

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color i tots els fenòmens que hi actuen

Tànatos
(15-01-2020)

Agraïments

Sincerament, m'agradaria agrair de tot cor l'ajuda aportada al llarg d'aquest feixuc procés. Primerament, donar les gràcies al meu tutor per la seva dedicació i constància que m'han guiat durant la confecció d'aquest treball de recerca. Així com a la resta de l'equip docent del centre que tantes coses m'ha ensenyat en la meva estada durant aquests sis anys.

No estaria aquí, però, si no fos per la meva família i amics que m'han recolzat i mantes vegades m'han fet veure des d'un punt de vista diferent allò que tantes dificultats em presentava. Gràcies per tot.

Índex

1. Abstract	3
2. Introducció	4
3. Marc teòric	6
3.1. Encenedors.....	6
3.1.1. Breu Història dels encenedors:.....	7
3.1.2. Tipus d'encenedors actuals:	10
3.1.3. Sistema d'ignició de flama.....	12
3.2. Combustibles i carburants òptims per l'ús en un encenedor	15
3.2.1. El procés químic de la combustió:	15
3.2.2. Equacions químiques de la combustió:.....	16
3.2.3. Diagrama de Ostwald:.....	19
3.3. L'assaig a la flama i l'espectre d'emissió de certs metalls	22
3.3.1. Espectre d'emissió d'un element o compost químic	24
4. Objectiu del treball	25
4.1. Models 1 - Encenedor amb subministrament líquid	26
4.1.1. Encenedor amb Conta-Gotes (Model 1.1)	27
4.1.2. Encenedor amb pulveritzador (Model 1.2)	31
4.1.3. Encenedor d'únic dipòsit (<i>Similar a un Zippo®</i>) (Model 1.3)	32
4.2. Model 2. Encenedor amb subministrament sòlid	44
4.2.1. Encenedor amb subministrament per filferro (Model 2.1).....	45
4.2.2. Encenedor amb un gran fragment d'àcid bòric (Model 2.2)	49
4.2.3. Encenedor de metanol (Model 2.3)	51
4.2.4. Encenedor amb subministrament de l'àcid bòric mitjançant cristalls (Model 2.4) ...	59
5. Elecció del millor model	61
6. Conclusions i possibles noves línies d'investigació	63
7. Referències bibliogràfiques	65
8. Annexos	69

1. Abstract

In our present society, most people enjoy a wide range of products that are easily available. In the struggle to succeed, innovation and originality play an important role. This paper aims to emerge with a groundbreaking idea that changes the point of view we have of a tool that often goes unnoticed, which is the lighter. In order to carry out this research, first we had to understand all the technique and science involved in this gadget and, then, design a new model that produces a coloured flame by means of the emission spectrum of certain metals and its electron excitement. 7 concepts of a new approach to the conventional lighter were tested to find the one that most accurately fulfilled our objectives. It was finally found that the construction of this new lighter was feasible despite the need to sacrifice certain practical aspects in favor of aesthetics.

2. Introducció

De ben petit, em vaig quedar meravellat al veure com a la televisió, on en aquells moments estaven emetent una pel·lícula certament antiga, canviava de color la flama de les torxes del misteriós temple precolombí a l'entrar el protagonista per les seves grans portes. Màgia, vaig pensar en aquell moment; no pot ser possible, el foc sempre ha estat roig tal i com no poden existir els ocells blaus, sempre han estat marrons. Afortunadament, altra vegada, vaig demostrar estar equivocat, el *blauet* era una realitat; i les flames de color un fenomen àmpliament explicat i justificat per la ciència moderna, tot i això, la meva admiració no va disminuir. Per això, i a l'hora de plantejar-me un tema d'investigació pel meu treball de recerca, vaig pensar que justament idear una aplicació pràctica d'aquesta manifestació cromàtica en la flama del foc era adient, com per exemple, en un encenedor. La motivació ja hi era i gaudia del pressupost necessari per dur-ne a terme les proves necessàries, però calia demostrar si construir tal eina que produís aquest canvi de pigment era factible. Aviat aquest dubte esdevindria l'eix principal de la meva investigació.

Tot i haver fet recerca en busca d'idees i pistes de gent que havia tingut una idea similar a la meva, malauradament, no en vaig poder trobar-ne cap. Això, no em decebí precisament i em va animar a continuar amb més ganes amb el procés d'aprenentatge per assolir aquest repte. Abans de començar amb l'apartat més pràctic d'aquest treball, però, veia necessari un estudi previ de tot allò que formava un encenedor, tots els seus components, mecanismes i apartats, així com la seva història i els diferents tipus. Un estudi previ de tot allò relacionat amb la combustió, la flama i els diferents tipus de combustible. Un estudi previ dels fenòmens físics que intervenen en el canvi de color de la flama. Tots ells, encabits al marc teòric, m'han permès conèixer, en tot moment i amb exactitud, com interpretar correctament els resultats obtinguts o, per exemple, com entendre el que passava en tot moment durant les proves i perquè podien arribar a fallar certs prototips.

Primerament, vaig pensar tots els prototips d'encenedor possibles que se m'acudien, cadascun amb les seves peculiaritats que el feien distintiu, per després, de manera individual, ser avaluats en un seguit de proves exposant-ne, de la manera més realista possible, els seus principals inconvenients, les clares avantatges que oferien, així com tots aquells: problemes, contratemps i curiositats que havien sorgit al llarg dels experiments. Finalment es va fer una comparació col·lectiva per escollir-ne el millor de tots ells i presentar-ne les conclusions.

La metodologia emprada al llarg de la part pràctica d'aquest treball segueix els preceptes del mètode científic i es basa en l'assaig i error. Aquest treball és un exemple de treball multidisciplinari que casa a la perfecció diferents camps com la química, la física i la tecnologia; tots ells necessaris a parts iguals pel bon disseny i correcte funcionament de l'encenedor de flama de color.

3. Marc teòric

3.1. Encenedors

Un encenedor és una eina portàtil de gran utilitat per generar una flama primigènia, és a dir aquella flama que ens permetrà transportar la ignició a altres elements per tal d'encendre'ls o bé fer foc. Diem que els encenedors són un reactor químic, un aparell dissenyat específicament per maximitzar la conversió amb el menor cost possible a l'hora de produir-se la reacció, per tal de fer-lo eficient i pràctic per la vida quotidiana. En aquest cas, la reacció que hi té lloc és la combustió de la matèria primera, el combustible, que ens el podem trobar tant en estat líquid com en estat gasos.

Tot i que al llarg de la història, els encenedors han patit nombroses transformacions en la seva estructura i manera de funcionar, avui en dia, es componen principalment:

- D'un dipòsit de metall o plàstic per emmagatzemar el combustible de manera segura i estanca.
- Un sistema d'ignició de la flama que permet crear una espurna que reaccionarà amb els vapors del combustible per tal de fer foc (Piezoelèctric o Pedrenyal).
- Regulador de cabal de combustible.
- Combustible o matèria primera.



- *Algunes vegades, alguns encenedors poden incorporar un sistema d'extinció de flama, tot i que no és gens comú en els encenedors d'ús domèstic (p.e. alguns encenedors destinats a la pirotècnia).*

3.1.1. Breu Història dels encenedors:

Sens dubte, el domini del foc a mans dels primer homínids fou un punt d'inflexió pel que fa a l'evolució tant humana com cultural. Gràcies al domini d'aquest element abans vist com un perill a evitar vam ser capaços no tant sols de cuinar els aliments sinó de proporcionar resguard davant dels climes freds, exercir noves activitats durant les hores nocturnes i també guarir-nos dels depredadors.

Podríem afirmar que conjuntament amb la roda, el domini del foc ha estat la clau de l'èxit de l'espècie humana. Si bé el foc ens permetia viure en zones abans mai explorades com les tundres del nord del nostre planeta, el foc també va suposar un canvi de comportament dels homínids. Més endavant en l'evolució humana, el foc seria crucial per l'obtenció dels primers metalls (7.500 a.C.) i pel desenvolupament de nous invents i noves eines bèl·liques.

D'aquesta necessitat del domini del foc neixen els primers "encenedors" o, com s'anomena tècnicament, els primers reactors químics (per tal de generar una flama). Històricament, durant la prehistòria varen existir dos mètodes principals per fer foc, el sistema de percussió (que més endavant evolucionaria en els nostres encenedors actuals) i el sistema de fregament.

- El sistema de percussió no solament va ser àmpliament practicat a la prehistòria sinó que fins i tot avui en dia s'utilitza com a eina de supervivència per als excursionistes. Aquest mètode consistia en el continu colpeig d'una pedra sílex (també anomenada com pedrenyal) amb una pedra rica en òxid de ferro. Antigament era comú l'ús de la pirita tot i que els mètodes de percussió de l'actualitat utilitzen una baula de ferro. Amb aquests dos elements s'aconseguia la espurna que conjuntament amb un combustible primitiu (esca o fong sec) s'aconseguia encendre el foc en menys d'un minut.

- El sistema de fregament, en canvi, consistia en el fregament d'una vara amb una planxa de fusta amb una entalla recoberta de esca. Aquesta vara feta d'una fusta més dura que la planxa creava la brasa que després s'estenia a la ja esmentada esca creant el foc. Aquest procés no era gens pràctic ja que era un mètode lent i extenuant que requeria d'una gran potencia física.

Tot i que les civilitzacions de l'edat antiga millorarien aquests dos mètodes no seria fins l'edat moderna que els encenedors, tal i com avui en dia els coneixem, començarien a prendre forma. Degut a les innovacions de l'indústria bèl·lica com la introducció del canó de bronze i el arcabús a Europa varen motivar la necessitat de crear el foc d'una manera més simple, pràctica i ràpida. Les noves armes necessitaven del foc o si més no d'una espurna per tal d'encendre la reacció i poder fer-les funcionar correctament. Així doncs, naixerien els encenedors de metxa, aquests encenedors unien tots els elements prèviament esmentats en el sistema de percussió en un únic dispositiu fàcil de transportar i usar. L'únic canvi que presentaven era la substitució de la rudimentària esca per una metxa de cànem que cremava molt lentament. Aquest útil estri es va popularitzar arreu d'Europa gràcies als exercits dels terços de la casa dels *Habsburg* i es continuaria utilitzant fins a principis del segle XX quant finalment serien reemplaçats pels encenedors moderns.



Il·lustració 2: "Chispero" o encenedor espanyol tal i com és anomenat a la resta d'europa

Es considera però que el primer encenedor modern (degut a que utilitzava com a combustible un carburant no sòlid) no va aparèixer fins l'any 1823, quant el químic alemany Johann Wolfgang Döbereiner crear un nou aparell semblant a una làmpada que creava la flama mitjançant únicament processos químics. En l'interior de la làmpada hi trobàvem àcid sulfúric i un fragment de zinc. Aquests dos components reaccionaven produint hidrogen que, a l'accionar la vàlvula, es deixava escapar a un recipient en forma ràfega. L'hidrogen, llavors, reaccionava amb l'oxigen de l'ambient usant una esponja de platí com a catalitzador. La reacció exotèrmica produïda entre aquests elevava la temperatura de l'esponja que a la seva vegada encenia l'hidrogen.

Aquest curiós encenedor producte del enginy d'un professional va suposar revolució essent exhibit en feries i més endavant en les primeres exposicions universals. Tot i això les seves grans dimensions, elevat preu i escassa oferta van relegar aquest utensili a una curiosa anècdota.

No seria fins als inicis del s.XX que dos invencions permetrien la creació dels encenedors tal i com els coneixem avui en dia. La primera d'aquestes ens arribaria a mans de l'austriac Carl Auer von Welsbach inventor de l'aliatge metàl·lic conegut com ferroceri. Aquest aliatge permetia generar espurnes d'una manera molt més eficient que el pedrenyal utilitzat durant la prehistòria. Així doncs, empreses d'arreu del món podrien utilitzar el ferroceri per poder produir encenedors a gran escala. Cal destacar l'encenedor "Wonderlite" (lit. *Meravella minúscula*) (1910), el primer encenedor similar als d'avui en dia que marcaria profundament els futurs models de la marca Zippo, produït per la companyia nord-americana Ronson, el primer en utilitzar aquest aliatge.



Il·lustració 3: Encenedor "Wonderlite" de la empresa Ronson

L'altra innovació fou la nafta, una barreja d'hidrocarburs volàtil i inflamable ideal per a utilitzar com a combustible en comptes dels combustibles més convencionals de l'època

com el carbó o la fusta. La nafta, tot i que fou inventada l'any 1833 pel químic alemany Eilhard Mitscherlich, no fou totalment utilitzada fins els finals del s.XIX i inicis del s.XX.

La marca Zippo s'encarregaria de donar forma als nostres encenedors contemporanis aplicant les noves innovacions, creant la icònica silueta d'aquests i fent que fossin més resistents a les rafegues de vent. Aviat li sortirien nombrosos competidors a l'empresa Zippo innovant i creant nombrosos models que abaratirien el cost dels encenedors.

3.1.2. Tipus d'encenedors actuals:

Apart de l'encenedor clàssic de combustible de butà o propà "estàndard", en podem trobar de molts altres que funcionen de manera diferent amb certes peculiaritats:

Aquest primer tipus d'encenedor es característic per la generació d'una flama de color groguenc ja que la combustió que hi té lloc es incompleta per la falta d'oxigen coneguda com "flama de seguretat".

1. Els "Jet-lighters" són aquells encenedors que produeixen una flama blava que pot ser gairebé invisible. Aquests encenedors son molt més resistents a l'aire i la flama no es deforma sota els efectes de la gravetat, fent que sigui molt més accessible l'encesa d'elements de difícil accés. Tot i això alguns dels desavantatges d'aquest encenedor són l'alta temperatura de la flama i el gran consum de combustible. Tal i com veurem més endavant la generació de la espurna es produeix gràcies a un "piezoelèctric" en comptes d'un fregament mecànic.



Il·lustració 4: "Jetlighter"

2. Els encenedors de llumí permanents són especialment populars com a eina de supervivència. Aquests models incorporen un llumí metàl·lic que en el seu interior conte el combustible. Al retirar el llumí de l'encenedor que el resguarda dels agents exteriors, dispensa en petites quantitats la gasolina que amara una metxa de tela. Per tal



Il·lustració 5: "Permanent Match Lighter"

d'encendre'l, hom frega el llumí amb una de les parets de l'encenedor recobertes de material abrasiu o un fragment de pedrenyal.

