were placed on level ground it was observed that one of the end beams had, after a long while, become decayed and sunken, but that the middle one remained hard and strong, thus causing one half of the column to project in the air without any support. Under these circumstances the body therefore behaved differently from what it would have done if supported only upon the first beams; because no matter how much they might have sunken the column would have gone with them. (Galilei, 1638)

[...] doncs quant les dues peces de la columna es col·locaren sobre un terreny anivellat, es va observar que una de les bigues extremes (de recolzament) s'havia deteriorat i enfonsat després de molt temps, però la del mig seguia dura i forta, fent que la meitat de la columna es projectés a l'aire sense cap recolzament (en voladís). Sota aquestes circumstàncies el cos, per tant, es comportava diferent de com ho hauria fet si s'hagués recolzat sols en les primeres bigues; perquè no importava quant s'hagués enfonsat la columna ja que ho hauria fet solidàriament amb els recolzaments.

Aquest fet desafortunat ens condueix a la introducció d'una altra tipologia estructural, les bigues en voladís. Si bé és cert que tots en tenen una idea, ja que és molt habitual en el seu entorn quotidià, potser mai no s'han plantejat les seves característiques i funcionament així com els avantatges i inconvenients (fig. 9 i 10).

Si abans fèiem esment a la intuïció de la simetria per a resoldre problemes (tot i que podem constatar que a vegades ens pot fallar), ara la mateixa intuïció ens pot conduir a veure que tota la càrrega és suportada pel suport central. Aquest fet proporciona un notable augment del seu valor i, per tant, es converteix en un clar candidat a la ruptura... *com així fou*.

$$R_C = ql = Q_{Total}, R_B = 0$$

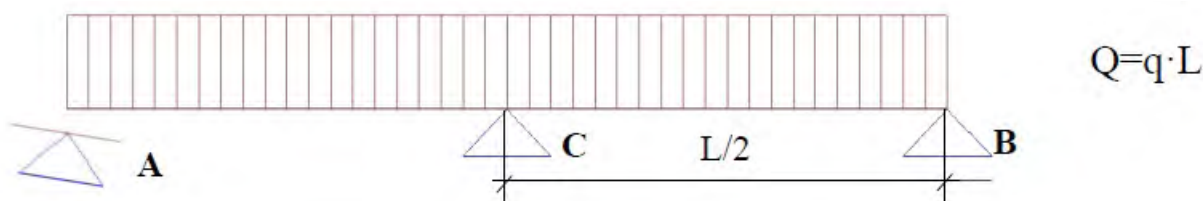


Figura 9. Situació de pèrdua de contacte de la biga amb el suport A

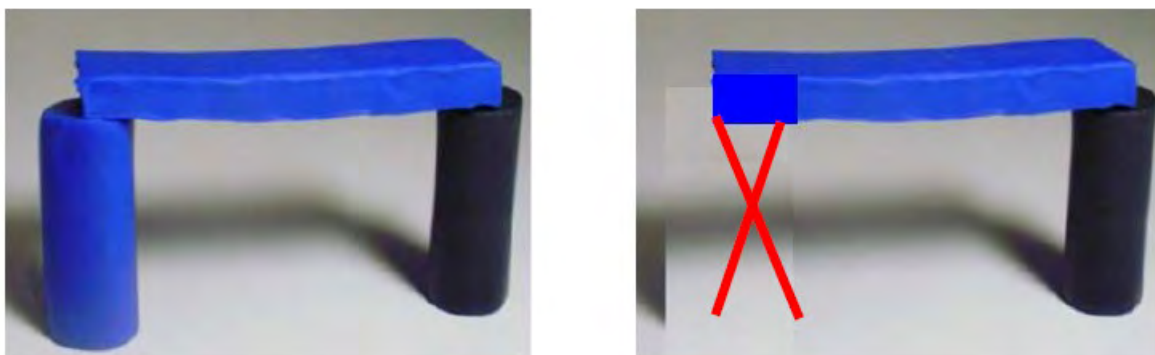


Figura 10. Estructura formant pòrtic (esquerra), en voladís (dreta)

Hem constatat, doncs, que realment el punt central pot esdevenir el punt crític si aquest actua en situació de biga volada (fig. 11). Ara bé, llegint novament el text amb cura, podem entreveure una altra dada interessant que planteja Galileu, una dada que fins ara ens ha passat desapercibuda.

[...] was found cracked and broken exactly above the new middle support. (Galilei, 1638)

[...] s'esquerdés i es trenqués just per sobre del nou suport.

El fet que es trenqui per la zona central ja s'ha tractat; ara bé: per què per dalt i no per baix? Aquest problema ens pot ajudar a introduir a l'aula el concepte de *tensió* i, alhora, a distingir entre tensions corresponents a esforços de tracció i a esforços de compressió.