3. Els encenedor elèctrics o encenedors de plasma suposen la nova revolució pel que fa al disseny i funcionament dels encenedors domèstics. Aquests encenedors no depenen de cap mena combustible convencional sinó que funcionen únicament amb la corrent elèctrica. Aquesta corrent elèctrica circula a través d'uns elèctrodes per tal de poder tancar el circuit creant així un fil a alta temperatura de plasma. Tot i les innovacions i l'espectacularitat del nou model no resulta molt pràctic a l'hora d'encendre elements de difícil accés, malauradament disposa d'una curta bateria (fet que ens obliga a carregar-lo mitjançant un carregador de mòbil comú contínuament) i és un *gadget* que fa un soroll molest i continu quant s'utilitza.



Il·lustració 6: "Plasmalighter"

4. Els "*Flameless-lighters*" són encenedors portàtils similars als que disposen els nostres vehicles. És a dir, funcionen de la mateixa manera, per una resistència (normalment una bobina) que és escalfada degut al pas de corrent elèctrica a través d'ella. Així doncs, aquest tipus d'encenedor aprofita l'*efecte Joule* per poder fer foc. Tal i com passa amb l'exemple anterior aquest tipus d'encenedor va bé en climes humits i ventosos tot i que disposen d'una curta bateria.



Il·lustració 7: "Flameless-Lighter"

5. Els encenedors catalítics són aquells que utilitzaven metanol com a combustible i un fil de platí. Tal i com ocorria amb la làmpada de Döbereiner el platí actua de catalitzador accelerant la reacció dels gasos inflamables amb l'oxigen de l'aire un cop s'obra el recipient en el qual s'emmagatzema el metanol. El platí, degut a la reacció s'escalfava creant una petita i estable flama. Tot i que aquests models van gosar de certa popularitat durant els anys 30, aviat es veurien eclipsats per els nous models que utilitzaven nafta com a combustible.



Il·lustració 8: Encenedor Catalític

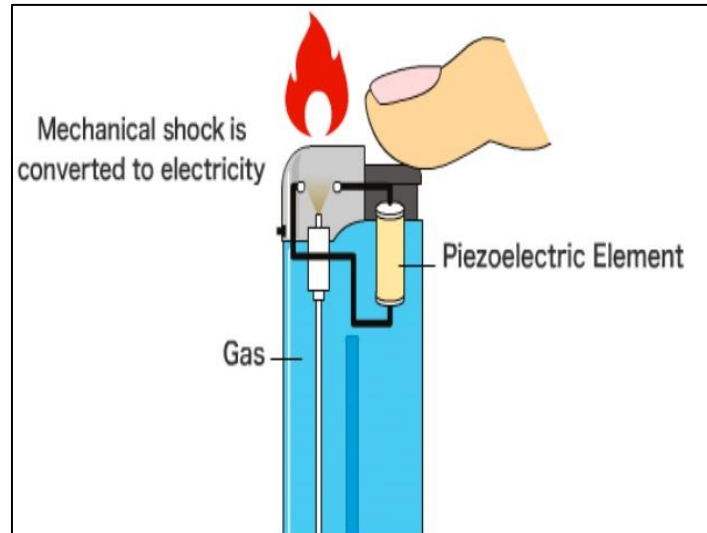
3.1.3. Sistema d'ignició de flama

Pel que fa a sistemes d'ignició de flama o de generació d'espurna destaquen dos sistemes diferents indistintament utilitzats en l'actualitat:

- El Sistema d'ignició piezoelèctric, és un mecanisme de creació d'espurna barat i molt comú en els encenedors més simples i funcionals. Tot i això els ignitors piezoelèctrics no sol es limiten als encenedors ja que són utilitzats en estufes, calderes i fogons de gas. Aquests sistemes prenen avantatge de la piezoelectricitat per poder crear l'espurna primigènia i així poder generar una flama estable. La piezoelectricitat¹, és un fenomen que es manifesta en certs cristalls i ceràmiques que donada una certa pressió o vibració (conegut formalment com: activació mecànica) són capaços de generar un voltatge elèctric suficient per tancar el circuit, fent passa aquesta corrent entre el buit

¹ Cal afegir, que la piezoelectricitat és present en molts altres aspectes de la nostra vida diària, poden trobar aquests sistemes en rellotges, micròfons, altaveus i en components d'ordinadors, al no dependre d'electricitat externa pel seu correcte funcionament

d'un elèctrode. L'electricitat, al canviar de medi forma l'espurna que encendra la flama del encenedor. Els avantatges que ofereix aquesta aplicació de la piezoelectricitat són l'abaratiment del cost de producció, l'alta eficiència i resistència del mecanisme vers els agents del medi.



Il·lustració 9: Diagrama del funcionament d'un Piezoelèctric en un encenedor

De ignitors piezoelèctrics en distingim de dos tipus; els sistemes d'ignició d'una capa que s'utilitzen en els objectes més quotidians (en el nostre cas, el que trobem en un encenedor), els quals funcionen de la següent manera: Un cop es prem el botó un martellet colpeja el cristall o material ceràmic generant voltatge. L'electricitat generada per l'ignitor d'una capa té un alt voltatge però en contrapartida ofereix una molt baixa intensitat. Per altra banda, els sistemes d'ignició multi-capça consisteixen en unes lamines ceràmiques molt fines superposades una amb l'altra amb petits elèctrodes entre capa i capa. Un cop es dona l'activació mecànica es genera un impuls d'elèctric d'una intensitat major. Aquest tipus de piezoelèctric pot funcionar com una mena de bateria solida capaç de subministrar una energia suficient per el correcte funcionament de certs sensors petits com p.e. els sensors de pressió de les rodes d'un cotxe o molts d'altres sensors en la domòtica.

- El ferroceri, és un aliatge pirofòric² metàl·lic que com ja hem explicat en la història de l'encenedor té una alta capacitat de crear espurnes quan es frega contra una superfície rugosa. En el cas dels famosos encenedors Clipper™, el ferroceri es frega amb una pedra foguera (pedrenyal) tot i que també s'hauria pogut usar el acer estriat com passa en altres marques d'encenedors.

Tot i que en els inicis aquest aliatge únicament consistia en ferro colat i ceri (Ce), avui en dia se li han afegit altres metalls pesants per tal de millorar-ne la seva eficiència i rendibilitat. Tot i això, les diferents varietats del ferroceri també són anomenades com "Auermetall" (sobretot als països germano-parlants), en memòria del seu creador. Tot i que la majoria de clients avui en dia troben més atractiu el sistema d'ignició del ferroceri, es pateix el risc de que es trenqui fàcilment el cilindre d'aquest aliatge o que es puguin descol·locar les peces en contacte fent el mecanisme inservible.



Il·lustració 10: Fragments de ferroceri

Aquesta és la composició del ferroceri modern:

Ferro	19%
Ceri	38%
Lantini	22%
Neodimi	4%
Praseodimi	4%
Magnesi	4%

²En diem un aliatge pirofòric, aquells aliatges que presenten la propietat de poder inflamar-se espontàniament a l'aire o en reacció amb l'aigua o en climes húmids quan es presenten en forma de pols o fines capes. Aquests aliatges si s'aglomeren en una peça solida seran capaços de generar espurnes fàcilment al exercir una fricció sobre ells.

3.2. Combustibles i carburants òptims per l'ús en un encenedor

Combustibles possible per a un encenedor n'hi ha molts i de diferents tipus (tal i com s'explica més endavant), però si analitzem el mercat dels encenedors. Aquests estan dividits en dos grans blocs: els encenedors líquids i els encenedors accionats a gas. El primer gran grup, és el més antic dels dos, els encenedors de gasolina van gaudir d'una amplia gran popularitat abans de la crisi del petroli del 1973 que va impactar greument a països desenvolupats com Estats Units. D'ençà aquella crisi, noves alternatives sorgiren al mercat que funcionaven d'una manera més eficient i amb menys residus o olors, els encenedors a gas. Si bé es pensa que el propà o butà fan pudor, aquesta mala olor s'afegeix al gas destinat a les instal·lacions domèstiques per identificar fàcilment una fuga. Els dipòsits de gas d'un encenedor no necessiten aquests additius al ser de poca capacitat i no suposar cap risc eliminant tot rastre d'olor.

3.2.1. El procés químic de la combustió:

La combustió és una reacció química exotèrmica³ generalment a alta temperatura. És desenvolupa en un medi heterogeni (de líquid a gas/ de sòlid a gas) o bé un medi gasos. La combustió fa referencia a un tipus de reacció per oxidació que es produeix de manera rapida. Quant ens referim a la combustió distingim entre dos grans tipus de reacció⁴, la combustió completa i la incompleta.

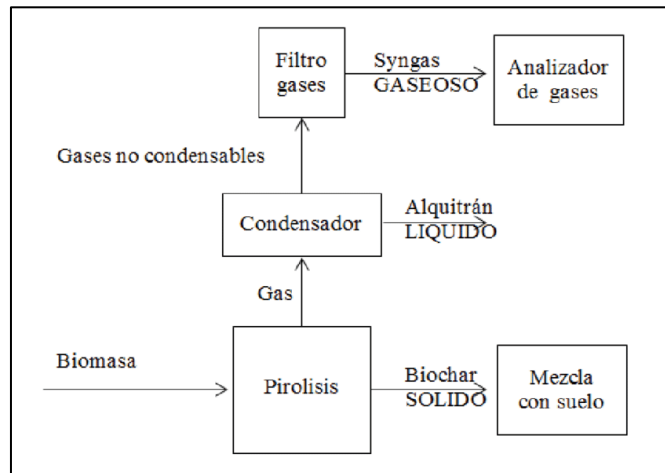
La primera d'aquestes, la combustió completa o perfecta, té lloc quant el combustible reacciona amb el oxigen per formar diòxid de carboni i vapor d'aigua. Per tal de que tot el combustible reaccioni fa falta una gran quantitat d'oxigen. Aquest tipus de combustió es la més eficient de les dos, la menys contaminant i la que desprèn més energia tèrmica en el punt àlgid de la reacció. Aquesta combustió es característica per fer la flama blava, indicatiu en que la reacció hi ha prou oxigen. Aquest tipus de combustió la trobem per exemple en un encenedor bunsen.

³ Una reacció exotèrmica es aquella reacció que desprèn energia en forma de calor al medi. Les reaccions endotèrmiques, en canvi, són aquelles que absorbeixen energia de l'exterior per poder funcionar (ex: fotosíntesis)

⁴ Tot i això cal afegir que també existeix una tercera combustió, artificial però, coneguda com combustió estequiomètrica. Aquesta combustió sol la podem trobar en laboratoris ja que consisteix en emprar la quantitat exacta de comburent per fer reaccionar un numero de molècules determinat

Per altra banda la combustió incompleta es diferencia de la primera per la poca quantitat de comburent disponible a l'ambient. Llavors la reacció desprèn monòxid de carboni (CO), el qual és altament tòxic per als humans i carbó. El carbó i el monòxid de carboni són anomenats compostos parcialment oxidats o compostos incremats. Aquest tipus de combustió s'intenta evitar en les instal·lacions domèstiques com els fogons de la caldera o de la cuina no solament per desprendre gasos que suposen un risc per la salut sinó que també per ser menys eficients. Aquesta combustió és fàcilment visible gracies al seu color de la flama groguenca i ha estat utilitzada al llarg dels segles per la humanitat.

Una variant de la combustió incompleta és la piròlisi, en aquests casos els combustibles cremen sense cap agent oxidant disponible. Aquesta tècnica s'empra per refinar matèries primes en nous productes elaborats. Els combustibles, pateixen canvis en la composició química irreversible i es separen en estructures més simples, trencant les cadenes d'òxids i hidrurs. Així doncs, amb aquest procés podem convertir la biomassa en carbó, reutilitzar el cautxú de les rodes i donar-lis una nova vida a certs plàstics usats.



3.2.2. Equacions químiques de la combustió:

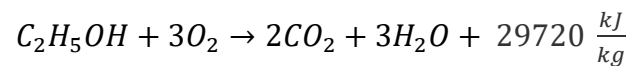
Podem simplificar l'equació de la reacció química de la combustió de la següent manera:

$$\text{Combustible} + \text{Comburent} = \text{Productes de Combustió} + \text{Energia Tèrmica}^*$$

**L'energia tèrmica despresada en la reacció es indicada per el PCS de cada combustible*

en $\frac{kJ}{kg}$.

- On normalment el combustible serà un hidrocarbur, el comburent l'oxigen i els productes de combustió el diòxid de carboni i el vapor d'aigua.
- En el cas de la combustió de l'etanol amb oxigen com a agent oxidant, tindriem la següent equació química:



Aquestes equacions, però, diem que són estequiomètriques ja que imposen en l'equació un número específic de molècules per tal de poder igualar-la i utilitzem com a comburent únicament oxigen. En la realitat, però, la majoria de combustions tenen lloc a en unes condicions diferents. Generalment en les reaccions de combustió caldrà tenir en compte altres elements químics presents en l'aire de l'atmosfera terrestre com per exemple nitrogen. Tot i que aquest no reaccioni en un principi, si la temperatura de la flama arriba als 1600 Kelvin o uns 1326 graus Celsius i un excés d'aire es present en l'equació comencen aparèixer nous compostos químics. En aquests casos el Nitrogen començarà a oxidar-se **NO₂**. En canvi i degut a l'alta temperatura, tant el diòxid de carboni i el vapor d'aigua és reduiran a **CO, OH i H₂** per el fenomen químic de la dismutació o desproporció⁵.

- De fet, aquesta característica de la combustió és el motiu pel qual els vehicles dièls produeixen emissions d'òxid de nitrogen al cremar el combustible amb un excés d'oxigen al necessari.