Tant intuïtivament com experimental percebem que la zona superior es troba traccionada i la inferior, comprimida (sempre referint-nos al punt de ruptura). Dient que la zona superior es trenca, afirmem que els materials com el marbre *aguanten* millor les compressions que les traccions. Partint d'aquest fet, l'alumnat pot cercar informació d'altres materials i veure en quins això succeeix i en quin d'altres aquests valors són molt semblants tot i presentant un comportament anomenat *simètric*. Es pot donar la taula següent (taula 3), amb alguns valors ja definits, i deixar a l'alumnat que cerqui els que falten.

Material /Valors	σ compressió (N/mm ²)	σ tracció (N/mm ²)
Guix	2-12	0,1-1,5
Calcària	7-40	0,5-5
Esquists	15-70	1-10
Granit	60-180	6-15
Quarsita	80-300	7-20
Acer		
Formigó		
Formigó armat		
Coure		

TAULA 3. Valors resistius de distints materials

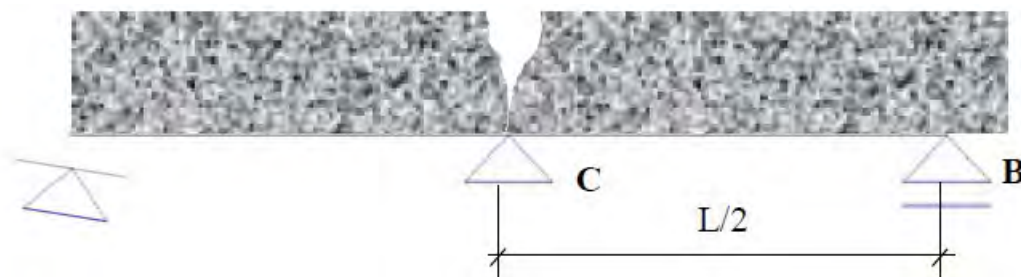


FIGURA 11. Esquema de la ruptura del material



FIGURA 12. Estructura de formigó armat

Com a corol·lari podríem parar-nos un moment en un dels materials per excel·lència, el formigó (fig. 12). Es pot presentar al grup classe aquest material tan emprat en construcció; la seva història, així com edificacions que directament o indirecta l'han fet servir al llarg del temps, acabant amb l'estudi de la seva variant més emprada: el formigó armat. Amb aquest exemple podem entendre el perquè d'aquesta configuració que, de ben segur, ells estan acostumats a veure pel carrer però en la qual, probablement, mai no deuen haver prestat atenció. Cal incidir en l'existència d'acer, precisament en aquelles zones més febles; les zones traccionades.

Galileu, per tant, de nou tenia raó... la secció es trencarà per la zona superior perquè és la zona traccionada i, presentant aquesta un valor resistiu menor que la zona compressiva, serà on es localitzarà l'inici de la ruptura.

Les TIC poden ajudar a l'ensenyament de la història de la ciència? Conclusions

Al principi de la comunicació que ens ocupa, plantejàvem el fet de mostrar com l'ús de les TIC pot ajudar a incorporar la disciplina de la història de la ciència dins uns coneixements curriculars d'un alumnat acostumat cada vegada més a tenir aquestes eines en el seu entorn quotidià. De fet, com veiem, també la història de la ciència pot ajudar a introduir conceptes que, tractats amb les TIC, seran més fàcilment comprensibles.

Partint d'un breu fragment d'un text de Galileu (que podria ser en anglès per ajudar a la transversalitat) s'ha presentat –a través d'exemples actuals i amb l'ús de les TIC– com l'alumnat pot inserir-se perfectament en la filosofia del text, alhora que una comprensió de l'escrit, reforçada per una implicació de les TIC, l'ajudarà sens dubte a l'assimilació de conceptes vistos en d'altres matèries.

Referències bibliogràfiques

BLOC DE LA USEE DE L'INSTITUT SEVERO OCHOA, *Tecnologia*, «Forces i estructures», [en línia] <<http://blocs.xtec.cat/tecnologiadeuseevero/2014/10/01/forces-i-estructures-unitat-3/>> [Darrer accés: 02/02/2018].

DEPARTAMENT D'ENSENYAMENT, *Decret 187/2015*, DOGC núm. 6945 - 28.8.2015, [en línia] <<http://portaldogc.gencat.cat/utillsEADOP/PDF/6945/1441278.pdf>> [Darrer accés: 02/02/2018].

FERNÁNDEZ RUIZ, R., *Els esforços i les estructures*, [en línia] <http://apliense.xtec.cat/arc/sites/default/files/MA_practica_forces_i_esfor%C3%BEos.pdf> [Darrer accés: 02/02/2018].

GALILEI, G. (1638), *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Madrid, Editora Nacional, 1976.

GALILEI, G. (1638), *Dialogues Concerning Two New Sciences*, Henry Crew and Alfonso de Salvio (translators), Pantianos Classics, 1914.

UNESCO, *Las TIC en la educación*, [en línia] <<https://es.unesco.org/themes/tic-educacion>> [Darrer accés: 02/02/2018].

UPC, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, *Resistència de materials*, [en línia] <<https://www.upc.edu/prismatic/prismatic.html>> [Darrer accés: 02/02/2018].