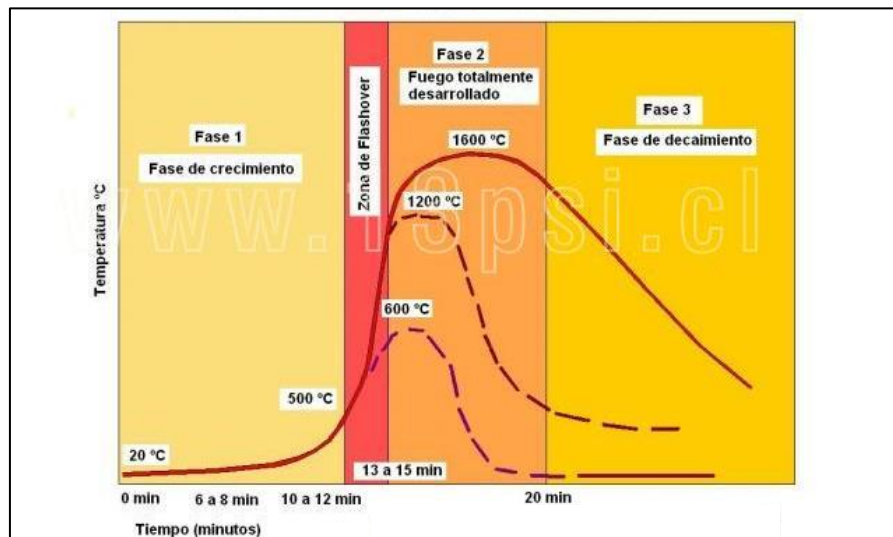
Per altra banda, en les combustions incompletes al haver aquesta ja nomenada mancança d'oxigen en la reacció, tornen aparèixer el perillós monòxid de gasos i alguns compostos estables com carboni en forma de sutge (partícules fines de carbó). Per poder arribar a formar el **CO** cal que l'oxigen es redueixi en un 50% del seu valor estequiomètric, és a dir, que es redueixi a la meitat el numero de molècules d'oxigen

⁵ La dismutació és una reacció redox (reacció on hi es present una transferència d'electrons entre els reactius) en el qual un mateix element és a la vegada oxidat i reduït)

necessàries per poder igualar la reacció. En canvi per que les primeres partícules de carboni es facin visibles aquest valor ha de disminuir fins al 35%.

La combustió és classifica en tres fases o etapes diferenciades:

- 1. Fase Inicial (de prereacció):** Durant aquesta primera fase, els hidrocarburs del combustible (compost a partir de carboni i hidrogen) es descomponen formant-ne nous composts inestables anomenats *radicals*.
- 2. Fase de combustió lliure (d'oxidació):** Ara es quant es produeix la reacció d'oxidació, els radicals es convinen amb l'oxigen desprenen una gran quantitat de calor
- 3. Fase latent (de terminació):** En aquesta última fase de la combustió es formen els compostos estables que anomenem productes de combustió. Alguns d'aquests productes de combustió en són: el fum [format per gasos resultants de la reacció (p.e. $CO_2 + H_2O$) i partícules de carboni, nitrogen i depenen del combustible sofre] o les cendres (compostos de matèria inorgànica incombustibles, com per exemple, sals minerals) .Aquesta fase es característica per l'absència de flames tot i que continua alliberant una gran energia tèrmica que va disminuint al llarg del temps.



Il·lustració 11: Fases del Foc

En el cas d'un encenedor, aquestes tres fases del foc passen a la vegada en diferents llocs de la flama, ara bé, cadascuna d'aquestes succeeix en una velocitat vertiginosa sent

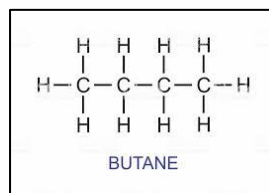
imperceptible per als nostres ulls. Una molècula de butà, doncs, pot passar de la primera fase fins l'última en qüestió de mil·lèsimes de segons.

- *Si bé estem acostumats a relacionar la combustió amb la flama, és a dir, amb una radiació lumínica visible produïda per la reacció, també existeix la combustió latent, una combustió a baixa temperatura sense flama que es propaga en combustibles porosos com la cel·lulosa. A més a més i des de els anys 90 s'ha descobert un tipus de combustió sense flama que té lloc en situacions molt específiques que sol s'ha aconseguit reproduir en espais tancats amb les condicions adequades.*

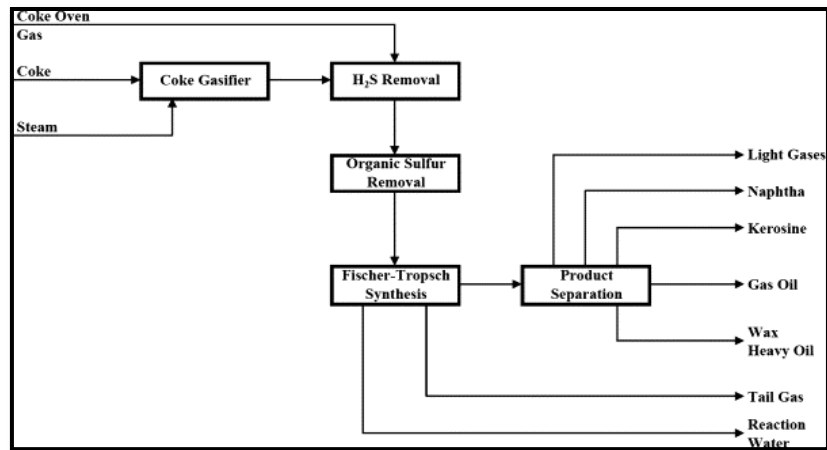
3.2.3. Diagrama de Ostwald:

És essencial, però, quatre elements per tal que tingui lloc aquesta reacció, comenci el foc o la flama i es mantingui encesa. Popularment, aquests quatre elements son coneguts com el *tetraedre de la combustió (diagrama de Ostwald)*, que es descriuen a continuació:

- **Combustible:** S'anomena així a qualsevol material capaç de reaccionar amb altres substàncies (el comburent) per tal d'alliberar energia en forma de calor. Els combustibles, per tant, durant la combustió, transformen la seva energia química a energia tèrmica. Els combustibles acostumen a estar compostats principalment de carboni (C) i de manera menys comuna d'hidrogen i sofre.



Tot i que n'hem utilitzat al llarg de la història, no ha sigut fins als últims segles en que el seu consum s'ha disparat al ser el responsable d'alimentar totes les centrals que generen l'electricitat i subministrar potencia als mitjans de transports. Podem trobar els combustibles en tots els estats possibles, essent combustibles tant naturals com sintetitzats i refinats per l'humà. Aquests últims són més eficients i ampliament usats en l'actualitat.



Il·lustració 12: Procés de Síntesi dels combustibles artificials

Un clar exemple de la transformació d'aquests combustibles naturals a artificials la trobem en el petroli del qual en generem nombrosos derivats amb moltes aplicacions diferents (dièsel, querosè, nafta...). O el gas natural del qual extraïem el combustible usat en la majoria d'encenedors d'avui en dia, el butà.

- **Comburent:** També anomenat *agent oxidant* és un compost químic que oxida una altra substància, és a dir en aquest procés d'oxidació, el comburent accepta els electrons del combustible, es redueix, mentre que el combustible al perdre els electrons s'oxida. D'aquesta reacció en diem que hi ha un intercanvi d'electrons. L'oxidant més comú és el propi oxigen que el trobem en la nostra atmosfera en una proporció del 21% (respecte als altres elements químics que la componen), també conegut com *dioxigen* (O_2). El comburent és necessari perquè la combustió s'iniciï i continuï cremant, si l'oxigen present en la mescla és inferior al 5% el combustible no s'encendrà.

En canvi, si no disposem d'aquest oxigen atmosfèric, el podem extraure d'altres compostos no gasosos com l'òxid o el nitrat de potassi (usats en els cartutxos dels coets pirotècnics).

- **L'energia d'activació (E_a):** És l'energia mínima requerida en un sistema químic per tal de fer possible la seva reacció. Aquesta energia es determina per la següent fórmula:

$$E_a = RT^2 \left(\frac{\partial \ln k}{\partial T} \right)_P$$

**Sempre i quant la pressió es mantingui constant*

- ❖ *On: R és la constant dels gasos ideals⁶, T la temperatura i k la constant de la reacció.*

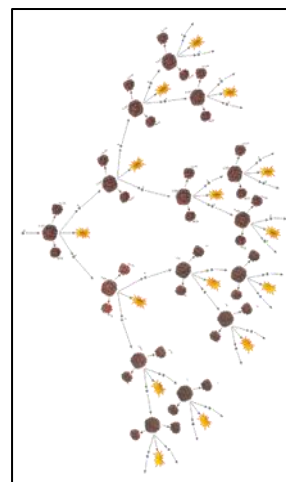
Perquè es dugui a terme una reacció, en aquest cas la combustió, dues molècules que actuen com a reactius (la molècula de combustible i la molècula de carburant) col·lisionen entre elles. Durant l'aproximació els seus electrons es repelarien entre si però degut a l'energia aportada per la E_a es venç aquesta repulsió i es permet la reordenació dels seus enllaços atòmics. És a dir, E_a que es una energia tèrmica és transforma en energia cinètica ja que un augment en la temperatura, suposa un augment en la velocitat en que es mouen les molècules. Aquesta energia cinètica es suficient no sols per vèncer el camp repulsiu d'electrons sinó de trencar els enllaços que componen aquestes molècules.

En el cas d'un encenedor tant domèstic com un encenedor bunsen, els sistemes d'ignició de la flama aporten aquesta *energia d'activació* iniciant la combustió que s'autoalimenta fent-ne una reacció energèticament favorable.

En aquests casos diem que l'energia d'activació pot esser classificada tant com mecànica, en el cas del ferroceri, o elèctrica, en el cas del dispositiu piezoelèctric.

⁶ La constant dels gasos ideals és una constant física que relaciona diverses variables dels gasos (volum, pressió, temperatura i quantitat de matèria). Aquesta constant fou introduïda per l'enginyer francès *Émile Clapeyron* i tot i que el seu valor sempre es el mateix, aquest pot estar expressat en diferents magnituds. Es considera un gas ideal aquell que compleix la següent equació: $Pv=nRT$, tot i que a la pràctica no en trobem d'aquests gasos, moltes vegades les diferències són mínimes amb els gasos reals.

- **Reacció en cadena:** És un fenomen en que un dels dos reactius de la combustió (o bé un àtom de combustible o un de comburent) s'estén a les molècules veïnes iniciant una successió de noves reaccions de combustió i una progressió exponencial del nombre de reaccions al llarg del temps. Aquesta reacció en cadena crea un "feedback positiu" de reaccions que es retroalimenta. És a dir, amb una despesa de molt poca energia som capaços de produir una gran quantitat de reaccions que desprenen una energia major a l'inicial i que a la vegada aquestes reaccions són capaces de mantenir-se funcionant per si soles al llarg del temps.



Il·lustració 13: Reacció en cadena de la combustió

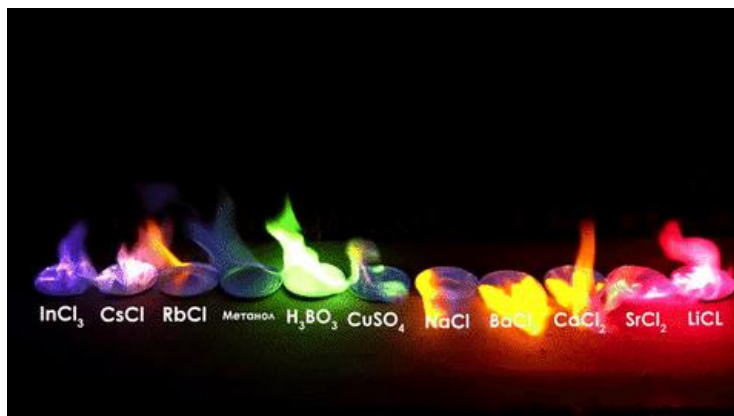
3.3. L'assaig a la flama i l'espectre d'emissió de certs metalls

L'assaig a la flama és un experiment utilitzat en el camp de la química i l'espectroscòpia per observar i identificar la presència de certs ions metàl·lics, basant-se en l'espectre d'emissió característic de cada element com a mètode per la seva detecció. Tot i que el color de la flama també pugui dependre de la temperatura d'aquesta o el percentatge d'oxigen en la reacció que hi està tenint lloc, no és fins que posem sota la flama una d'aquestes substàncies metàl·liques que apreciem un canvi de color prou notable.

Així doncs, i tot i que les tonalitats siguin bastant variables depenen de la subjectivitat de l'observador veiem com per certs compostos químics s'hi associa un color específic. Seguidament, es mostra un llistat de els principals elements que presenten un color marcat i específic sota la flama:

<i>Li</i>	<i>Liti</i>	<i>Roig carmí</i>
<i>B</i>	<i>Bor</i>	<i>Verd</i>
<i>Na</i>	<i>Sodi</i>	<i>Groc</i>
<i>Sr</i>	<i>Estronci</i>	<i>Roig</i>
<i>Ba</i>	<i>Bari</i>	<i>Verd poma</i>
<i>K</i>	<i>Potassi</i>	<i>Lila</i>
<i>Cs</i>	<i>Cesi</i>	<i>Porpra</i>

*Els compostos químics que contenen un d'aquests elements mencionats en la taula mantenen la mateixa propietat manifestant el mateix color o un de molt similar.



Il·lustració 14: Assaigs a la flama de diferents metalls

L'explicació per la qual veiem com certs metalls fan que la flama es tenyeixi de color resideix en el fenomen químic de la transició electrònica i l'excitació dels electrons de l'element. Quan posicionem l'element sota la flama, les molècules d'aquest s'evaporen degut a la alta temperatura. Durant el procés d'evaporació, els electrons absorbeixen part de l'energia tèrmica en qüestió de nanosegons fent que l'electró salti a un nivell energètic superior⁷.

Aquest canvi de nivell energètic provoca a l'electró una modificació en els quatre números quàntics que el defineixen fent, a la vegada, que canviï el seu estat quàntic⁸. Llavors, diem que l'electró ha patit una transició electrònica atòmica.

Un cop es produït aquesta transició diem que l'electró passar a estar a un estat excitat. Aquests estats excitats són altament inestables, degut això i després d'un breu moment,

⁷ En mecànica quàntica, un nivell energètic es un estat en el qual una de les variables és l'energia de l'element. Això ens permet classificar els electrons d'un àtom en diverses capes o nivells energètics de més energia a menys energia.

⁸ L'estat quàntic és l'estat físic que té un element en un moment específic, dins del marc de la mecànica quàntica. A diferència de la física clàssica, quant es mesura una magnitud diverses vegades es poden obtenir diversos resultats. Per això depenen del moment, l'estat quàntic d'un mateix objecte pot variar. L'estat quàntic, concretament el d'un electró, ve definit per els números quàntics que indiquen certes característiques d'aquest, una d'elles sent "l'energia que emmagatzemar".

l'electró tornar a decaure a nivells energètics inferiors alliberant l'energia electromagnètica en forma de fotons. La quantitat de fotons alliberats per l'electró serà proporcional a la diferència d'energia que hi hagi entre les dues capes. Depenen de cada element, l'energia o radiació electromagnètica emesa tindrà una freqüència diferent sent alguns visibles a l'ull humà i altres, en canvi, no veurem cap canvi de color.

3.3.1. Espectre d'emissió d'un element o compost químic

L'espectre d'emissió és l'espectre de freqüències de radiació electromagnètica que un element químic pot irradiar. A cada tipus d'element químic li ve associat un conjunt de transicions electròniques amb una proporció única, cada una de elles amb una diferència energètica específica. Aquesta diferència energètica de cada transició és el que determina la longitud d'ona del fotó o freqüència de la radiació, és a dir, el color que produeix. Cada una de les transicions produeix un color, i amb la suma de totes les transicions obtenim la tonalitat que finalment s'observa quan l'element està cremant sota la flama.

En el cas del liti, per exemple, presenta un color roig molt viu al tenir una gran quantitat de transicions elèctriques que permeten que les freqüències dels colors càlids ens arribin als nostres ulls. Altres transicions que formen colors diferents als rogencs es troben en una proporció molt menor fent que siguin colors inapreciables a simple vista. El mateix passa amb el bor i el color verd.



Il·lustració 15: Espectre d'emissió del Liti



Il·lustració 16: Espectre d'emissió del Bor

Cos del treball

4. Objectiu del treball

L'objectiu d'aquest treball és el següent:

- Disseny i tria d'un model d'encenedor que permeti el canvi de color de la flama i que a la vegada no comprometi la practicalitat d'aquest ni modifiqui enormement la funcionalitat del propi encenedor ni la seva estructura.

Per tal de poder aconseguir l'objectiu d'aquest treball, es plantegen diferents models de funcionament per a l'encenedor. Cada model té un mecanisme propi per el qual fa que la flama canvi de pigment entre d'altres característiques pròpies. Apart dels diversos mecanismes també es discutiran quins combustibles són els adients i quin prototip d'aquest és el més eficient, pràctic i factible.

Els podem dividir però amb dos grans blocs, els de subministrament líquid (àcid bòric mesclat en una dissolució líquida) (Models 1.) i els de subministrament sòlid (els quals l'àcid bòric s'introdueix directament a la flama sense realitzar cap dissolució prèvia) (Models 2.).

Al final del treball s'escollirà quin és el model que assoleix de manera més satisfactòria aquest objectiu tot presentant-ne les conclusions i noves vies d'investigació.

4.1. Models 1 - Encenedor amb subministrament líquid

Aquests models funcionen de la següent manera, el encenedor conté dos petits dipòsits un el qual està ple de combustible líquid que al ser alliberat a l'aire pateix un canvi de pressió i es torna gasós i l'altre on està mesclat el reactiu que canvia de color amb una dissolució líquida. Com avantatja, el primer dipòsit de combustible ens permet transportar una gran quantitat de combustible en molt poc espai al estar comprimit a pressions molt majors a la pressió de la nostra atmosfera terrestre. Aquesta pressió que pateix el combustible fa que es condensi però un cop es prem el botó, i té lloc la diferencia de pressions, el combustible s'evapora ràpidament.

Aquest model que presenta dos dipòsits independents pel funcionament de l'encenedor, parteix d'un inconvenient clar. Al haver-hi una peça extra, la mida s'engrandeix notablement fent-lo més voluptuós i poc pràctic de transportar en espais petits com butxaques de pantalons o de camisa.

Donada la impossibilitat d'introduir el compost químic dins el dipòsit del combustible ja que de fer-ho així les partícules sòlides podrien quedar-se obstruïdes a l'estreta sortida del dipòsit, ho separem en dos petits dipòsits.

Dins d'aquest model neixen dues variants en que la mescla que provoca el canvi de color s'entreguen de manera diferent a la flama.

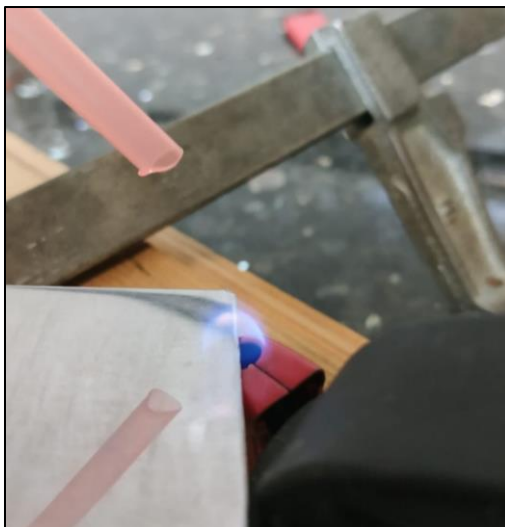
A més, sorgeix finalment una tercera opció, inspirada en les encenedors de gasolina de tipus Zippo els quals utilitzen combustible líquid en comptes de gasos a altes pressions essent necessaris un únic dipòsit.

4.1.1. Encenedor amb Conta-Gotes (Model 1.1)

Tal i com diu el seu nom, la mescla es subministrerà de manera controlada i regulada únicament quant es premi el botó que activa a la seva vegada el combustible. Serà necessari però que la mescla sigui soluble amb el dissolvent tirat i que sigui una dissolució heterogènia.

Per provar si es viable aquest model es crea un prototip molt rudimentari de l'encenedor més aviat pràctic que estètic, en el qual es comprova la dissolubilitat del (en aquest cas) àcid bòric amb diferents dissolvents i l'eficàcia del prototip. En cada cas es mirarà quanta quantitat de mescla es necessita per canviar la flama totalment de color durant 30 segons.

El muntatge de l'experiment constava d'uns llistons de fusta fixes gràcies a un serjant per aguantar l'encenedor immòbil. Un altre serjant pressionant el boto de l'encenedor per permetre un flux constant de gas. Un tubet flexible de plàstic que permeti comunicar el dipòsit on s'hi troba la dissolució amb la resta del sistema, per un futur model final es consideraria posar una punta metàl·lica a la via resistent al calor de la flama ja que sinó les altes temperatures podrien deformar el tubet podent dificultar-ne el pas. Una platina d'alumini on hi caurien les gotes de la dissolució. D'altra banda, si fossin tirades directament a damunt no solament podrien apagar la flama i obstruir la vàlvula de gas butà sinó que també seria poc pràctic per el disseny d'un encenedor final a l'ocupar, el sistema de subministrament, espai útil de la flama i impedit la seva correcta funcionalitat. En tot cas, el subministrament líquid d'àcid bòric hauria de fer-se de manera esbiaixada o paral·lela a la flama per tal de destorbar el més mínim en la mesura del possible a l'usuari, alhora de per exemple encendre's una cigarreta.



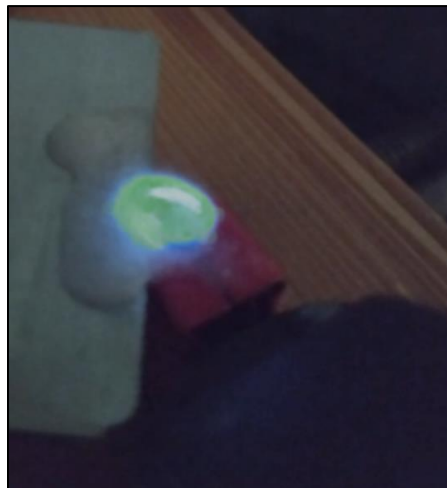
Il·lustració 17: Muntatge de l'experiment abans de passar-ne la dissolució

Les dissolucions elegides en primera instància foren concentracions d'un 20% d' H_3BO_3 amb H_2O , la poca concentració de la mescla era responsable de la poca viscositat del líquid fent molt fàcil que la dissolució s'escampés i circulés per llocs inadequats, aquest problema sol augmentaria en la realitat en que l'encenedor no estaria totalment recte respecte el terra ni estable o quiet. A més l'aigua impedia el canvi de color de l'àcid bòric. Per les següents dissolucions es va idear una composició amb una concentració del 80% d'àcid bòric i es substituïa l'aigua per etanol que era inflamable. En concentracions tan elevades la dissolució es trobava saturada amb un excés considerable de solut respecte el solvent. Així doncs, en comptes de dissoldre's, la mescla es separava en dos estrats quedant l'àcid bòric que era més dens al fons del tub de precipitats i fent que a l'hora de subministrar l'agent del canvi de color, sol es transportés l'etanol. Tot i això i manualment es va introduir dins el conducte àcid bòric amb l'etanol. Efectivament aquesta vegada el canvi de color hi tenia lloc i tal i com s'esperava la gota de la mescla es mantenia ferma al lloc. Ara bé, l'etanol de la mescla que era inflamable cremava amb molta facilitat encenent-se, tot i això no podent semblar un problema en un principi, la flama alimentada per l'etanol continuava encesa fins i tot després de parar de prémer el botó. Això però no es vol permetre ja que un dels objectius del treball era construir un encenedor que no alterés el mètode de

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

funcionament d'un encenedor convencional, dit en altres paraules, el prototip d'encenedor hauria de funcionar de la mateixa manera que un de normal.

Finalment es va idear una nova concentració aquesta vegada augmentant la concentració fent que en comptes d'assimilar-se a un líquid, la dissolució, aquesta recordes a una mena de matèria viscosa densa. S'elegí una concentració del 175% d' H_3BO_3 respecte del solvent que seria una combinació de $\frac{2}{3}$ d'etanol amb $\frac{1}{3}$ d' H_2O . D'aquesta manera tot el solvent era absorbit per el solut que quedava amarat pels líquids. Al baixar pel tub, la mescla relliscava encara amb prou facilitat tardant això si 1.5 segons pels 8 centímetres de llargada del conducte. A l'arribar a la platina s'hi produïa el canvi de color a la flama d'una mida una mica més petita de l'estàndard. Un cop es parava de prémer el botó, tot i que a vegades amb certa dificultat, l'aigua de la mescla aconseguia apagar satisfactòriament la flama que hi quedava.



Il·lustració 18: Flama amb contacte amb la dissolució escollida

Un cop escollida la mescla que més s'adequava als reptes proposats es realitzà la prova per saber tal i com s'ha dit amb anterioritat quina seria la quantitat de la dissolució necessària per gaudir d'una durada raonable.

Es prengué com a unitat de mesura les gotes que s'introduïen al sistema. Abans però s'havia de conèixer el pes d'una única gota. Al fer recerca, si bé és cert que hi podíem trobar el pes d'una gota aquesta era una gota d'aigua la massa de la qual s'estima ser

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

d'uns $\frac{1}{1000} g$, per tant i donades les diferències evidents entre una gota d'aigua i la "gota" de la mescla elegida es va optar per determinar el pes de cada gota de la nostra dissolució. En una balança de precisió hi introduiríem gota a gota fins pesar aproximadament 1 gram i llavors dividir-lo pel número de gotes que hi havia caigut.

- El pes d'una gota de la dissolució:

$$1.82 \text{ gram} = 4 \text{ gotes} \Rightarrow 1 \text{ gota} = 0.455 \text{ grams}$$

Taula de valors:

	Àcid Bòric (H_3BO_3)
Quantitat de gotes subministrades	3 gotes
Massa d'àcid bòric emprada (g)	1.365 grams
Temps absolut amb canvi de color visible	32 segons
Temps amb canvi de color per gota	10.67 s/gota
Quantitat d'àcid bòric per segon (g/s)	0.04 g/s

Amb l'ajuda de les dades obtingudes, es podria estimar el pes afegit que tindria el model final tractant-se de la durada d'un encenedor qualsevol. Per igualar-se a un encenedor de gas hauríem d'afegir un dipòsit de uns **108 grams** extra. El pes doncs de l'encenedor, doncs no seria un inconvenient tan important. En canvi, penso que una de les principals desavantatges podrien ser: primerament les condicions en que es podria utilitzar l'encenedor, la intensitat de la flama, és a dir, la facilitat amb la qual es percep el canvi de color, és baix a ull nu al llarg del dia en ambients clars. Un desavantatge important del model seria la evaporació dels líquids de la mescla, a l'estar exposats a l'aire lliure, gradualment l'etanol i l'aigua es convertarien en vapors secant la mescla obstruint el tubet. Si es seca la dissolució en perdem totes les avantatges així que segurament la durada de l'encenedor vindria més condicionada per la quantitat d'àcid bòric que hom pot usar abans de que aquest es sequi.

4.1.2. Encenedor amb pulveritzador (Model 1.2)

L'encenedor, en comptes de subministrar la mescla mitjançant petites dosis, ruixa a l'accionar el mateix botó que alimenta la flama de gas una quantitat de la mescla emmagatzemada en un dipòsit a pressió, similar als aerosols o als pulveritzadors que es troben en qualsevol supermercat. A l'hora de construir un prototip rudimentari, s'elegeix encarar l'experiment amb l'ús d'un pulveritzador ja que és més fàcil de manipular.

Seguint el mateix muntatge que en el model anterior hi afegim un pulveritzador el qual conte una dissolució d'etanol i àcid bòric. Per aquesta dissolució s'intenta que no es saturi perquè totes les molècules que no quedin dissoltes cauran al pòsit del dipòsit sense ser mai utilitzades. Després d'intentar amb diverses concentracions s'escull la que després d'haver-la deixat reposar uns dos dies dilueix gairebé tot rastre d'àcid bòric (es va observar experimentalment que tot i a priori podien semblar insolubles, la mescla del dissolvent etanol i l'àcid bòric acabaven mesclant-se de manera homogènia). Aquesta, presenta un tèrbol color blanquinós.



Il·lustració 19: Muntatge de l'experiment amb l'aerosol

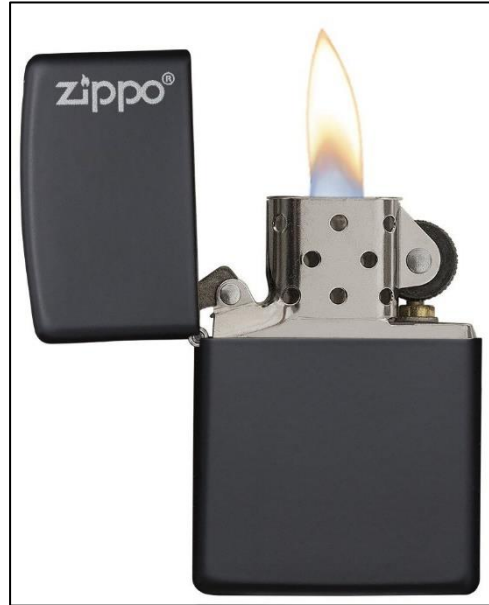


Il·lustració 20: Mescla quasi homogènia on s'aprecien les traces d'àcid bòric

Sorprenentment, al mode del aerosol de ruixar amb menys intensitat (tancar més la vàlvula) no s'aprecia cap canvi de color i a l'intentar augmentar-ne la intensitat la pròpia ràfega apaga la flama.

4.1.3. Encenedor d'únic dipòsit (*Similar a un Zippo®*) (Model 1.3)

Aquest model d'encenedor està inspirat en els clàssics encenedors de la marca americana Zippo. L'avantatge que ofereix aquest model és el tipus de combustible que utilitza. En el cas del Zippo o de marques similars utilitzen una gasolina especialment destil·lada que genera menys residus i olors, aquesta gasolina amara un tros de cotó fluix que es troba en l'interior del dipòsit. El líquid abastirà la flama gràcies a la capil·laritat del combustible, que a la seva vegada depèn de la tensió superficial d'aquest, aquest fenomen permet que la gasolina arribi fins la part més superior de l'encenedor, fins l'obertura on es troba la metxa. Així doncs la flama no és mantindrà encesa gràcies als gasos inflamables, com en els casos anteriorment vist, sinó amb la humidificació de la metxa.



Il·lustració 21: Icònic encenedor de la marca Zippo®

Això ens permet eliminar el segon dipòsit i mesclar tan la gasolina com l'agent que produeix el canvi de color (recordem que en aquest cas és l'àcid bòric). A priori, aquest funcionament, d'arribar a funcionar, sembla dels més adequats a l'eliminar el problema d'espai i poca practicalitat dels dos models anteriors.

- **Prova 1 :**

Abans però de provar el model en un encenedor del tipus Zippo primer es va voler demostrar si l'àcid bòric es podia dissoldre fàcilment amb el combustible i si un cop dissolt, l'àcid era capaç d'ascendir a la flama tot mantenint les seves propietats:

El combustible elegit per la prova és l'etilè degut a el seu barat cost. Primerament mesclem 2.03 grams de H_3BO_3 amb 30.65 grams de C_2H_5OH . Tot i mesclar-lo durant uns 3 minuts veiem que l'àcid bòric és poc soluble deixant un pòsit al fons del petit bol. Tot i això, es pot observar experimentalment que la quantitat d'àcid bòric a

disminuït lleugerament, així doncs, es decideix posar la mescla dins d'una làmpada d'alcohol de laboratori. Al moment d'encendre'l es comprova com la flama produïda si que pateix un lleuger canvi de color, tot i això el color taronja groguenc característic d'una combustió incompleta opaca en certa manera el color verd de l'àcid bòric.

L'endemà veiem com tot l'àcid bòric s'ha dissolt correctament amb l'etanol tot i això la intensitat del seu color no canvia radicalment.

Les conclusions que s'extrauen en aquesta primera prova són varies, la primera de totes és la solubilitat del H_3BO_3 , tot i que en un principi es veia com no s'acabava de mesclar d'una manera homogènia, al cap d'un bon temps resulta ser prou solubles desapareixent per complet qualsevol rastre d'àcid bòric.

També es comprova que efectivament les molècules de l'àcid ascendeixen conjuntament amb l'etanol i gràcies a la tensió superficial a la part exterior de la metxa, fent viable aquest mètode de subministrament.

Com a desavantatge clara que s'observa és la poca intensitat del color verdós produït per la mescla, fent la molt visible sobretot en ambients foscs ja sigui a la nit o en habitacions amb els llums apagats. Si bé la flama és present en entorns amb molta llum, hom la pot trobar gairebé invisible. Això ho atribuïm al fet de que la flama sigui una combustió completa, és a dir, degut a l'abundant oxigen disponible al voltant de la flama fa que s'elimina cap altre color residual (signe de la cremació incompleta) que no sigui el verd. Així doncs, en les següents proves s'intentarà augmentar la intensitat del color per tal de pal·liar aquest inconvenient.

- **Prova 2:**

Emprant encara la làmpada d'alcohol de laboratori ara crearem una mena de compost molt dens format per una gran concentració d'àcid bòric amb una mica d'etanol per donar-li certa viscositat. Amb l'ajuda d'unes pinces i una espàtula s'amarrarà la metxa amb la "pasta" de manera que es creï una capa exterior d'àcid bòric i que penetri dins l'estructura interna de la metxa. Un cop encenem la làmpada veiem com la intensitat del color verd augmenta substancialment comparant-ho amb la primera prova. Tot i això s'observa que com més fosc sigui l'ambient més impacte genera visualment. Es va considerar que el color produït en aquesta prova era el pigment desitjat i el més adient per al model final que es podria arribar a comercialitzar.



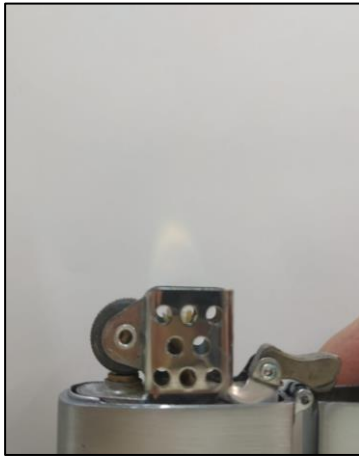
Il·lustració 22: Efecte de la flama verda a la làmpada d'alcohol

- **Prova 3:**

Paral·lelament a la prova 2, es repeteix el mateix procediment de la primera prova canviant-ne el recipient utilitzat i les proporcions. S'emprarà ara l'encenedor Zippo i s'introduirà a la part del dipòsit una dissolució 4.12 grams d'etanol amb 0.52 grams d'àcid bòric, és a dir, una concentració del 11% respecte a la concentració anterior de la prova anterior del 6%.

A l'hora d'utilitzar l'encenedor se'ns presenten alguns de les desavantatges vists amb anterioritat juntament amb un parell de nous contratemps. Si bé és cert que la flama continua sent poc visible, se li suma a més, la petita flama que produeix l'encenedor i sobretot, la ràpida evaporació de l'etanol fent que sol es pugui encendre un parell de vegades i relativament amb poc temps. Tot i que podria ser un defecte de fabrica fent que el dipòsit estigues sellat malament o que a l'hora de

desmuntar-lo i tornar-lo a muntar s'hagués descol·locat lleugerament alguna pesa que ajudava a aïllar-lo, s'atribueix al tipus de combustible usat.



Il·lustració 23: Flama del Zippo amb la dissolució de l'11% amb un ambient il·luminós



Il·lustració 24: Flama del Zippo amb la dissolució de l'11% en un ambient fosc

Es comencen a provar experimentalment diferents tipus de combustibles per tal d'obtenir-ne una millora en la reacció i per lo tant una major intensitat en el color i a la vegada solucionar el problema de la volatilitat del comburent.

També però es va pensar en l'opció de que el problema no radiques en la volatilitat del combustible, sinó en la tensió superficial interfacial de cada líquid, expressada en N/m. Aquesta tensió superficial determina la altura que pot ascendir un líquid per capil·laritat, en cas de que l'etanol presentes coeficients de tensió superficial més baixos als d'altres combustibles explicaria el perquè del mal funcionament al no poder arribar l'etanol líquid al punt més alt de metxa. Després de comparar els valors de tensió superficial dels combustibles es va desestimar que aquest fos el problema al ser valors prou similars el uns amb els altres tot i tenir resultats molt diferents:

Líquid	γ ($10^{-3} N/m$)
Alcohol Etílic	22.8
Gasolina	26.0
Aigua	72.8

- També, el volum de líquid que ascendeix per la metxa ve determinat per la densitat, que en aquest cas els dos combustibles presenten una densitat bastant similar (mirar taula de valors que es presenta a continuació); i per la porositat del material de la metxa. Tot i això, la metxa emprada en totes les proves fou la mateixa, i com conseqüència es pensà que no és problema de la metxa, com més endavant és podrà comprovar.

Com a primera opció, es tria el metanol o alcohol metílic. Aquest combustible actua com a millor dissolvent que l'etanol i al entrar amb contacte amb l'àcid bòric reacciona creant borat de metilè que en contraposició amb el borat d'etilè que formava l'etanol, aquest genera una major "excitació" en els electrons de l'àcid bòric durant la combustió creant un color més intens i més visible en entorns amb bastanta llum. Aquest líquid però té fins i tot un punt d'ebullició encara més inferior que l'etanol. Experimentalment es comprova que la flama del encenedor, aquesta vegada abastida per metanol, efectivament genera un color més intens, ara bé, al cap d'uns quants minuts, hom és incapaç de tornar encendre'l.

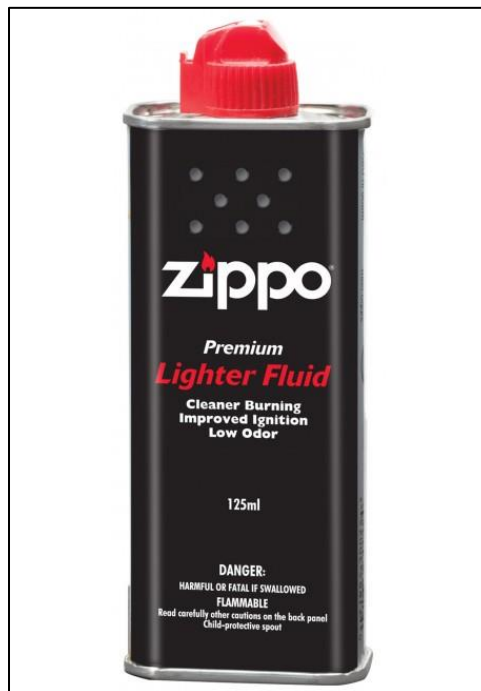
Seguidament es va provar amb el butanol (n-butanol). Aquest tipus de combustible té un punt d'ebullició major als anterior, tot i això, però, es va desestimar ràpidament degut a la insolubilitat que presentava mesclat amb l'àcid bòric. Un cop encès l'encenedor la flama era pràcticament incolora perdent tot rastre de color verd, fins i tot en entorns amb poca llum.

Com a última opció dels principals combustibles líquids que es troben al mercat es va provar amb la nafta. Tot i que les propietats de la nafta poden variar molt, depenen de cada marca, tots els derivats d'aquesta tenen com a punt en comú el seu alt punt d'ebullició, reduint-ne dràsticament la seva volatilitat. A més a més, cal afegir que la nafta es un líquid altament inflamable amb altres additius que en milloren no sols la seva combustió sinó la facilitat amb la que comença a cremar.

Quan es va aplicar la nafta als encenedors en comptes dels altres combustibles, es va observar experimentalment com la durabilitat del producte augmentava





dràsticament. Es suplia doncs el problema principal que tenia el prototip, amb la nafta l'encenedor podia encendre's totes les vegades que hom vulgues i no semblava que el pas del temps afectes a la funcionalitat del producte.





Finalment, doncs, es va optar per la nafta, també conegut com èter de petroli. Aquest combustible, amb lleugeres modificacions en la seva composició, és l'utilitzat per marques d'encenedors d'aquest estil com Zippo® o Clipper® al tenir un punt d'ebullició gira al voltant dels 160 i 220 graus centígrads, depenent de les proporcions elegides per la marca. La nafta, depenen de la seva composició se li anomenarà Nafta lleugera o Nafta pesada. (No s'ha de confondre amb el regionalisme d'alguns països llatinoamericans en que nafta és sinònim de Gasolina).



Il·lustració 25: Combustible per a encenedors (90% Nafta)

Seguidament es presenten les fitxes de seguretat i algunes de les característiques dels combustibles emprats en les proves:

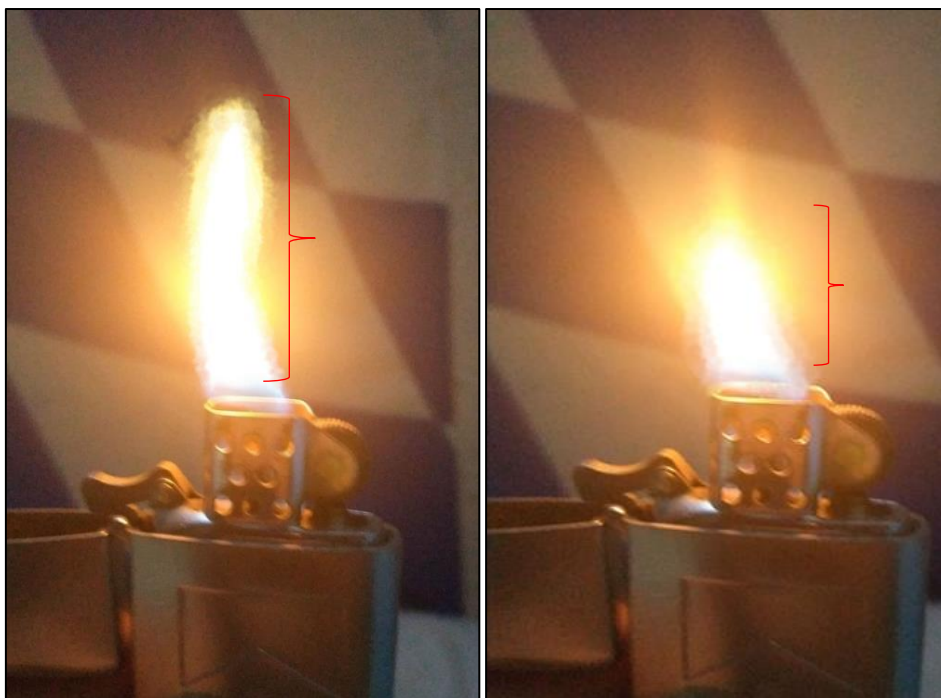
	Etanol (IPCS, Ficha de Seguridad Etanol, 2002)	Metanol (IPCS, Ficha de Seguridad del Metanol, 2000)	Butanol (PROQUIMS A, 2019)	Nafta (Universidad Nacional de Costa Rica, 2016)
CAS	64-17-5	67-56-1	71-36-3	8032-32-4
RTECS	KQ6300000	PC1400000	EO1400000	OI6180000
UN Number	1170	1230	1120	(-)
Fórmula Química	C ₂ H ₆ O	CH ₄ O	C ₄ H ₁₀ O	Mescla d'hidrocarburs: (80% Gasolina, 10% Etilè, 10% Metilè)
Massa Molecular (uma)	46.1	32.0	74.123	110 (Aprox.)
Densitat	789 kg/m ³	792 kg/m ³	810 kg/m ³	736 kg/m ³
Punt d'Ebullició (°C)	78	64	117	160-220
Punt de Fusió (°C)	-114	-97.6	-89.8	-40
Temp. Autoignició (°C)	363	385	343	288
Capacitat Calorífica	112 J/mol·K	68,62 J/mol·K	137.88 J/mol·K	228 J/mol·K
Entalpia de combustió	-1367 kJ/mol	-726,4 kJ/mol	-2670 kJ/mol	
NFPA 704				

<p>Pictogrames de Perillositat:</p>				
<p>Perills</p>	<p>Líquids i vapors altament inflamables. Alta exposició amb la pell pot causar fatiga, somnolència i enrogiment de l'epidermis.</p>	<p>Líquids i vapors altament inflamables. Altament tòxic, la seva inhalació pot causar alteracions a la vista, tos i nàusees. La seva ingestió pot causar convulsions, vòmits o dolor abdominal.</p>	<p>Líquids i vapors altament inflamables. Irritació amb contacte amb els ulls i amb llargues exposicions amb l'epidermis. Ingestió del Butanol pot provocar pèrdua del coneixement i en casos extrems, la mort.</p>	<p>Líquids i vapors altament inflamables. Líquid cancerigen que pot provocar defectes genètics, irritació cutània, somnolència. Pot causar la mort en cas de la seva ingestió. Tòxic per organismes acuàtics. La seva inhalació pot perjudicar en la fertilitat d'individus.</p>

Tot i haver solucionat un dels problemes ocasionats pels anteriors tipus de combustibles, a l'hora d'utilitzar la nafta presentava un altre repte per tal de assolir els estàndards que s'havien proposat. És a dir, l'encenedor no sol ha de fer la flama de color sinó que ha de mantenir en la mesura de lo possible les mateixes avantatges i característiques que un encenedor convencional. Aquesta vegada, quan es tractava d'acoblar els diferents components de l'encenedor s'observava com el color de la flama no patia el més mínim canvi.

En les primeres proves, es va introduir l'àcid bòric a l'interior del dipòsit amb concentracions similars a les de la 3a prova és a dir al voltants del 15%, exactament 6 grams de nafta per 0.9 grams d'àcid bòric. La flama però era de magnituds innecessàriament grans i una gran porció d'aquesta era una flama amb poc oxigen, és a dir, que es feia evident la seva mala combustió al tenir el característic color groguenc. Es va pensar a priori que seria més culpa de la quantitat de combustible que s'havia introduït que cap altra cosa, es va intentar doncs regular el "cabdal" de la flama d'un encenedor de tipus Zippo. Si s'aconseguia reduir la mida de la flama, no seria tan gran i estaria millor oxigenada desembocant en una millor visibilitat del color verd de l'àcid bòric.

Aquesta regulació en canvi no és tan accessible i fàcil d'aconseguir com en un encenedor de gas, el qual conta amb una petita llengüeta lliscant que et permet ajustar l'obertura del dipòsit de gas. En canvi, en els encenedors de gasolina i després de fer-ne recerca, es va observar que una de les marques que comercialitza aquests encenedors recomanava oprimir la metxa contra les parets del dipòsit o fins i tot comprimir la metxa amb una mena de volandera metàl·lica ajustable. Aquesta a l'enroscar un cargol que disposa en un dels costats disminueix el diàmetre interior de la volandera estrenyent, a la vegada, la metxa que hi passa i fent-la més petita. Així doncs, reduint el radi momentàniament el que aconseguim es que la quantitat de nafta que ascendeix per la metxa gràcies a la tensió superficial per unitat d'espai sigui menor.



Il·lustració 26: Gran flama abans de posar-hi la volandera (esquerra)

Il·lustració 27: Flama amb la modificació de l'encenedor (dreta)

Tot i que va tenir efecte, el color de la flama continuava sent present esmorteït qualsevol altre pigment, així doncs es va modificar la mescla augmentant-ne la concentració gradualment.

- Es varen provar concentracions del 50% (6 grams de nafta amb 3 grams d'àcid bòric) i del 78% (6 grams de nafta amb 4.68 grams d'àcid bòric).









Per molt que s'augmentés la concentració no sorgia cap efecte, es pensà doncs que potser simplement la nafta no reaccionava de cap de les maneres amb el reactiu en aquest cas l'àcid bòric. Per comprovar-ho de la manera més senzilla es va establir un ràpid experiment, en dos vasos de precipitats es posaria la mateixa quantitat de reactiu, en el cas present, es indiferent quina sigui la concentració respecte el dissolvent mentre que els dos vasos de precipitats continguin la mateixa quantitat d'àcid bòric. En un d'ells li posaríem etanol (alcohol de farmàcia) que ja havia demostrat amb anterioritat que reaccionava amb l'àcid bòric excitant-ne els seus electrons i provocant el canvi de color, i a l'altre vas s'hi posaria la mateixa nafta que s'havia estat utilitzant pels encenedors.

Després d'encendre's es va arribar a la conclusió que la nafta no permetia cap canvi de color al no reaccionar. Mentre que l'etanol produïa una flama molt poc visible a simple vista, al principi de l'encesa, ràpidament adaptava el color verd amb el pòsit d'àcid bòric del final del vas. En canvi, en el cas de la nafta aquesta cremava amb molta virulència mentre que semblava que no es vegues gens afectada per l'àcid bòric que s'estenia per la base del vas arribant a temperatures tan altes que fins i tot perdia el color blanc del component químic passant a un color més aviat negre.

Fins i tot es va a provar de canviar de reactiu pensant-se que cabia la possibilitat de que la nafta fos millor dissolvent depenent del reactiu que s'empres. Així doncs, es va optar per un altre metall de transició que feia el canvi de color cap a un pigment rogenç, el clorur de liti.

Tal i com es mostrarà més endavant en la taula, es va desestimar l'opció de crear un prototip viable de "subministrament líquids" (tal i com se'ls ha anomenat en aquest treball), és a dir encenedors en que el combustible estigues en estat líquid en tot moment. Si bé es cert que es va aconseguir canviar el color de la flama d'una làmpada d'alcohol, al passar aquest mateix model en un encenedor tradicional similars als de la famosa marca Zippo, sorgien nombrosos problemes. En cas d'utilitzar combustibles com l'etanol o el metanol el problema principal era la durabilitat del producte fent lo inútil passats un quan temps al no poder produir més flama. A més, els encenedors alimentats per etanol produïen una flama més aviat petita, de poca intensitat i, consegüentment, poc visible (tot i que segurament s'hagués pogut solucionar). A l'hora d'utilitzar la nafta, el problema de la durabilitat es suplía però ara no es produïa cap canvi del color.

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

+	Etanol	Nafta
(Sense additius)	 A photograph showing a flame of pure ethanol. The flame is a pale, almost colorless blue, indicating a clean and efficient combustion process.	 A photograph showing a flame of pure kerosene. The flame is bright yellow-orange, characteristic of a hydrocarbon fuel with a higher carbon content.
Àcid Bòric	 A photograph showing a flame of ethanol with boric acid added. The flame exhibits a distinct green color, which is a characteristic emission spectrum of boron.	 A photograph showing a flame of kerosene with boric acid added. The flame appears yellow-orange, similar to pure kerosene, with no significant color change.
Clorur de liti	 A photograph showing a flame of ethanol with lithium chloride added. The flame is a bright, intense red color, characteristic of lithium ions.	 A photograph showing a flame of kerosene with lithium chloride added. The flame is yellow-orange, similar to pure kerosene, with no significant color change.
Després de la combustió	 A photograph showing the residue left in the burner after the ethanol flame. The residue is a thin, white, crystalline layer, likely boric acid.	 A photograph showing the residue left in the burner after the kerosene flame. The residue is a dark, sooty, and irregular layer, characteristic of carbon deposits from hydrocarbon combustion.

4.2. Model 2. Encenedor amb subministrament sòlid

Els següents models funcionen cadascun una mica diferent, tot i que comparteixen una similitud, la substància que produeix el canvi de color està en estat sòlid (la majoria de vegades en forma de petits cristalls blancs). D'igual manera que en els models anteriors, l'encenedor conté dos petits dipòsits un el qual està ple de combustible líquid i l'altre on s'emmagatzema, en aquest cas el reactiu, en estat sòlid. Un desavantatge dels models amb subministraments d'àcid bòric en estat sòlid és que és necessari que l'àcid estigui ben emmagatzemat i no pugui escampar-se per enlloc que no sigui la zona desitjada.

Donat que intentem aconseguir l'encenedor més rendible possible en quan a preu i quantitat d'espai que ocupa, tot mantenint la utilitat i practicalitat que s'espera d'ell, presentem diferents prototips. Tots ells presenten una manera diferent d'emmagatzemar l'àcid bòric i un cop fetes les comparatives, s'escollirà el millor.

Tal i com passava amb els encenedors amb subministrament líquid, un model (2.3) no comparteix aquesta característica ja que inspirat en els encenedors catalítics funciona amb combustible líquid, metanol, i sol té un dipòsit.

4.2.1. Encenedor amb subministrament per filferro (Model 2.1)

L'encenedor, consta de dos petits tambors o cilindres en els quals s'enrosca la corda ignífuga o filferro dúctil recoberta d'àcid bòric i adherida a ella mitjançant un adhesiu sintètic. En un dels tambors, un dels extrems s'exposarà lleugerament a l'exterior sobresortint-ne la punta d'aquest que estarà dentada (per un millor control). D'aquesta manera, l'usuari, quan vegi que la flama torna al seu color original sol caldrà girar una mica el simple mecanisme per abastir la flama del reactiu. Al girar la rodeta (tambor) estirà de la resta de la corda que està guardada al cilindre oposat.

Com ens interessa saber l'eficiència del prototip es duu a terme una petita prova per saber quants centímetres de corda es gastaria per tenir encès l'encenedor durant uns 30 segons. El muntatge de l'experiment es basa en un encenedor convencional aferrat en tot els seus costats fent-lo completament immòbil i seguidament un objecte que faci pressió al botó simulant el que faria una mà (és impossible, de fet, realitza aquest experiment amb les pròpies mans ja que els encenedors no estan ideats per aguantar encesos tan temps, resultant en un augment de la temperatura que podria cremar la pell i desfà i doblega certs materials fets d'alumini i PVC), pròpiament, en l'experiment dut a terme es fa servir un serjant metàl·lic.



Il·lustració 28: Muntatge de la prova on s'aprecia el fil de coure recobert d'àcid bòric

Paral·lelament, amb un rotllo de fil de coure, elegit per la seva ductilitat tot i ser considerablement car, s'impregna amb una cola instantània per a metalls i seguidament es submergeix en una piscina d'àcid bòric, o qualsevol altre compost químic que produeixi un canvi de color. Després d'uns segons en retirem l'excés d'àcid bòric i amb una barra subjectadora el posicionem just a dalt de la flama creada per l'encenedor.

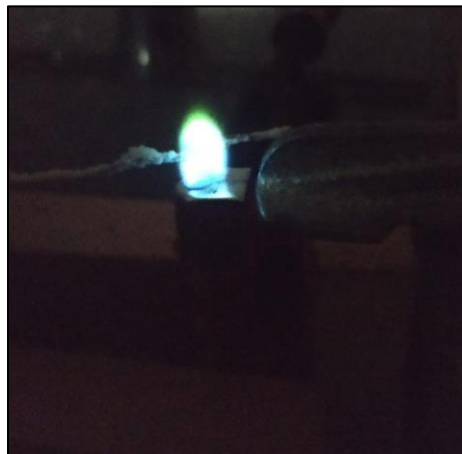
Es pot intuir, però, alguns dels reptes que presenta aquest model. Primerament i després d'haver impregnat l'àcid bòric amb el filferro de coure es veu com al manipular, és a dir el fet de deformar-lo i doblegar-lo una part significativa del coure es desprèn del fil. En cas d'implementar aquest tipus d'encenedor com a model funcional, en el qual i, com s'ha explicat abans, el filferro vindria emmagatzemat per una mena de tambor o cilindre recollit per després ser desplegat a voluntat del propietari; suposaria una gran pèrdua podent afectar a la pròpia durada de l'encenedor, anul·lant el color de la flama (perdent així el motiu pel qual es compraria) o creant residus, la pols despresa, que podria ser nociva i molesta pel client.

Després de realitzar la prova unes 3 vegades per cada compost químic (en el present cas, àcid bòric i clorur de liti), s'obtenen els següents resultats:

	Àcid Bòric		Clorur de Liti	
Distància requerida de filferro de coure per cada 30 s (cm)	Prova 1:	16.5 cm	Prova 1:	22.4 cm
	Prova 2:	15.2 cm	Prova 2:	20.4 cm
	Prova 3:	14.9 cm	Prova 3:	23.7 cm
Mitjana en cm	\bar{X}_1 :15.53 cm		\bar{X}_2 : 22.16 cm	
Distància requerida de filferro de coure per segon (centímetres)	0.52 cm		0.74 cm	
Massa d'àcid bòric per centímetre (g)	$\approx 0.46 \text{ g/cm}$		$\approx 1.1 \text{ g/cm}$	
Massa del filferro per centímetre (de secció 0.75 mm) (g/cm)	0.0158 g/cm		0.0158 g/cm	
Pes total afegit al model per cm (g/cm)	0.4758 g/cm		1.1158 g/cm	

Així doncs, per tal de rivalitzar amb un encenedor accionat a gas i tenir una durada semblant d'unes 450 enceses, cadascuna considerada durar una mitja de 6 segons (2700 *segons* o 45 *minuts*), s'haurien d'emprar uns **1404 cm** (14.04 m) en el cas més favorable de les opcions i en aquest cas s'augmentaria el pes del propi encenedor uns **654.84 grams** extra. En tot cas, doncs, s'hauria de valorar reduir-ne el temps de duració al ser totalment impensable tenir un encenedor d'aquestes dimensions. La repercussió en el preu però seria tan decisiva ni significant, s'estima que el preu podria ascendir fins als 2€ i escaigs respecte als encenedor més econòmics de gas.

A més li hem de sumar un últim problema un tant significatiu, però, que cal tenir en compte. La mida de la flama que ja de per si pot ser petita, sobretot en els encenedors de gas que amb l'ajuda del regulador en modifica el cabal, es perdria al voltant d'un terç de la flama que es produeix. I encara que volguéssim solucionar-ho augmentant-ne la mida de la flama, és a dir augmentant el cabal es requeriria doncs més quantitat d'àcid bòric per fer-ne significatiu el canvi de pigment i com a conseqüència de l'engrandiment de la flama, hi hauria una part d'aquesta que presentés el característic color taronja groguenc de la combustió incompleta.



Il·lustració 29: Canvi de color de la flama sota els efectes de l'àcid bòric

Continuem però arrossegant el problema ja interioritzat; fer visible aquest canvi de color a plena llum del dia és una feina feixuga que no sembla un assoliment tangible. A més és just dir que si bé poden arribar impactar aquests resultats obtinguts per tals valors desmesurats cal dir que són fruit d'una excitació dels àtoms del metall certament ineficient. Per molt que es posi el fil sota la flama un temps indefinit mai arribarà a consumir-se totalment el metall.

Aquesta explicació es justifica a l'utilitzar encenedors a gas convencionals, és a dir, al no està dissenyats per usar-se en situacions molt específiques el flux ambiental d'aire que arriba a la flama és d'importància mínima (si bé hi ha orificis per millorar-ne l'oxigenització de la flama no és suficient per evitar-ne una mala combustió). Per tal d'augmentar-ne el flux caldria una completament nou disseny desplaçant de lloc la majoria dels components com el piezoelèctric o el botó que hom acciona (similar al d'un encenedor bunsen). Aquesta combustió incompleta de la flama que és un problema recursiu al llarg d'aquest estudi no sol opaca el canvi de color produït pel metall sinó que a més i en aquest concret cas la flama provoca sutge. El combustible, més específicament, els àtoms de carboni del gas butà de l'encenedor no poden reaccionar completament amb els àtoms d'oxigen de l'aire ambient al no haver-ne suficients. En comptes de formar únicament CO_2 queden àtoms de carboni negres, residus que ascendeixen fins que un cop es troben amb el fil de coure, l'envolten creant una pel·lícula de brutícia que aïlla l'àcid bòric del contacte amb la flama.



Il·lustració 30: Fil de Coure on s'aprecia la diferencia entre la zona cremada amb sutge i la part intacta

4.2.2. Encenedor amb un gran fragment d'àcid bòric (Model 2.2)

L'idea d'aquest prototip neix de manera totalment involuntària. Després d'haver exposat els cristalls d'àcid bòric a la llum del sol, veiem com els cristalls semblen ajuntar-se entre ells formant petites aglomeracions d'àcid. Tot i mantenir la forma, els petits cristalls continuen estant molt dèbilment units entre si, fent que al més mínim cop es tornin a desfer en pols.

D'aquesta manera, sorgeix l'idea de sotmetre l'àcid bòric a altes temperatures fins que aquest arribi a la temperatura de fusió (la qual és 169 °C), es fongui i un cop convertit líquid es deixi reposar per tal de tornar a formar una estructura sòlida. Tot i que la primera vegada no es vegues cap canvi, no mostrava cap indicati de que l'àcid bòric s'estigués desfent (com si de glaçons de gel es tractes), més endavant es provaria amb una temperatura un pel més elevada i amb més temps en que l'àcid es sotmetria a la calor. L'estri que vam utilitzar per dur a terme aquestes comprovacions fou un forn qualsevol de cuina, al no suposar cap problema que agafes aquestes temperatures relativament baixes. En el mateix experiment s'hi van afegir diferents vasos de precipitats alguns únicament amb l'àcid bòric i d'altres als quals se l'hi afegien alguns líquids que feien que la pols es convertís en una mena de pasta blanca. Els líquids que es van utilitzar van ser els següents: Etanol (C_2H_6O), Aigua (H_2O) i Acetona (C_3H_6O).



Il·lustració 31: "Pedra" d'àcid bòric ($H_3BO_3 + H_2O$) (Esquerra)



Il·lustració 32: Estructura fràgil ($H_3BO_3 + C_2H_6O$) (Dreta)

Efectivament, aquesta segona vegada els canvis eren apreciables. L'àcid bòric s'havia gradualment desfet al llarg de la prova fins que un cop finalitzada s'hi podia observar, especialment en el cas de l'àcid amb aigua, que els petits cristalls blancs d'àcid bòric s'havien transformat en un líquid molt negre que un cop refredat recordava en aparença a l'estructura d'una pedra d'obsidiana. Les altres mostres, però, amb altres barreges, no havien aconseguit la duresa que aquesta primera "pedra" negra tenia. En els casos de l'etanol i l'acetona, s'havia transformat en unes làmines semitransparents molt fràgils i fines que es trencaven a la més mínima manipulació.

D'anteriors proves s'observà que si bé en volíem extreure la "pedra" sense trencar el propi recipient que la contenia era recomanable separar l'àcid bòric del contacte amb les parets de vidre del vas de precipitats. La solució més simple i econòmica fou envoltar-ho amb paper (donat que compta amb una temperatura d'autoignició de 233°C , temperatura que en cap cas s'assoliria). Un cop obtinguda "la pedra" es retiren els trossos de paper que hi quedaven adherits i es prova que mantingui les seves propietats, és a dir que continuï canviant el color de la flama.

Si bé es veritat que a l'hora de posar-ho sota la flama el canvi de color s'hi produeix perfectament, l'àcid bòric sotmès a l'alta temperatura de la flama de l'encenedor que pot arribar als 1800°C comença a bullir altra vegada. I en aquest cas, al passar d'una temperatura tan alta amb tan poc temps, la "pedra" comença a desfer-se a ritmes molt accelerats, s'observa doncs que comencen aparèixer petites bombolles d'aire a la superfície d'aquesta i que la "pedra" es comença a partir en petits trossos reduint-ne la mida considerablement.



Il·lustració 33: "Pedra" d'àcid bòric sota la flama, on s'aprecia com aquesta es desfà degut a l'alta temperatura

És a dir, en aquest cas, no es pot ni qualificar l'eficiència del model ja que per molt que s'intenti subjectar la "pedra" amb molts punts d'ancoratge, aquesta aviat es desestabilitza fracturant-se, desprenent-se i caient per tot arreu menys a la zona indicada on s'hi troba la flama, on, en aquell lloc, l'àcid bòric ja s'ha desfet amb molta velocitat. Tot i aquest clar inconvenient, també s'observa que la practicalitat de l'encenedor no és gaire elevada ja que de la "pedra" escollida de dimensions considerables, comparat amb la mida d'un encenedor, que pesava 5.2 grams aquesta es desfà a ritmes molt elevats pel poc temps que hi afecta (aprox. 2 minuts). Així, doncs, si es pretengués rivalitzar amb la durada d'un encenedor convencional les mides de les pedres serien completament gegantesques i poc factibles de dur, per exemple, en la butxaca d'un texà degut al gran espai que hi ocuparien.

4.2.3. Encenedor de metanol (Model 2.3)

Tenint en compte tots els inconvenients que sorgien en els diferents models d'aquest treball i després de fer-ne molta recerca es pensà en uns tipus d'encenedors antics conegut com encenedors catalítics. Aquest encenedor funcionava de la següent manera, en un dipòsit metàl·lic cilíndric recobert de cotó per les parets s'hi trobava un líquid conegut com *Esperits de Columbia* ("*Columbian Spirits*") que es comercialitzava als anys vint del s.XX als Estats Units. Després de buscar-ne la composició d'aquest estrany líquid, es trobà que els ingredients principals eren el metanol en una concentració del 99%. Per encendre'l, sorprenentment utilitzava un catalitzador per produir la flama. El catalitzador constava d'una forquilla metàl·lica on s'hi podia trobar 3 primers fils de platí amb una petita bola de *Negre de Platí*, que bàsicament es pols de platí comprimit. Aquest *Negre de Platí* té molt bones propietats catalítiques i accelerava les reaccions de la combustió. En el cas de l'encenedor, hom agafava el catalitzador i l'introduïa dins el dipòsit de combustible, allí el platí reaccionava amb els vapors del metanol i s'escalfava el fil al roig viu encenent i produint una flama.

El mètode de funcionament del catalitzador és més aviat anecdòtic perquè en tot cas no era el que ens interessava, a part de que trobar els components era més aviat difícil i fora del pressupost del treball. Al cap i a la fi, podíem substituir el catalitzador per qualsevol altre sistema d'ignició de la flama, l'interessant era el tipus de combustible que utilitzava, el metanol i el lloc on produïa la flama.

En aquest cas la flama no es produïa en una "cambra" diferent on s'emmagatzemava el combustible sinó que tot ocorria en el mateix lloc. Tot i poder semblar perillós, la flama sol crema el metanol en comptes del cotó fluix que es troba en el seu interior i tot i haver-hi molt metanol, sol crema els vapors produït per aquest. Ara bé per acabar amb la flama o bé s'havia de bufar fins a extingir-la o bé tacar l'encenedor amb la tapa, tot i que no era del tot recomanable ja que de donar-se les condicions adequades podria explotar com si d'un foc artificial es tractés.

Les avantatges que presentava aquest model era l'erradicació de la combustió incompleta de molts anteriors models ja ensenyats, per molt que es provessin diversos combustibles i amb metodologies diferents, tant els encenedors a gas i els encenedors de "gasolina" no permetien una bona oxigenització de la flama ja que empraven combustibles anomenats pesats, és a dir, combustibles amb grans cadenes de carboni que a l'hora de cremar produïen una flama groga i una gran quantitat de restes com sofre o carboni que embrutaven i "contaminaven" l'agent del canvi de color (àcid bòric). Utilitzant combustibles com metanol o etanol, podem pal·liar aquest problema això si apareixen els inconvenients que es van observar al provar de dissenyar un encenedor *Zippo* amb metanol. Ara bé, mentre que al *Zippo* la flama es produïa en una metxa separada al dipòsit (que aquest encara estava humit però no tenia suficient combustible com per ascendir), el model que es proposa fa la flama a un mateix lloc, aquí no hi intervenen fenòmens com el de la capil·laritat, que diguéssim, el funcionament d'aquest antic encenedor seria més simple i tot.

Per tal d'adaptar-ho a les necessitats presentades, l'àcid bòric es mesclaria amb el cotó i el metanol, la solubilitat d'aquest, tampoc seria un problema ja que encara que no es formes una mescla homogènia la flama arribaria a tots els racons de les parets de l'encenedor i funcionaria igual de bé.

Vam decidir doncs dissenyar i construir-ne una mena d'encenedor catalític, recordis però que el catalitzador l'hem substituït per un piezoelèctric degut a la facilitat de la instal·lació i el baix cost que té.

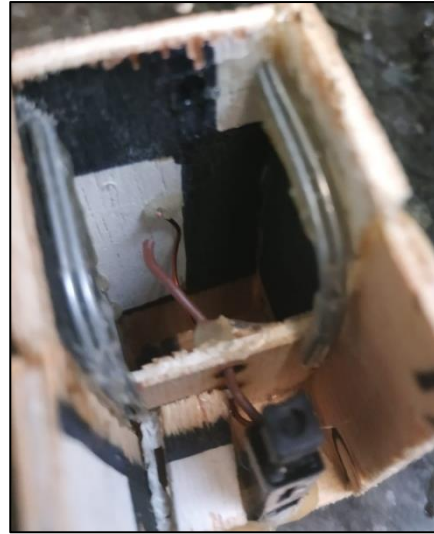
Primerament es va provar que funcionés correctament la mescla, que fes el color satisfactòriament i si el combustible (etanol o metanol) aquesta vegada durava una mica més. Amb un tub de plàstic es van fer les primeres proves amb àcid bòric al tub més gran i amb clorur de liti al més petit. S'observa però que en aquest cas, el més important de tot es una bona ventilació, precisament i ja que aquesta és reduïda en aquest tipus d'encenedor, la quantitat de cotó que hi posem no ha de ser generosa, tot just que cobreixi les parets interiors i la base de l'encenedor creant una columna d'aire per que li arribi un flux d'aire millor. D'altra manera, i si no es fes l'indicat, la flama apart de ser dimensions molt petites, s'extingiria amb relativa facilitat.



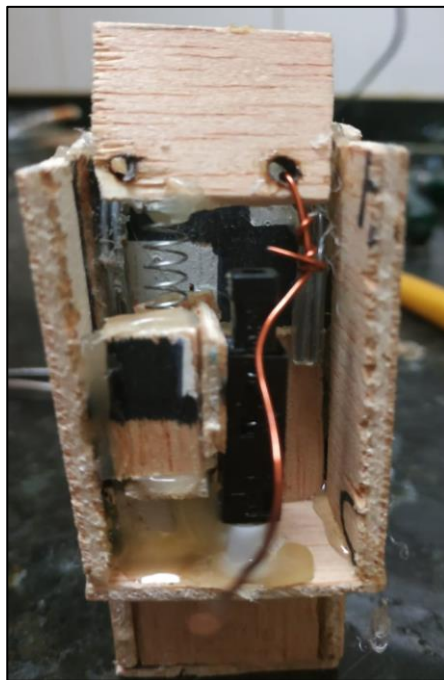
Il·lustració 34: Primer prototip de plàstic

Un cop après això, és decideix crear-ne un model una mica més avançat que integres ja el piezoelèctric, aquest però estaria fet de fusta ja que repetim, la flama de l'encenedor mai cremaria la fusta sempre hi quant estigues continguda en el dipòsit i hi hagués combustible. Després de fer-ne un disseny més aviat rudimentari es va endegar el procés de construcció, l'encenedor estaria dividit en dos parts. La primera part, doncs, hi contendria el piezoelèctric, el cablejat de coure per tancar el circuit del piezoelèctric, el botó per preme'l, una tapeta per que el metanol no veses al transportar l'encenedor i un sistema per poder tancar i obrir la tapa. L'altra part en canvi era la del dipòsit de combustible, un paral·lelepípede rectangular fet de fusta recobert de cotó que prèviament s'hi havia introduït l'àcid bòric.

Recordis que un piezoelèctric es una peça que genera un corrent elèctric al comprimir-se, aquest però i per tal de que creï la flama ha d'estar en un circuit molt ben aïllat per tal de que l'electricitat passi per on interessa per això és molt important que es cobreixi bé amb plàstics que no son conductors d'altres materials metàl·lics i que no faci mal contacte ja que el més mínim moviment podria provocar que deixés de funcionar creant un curtcircuit. Per tal de que l'encenedor tanqués amb una tapeta, s'hi va implementar un sistema pel qual estirant d'un fil de coure (escollit degut a la seva mal·leabilitat i ser ignífug) enretirés la tapa que cobria el dipòsit i un cop decidíssim apagar l'encenedor, només caldria deixar que la tapa tornés a la seva posició inicial amb l'ajut d'unes guies metàl·liques i una molla. Un cop aconseguit tot això, només calia cobrir-ne l'encenedor amb cotó hi posar una mica d'alcohol de farmàcia (etanol), que era el que estava a l'abast en aquell moment i funciona igual de bé que si de metanol es tractes.



Il·lustració 35: Interior de l'encenedor on s'aprecia el piezoelèctric amb el cablejat i les guies metàl·liques on hi descansarà la tapa



Il·lustració 36: Mecanisme interior de l'encenedor Il·lustració 37: Muntatge final de l'encenedor

Un cop construït el prototip rudimentari, es va observar que funcionés correctament. La flama que manifestava el model era generosa i tal i com s'havia teoritzat ja no hi havia rastre ni de sutge ni de la flama groguenca creant un intens color verd en ambients foscos. Ara bé, per tal de veure si l'etanol que hi havia en el seu interior durava més que en el cas de l'encenedor *Zippo*, es va estar encenent durant diversos dies a diverses hores. Tal i com s'ha esmentat amb anterioritat, el piezoelèctric és un component molt delicat, i al cap de 2 dies de fer-lo servir, es produí un curtcircuit, ja no feia cap guspirna, el cablejat s'havia desplaçat lleugerament de la seva posició degut al moviment a l'accionar el piezoelèctric. Malauradament a l'intentar-ho solucionar, i tornar a encendre'l la guspira va anar a parar a tocar al cotó de les parets, aquest s'encengué i estengué la flama per la resta d'encenedor que donat el fet de que estigues construït amb fusta, no ajudà precisament a extingir la flama.



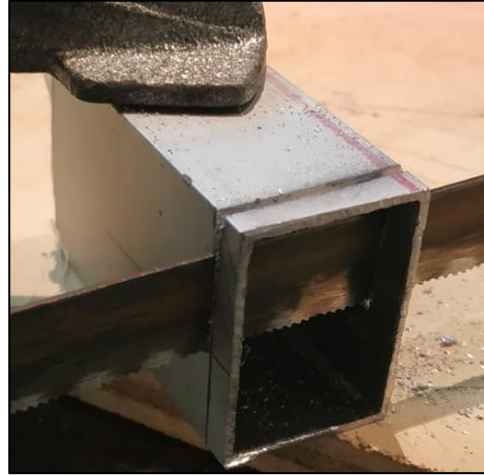
Il·lustració 38: Vista de Perfil de l'encenedor on s'aprecia la manera de subjecció del prototip (Esquerra)

Il·lustració 39: Vista zenital de l'encenedor durant el seu correcte funcionament (Abans d'estar totalment ensamblat) (dreta)

2n Intent de construcció del prototip 4.2.3.:

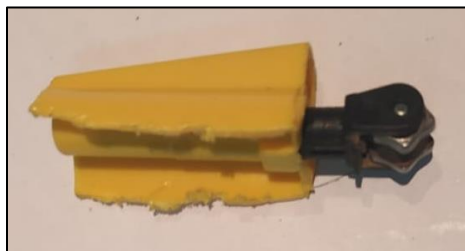
Havent après dels errors comesos i ara amb materials més adients per aquesta tasca, es va decidir tornar a intentar construir l'encenedor de metanol, aquesta vegada si, fet principalment d'alumini, material que no es podia inflamar.

Primerament, i observant que les mides de l'anterior encenedor de fusta eren desmesurades i massa grans pel seu propòsit, es va decidir esclar el nou model a mides més raonables per tal que es pogués subjectar més còmodament amb una mà. S'aprofità, una barra metàl·lica d'alumini de perfil rectangular (2x3cm). Es tallà, doncs, un paral·lelepípede d'una "alçada" de 5cm que actuaria com una mena de carcassa que contindria a la vegada el dipòsit de combustible (omplert de cotó fluix amarat amb etanol o metanol) i el sistema d'ignició de la flama.



Il·lustració 40: Carcassa d'alumini

Paral·lelament, es va decidir substituir el piezoelèctric per un sistema més simple i rudimentari però igual de eficaç i que possiblement ens podria estalviar futurs problemes. El piezoelèctric en l'anterior disseny havia resultat estar un focus de problemes no sol per la necessitat de tancar correctament el circuit, sinó també per la necessitat de fer un generós espai per aquest component. Aquesta vegada, el sistema d'ignició de la flama, qui produiria la flama, seria una pedra de "pedrenyal" (tècnicament ferroceri) que havia estat extret d'un encenedor qualsevol, el qual no li quedava gas. Per una millor acomodació dins la carcassa metàl·lica, i per tenir més superfície amb contacte amb les parets de la carcassa i poder unir-ho millor després amb silicona, es va aprofitar la part de plàstic d'aquell mateix encenedor d'on s'hi havia extret el pedrenyal. A més, s'hi va fer un petit forat al fragment de plàstic perquè el ferroceri entrés millor i no sobresurtis tant respecte la resta de l'encenedor.



Il·lustració 41: Fragment de PVC de l'encenedor destrossat amb el pedrenyal incrustat

Abans d'unir el sistema d'ignició de la flama amb la carcassa, es va tallar un rectangle de la barra d'alumini que havia sobrat per tapar una de les dues cares buides del paral·lelepípede i s'enganxà amb silicona calenta (quedant-ne únicament una obertura per on sortiria la flama). Ara, ja amb la base formada i segellada de fuites, gràcies a la silicona, s'uní el fragment de plàstic (vigilant que l'orientació del pedrenyal fos la correcta i generes l'espurna al costat de l'encenedor que toca) amb la resta de la barra metàl·lica. S'observà, però, que per fer girar el pedrenyal i produir la guspira, resultava una mica incòmode i poc accessible, ja que xocava el dit amb el perfil d'alumini a l'hora d'accionar-lo, és a dir, no tenia gaire bon accés, així que es decidí tallar una mena silueta amb forma d'escala per acomodar-se al moviment del dit.



Il·lustració 42: Part de l'encenedor metàl·lic

Es provà de posar cotó fluix a la cavitat que quedava lliure, el dipòsit, i omplir-lo d'etanol per veure que tal funcionava. Al encendre's, aquest funcionava correctament però les altes temperatures de la flama feien que el plàstic es deformés gradualment i perdés la seva forma original. Per evitar que això continués passant es va tallar una peça que actués de separador entre la zona del plàstic i la zona del dipòsit juntament amb una altra peça que amagués per motius estètics la part superior del fragment de PVC que estava a la vista. D'aquesta manera, el nostre encenedor ja quedava totalment funcional i preparat per a ésser provat. Com es pot observar aquest model era més simple, més fiable i més segur tot complint les mateixes funcions que s'havien proposat. A més la mida s'havia reduït a la meitat, el pes, tot i ara utilitzar metall, era més o menys el mateix i els acabats eren d'una qualitat molt més superior.



Il·lustració 43: Encenedor de metanol (completament acabat)

Finalment sol quedava preparar la dissolució del combustible amb l'agent que canvia el color. Per aconseguir que l'àcid bòric i l'alcohol de farmàcia formessin una mescla homogènia es va escalfar en un fogó un vas de precipitats amb 8 grams d'etanol i 2.6 grams d'àcid bòric. Aquest escalfament sempre s'ha de fer amb cura i amb supervisió constant de no arribar a la temperatura d'autoignició del combustible que, tot i poder semblar ser alta (365°C en el cas de l'etanol), cal recordar que la flama pot arribar a superar els 1000 °C de temperatura. Quan es vegi que comença a bullir es remena poc a poc la mescla fins transformar-se en un líquid blanquinós i un cop a temperatura ambient ja es pot mesclar amb el cotó de l'encenedor.

- Addicionalment es podria fer una tapa que segelles bé l'encenedor de l'exterior per mitigar el principal inconvenient d'aquest tipus de prototip, l'evaporació continua del combustible degut al seu baix punt d'ebullició (78°C).



Il·lustració 44: Encenedor de metanol amb la flama encesa

4.2.4. Encenedor amb subministrament de l'àcid bòric mitjançant cristalls (Model 2.4)

Aquesta idea sorgeix degut a una activitat extraescolar que se'ns va oferir als estudiants de l'institut a 3r de l'ESO. L'activitat consistia en forma cristalls de sal. Així doncs, s'intenta crear a partir de l'àcid bòric un cristall seguint el mateix procediment. El principal dubte que es plantejava era, si existia la possibilitat de fer cristalls de dimensions prou grans. Perquè d'altra banda no s'avançaria en cap direcció ja que el producte original que es feia servir per a l'experiment ja presentava una estructura cristal·lina (àcid bòric en pols).

Pas a pas es va seguir el procés de Recristal·lització amb l'ajuda d'un vídeo de la plataforma de *Youtube*[®] del canal "*ChemistryShack*". En un vas de precipitats, s'hi introduí una mescla d'àcid bòric i aigua (23 g d' H_3BO_3 per 100 mL d' H_2O), seguidament s'escalfà la mescla en un microones a una potencia de 300W (fins que s'observi una dissolució homogènia) ja que calenta les solucions amb més rapidesa (augmentant el grau de solubilitat). Després d'un parell de minuts tot l'àcid bòric s'havia dissolt i ràpidament s'introduí la mescla al congelador per refredar-se produint un canvi de temperatura brusc. Al treure'l, els resultats eren evidents una capa de cristalls s'havia creat al pòsit del vas de precipitats. Amb cura vam extraure'n l'excés d'aigua i el vam deixar a temperatura ambient durant uns quants minuts.



Il·lustració 45: Cristall format al pòsit del vas de precipitats

Amb cura per no trencar-lo en trossos molt petits es va partir el cristall en 4 porcions i s'adherí a les parets de l'encenedor de gas i es provà el rendiment d'aquest mètode utilitzant gran cristalls. Sorprenentment, aquest canvi de color de la flama cap al pigment verd ocorria un cop el cristall havia agafat prou temperatura, és a dir, el canvi de color no era un procés immediat sinó més aviat gradual. A més cal sumar-li alguns inconvenients vists abans en models anteriors: la combustió incompleta del butà que opaca una flama ja prou poc intensa, el sutge que crea una lamina al voltant del cristall dificultant el canvi de color, el cristall d'àcid bòric ocupant entre un terç de la flama i la meitat d'aquesta (reduint la practicalitat). També un últim inconvenient seria que, per rivalitzar amb una durada d'un encenedor convencional la mida i el pes dels encenedors es veurien augmentats considerablement. Almenys però els cristalls tot hi estar sotmesos bastant temps a altes temperatures, no semblava modificar-ne la seva estructura ni fracturant-se més que la pròpia reducció de mida completament normal al consumir-se lentament.

Algunes alternatives que s'hi podrien idear són, la implementació de recanvis de cristall que podrien venir al comprar el model d'encenedor. D'aquesta manera algunes desavantatges d'aquests encenedors es podrien pal·liar. Així, doncs, la mida de l'encenedor o el pes afegit no es veurien tant afectats, hom canviaria el cristall un cop vegues que la flama no fa prou color verd per un d'altre. A més, el sutge no impediria totalment el correcte funcionament de l'encenedor, tot i que hi continuaria existint, el cristall es canviaria de forma més regular restablint l'estat de l'àcid bòric al canviar de cristall.



Il·lustració 46: Cristall d'àcid bòric d'uns 2 cm d'amplada

Seguidament es presenta la taula de valors obtinguda amb els resultats al fer una flama de color verd durant 30 segons:

	Fragment d'Àcid bòric (7 grams)
Temps amb flama verda	98 s
Grams d'Àcid bòric per segon	0.07 g/s

És a dir per fer un encenedor d'uns 45 minuts es requeririen aproximadament uns 190 grams o, prenen com a model trossos de cristalls com els que es mostren a la il·lustració 33, aproximadament uns **28 recanvis** de petits cristalls d'uns 7 grams cadascun.

5. Elecció del millor model

Després d'haver realitzat un seguit de prototips, s'escull el model més factible per una possible futura producció d'un model definitiu i més elaborat. Es classifiquen els models vists en la següent taula destacant-ne les seves característiques:

Número de Model	Tipus de combustible que emprà	Característiques i desavantatges
4.1.1. Conta-Gotes	Gas butà	L'evaporació de la dissolució podria arribar a obstruir el conducte afectant-ne al seu funcionament. Color visible en ambients foscos, presència de la flama groguenca. Mida de la flama mitjana.
4.1.2. Pulveritzador	Gas butà	Impossibilitat de fer-lo funcionar sense apagar la flama de l'encenedor.
4.1.3. <i>Zippo</i>	Nafta	Impossibilitat de fer-lo funcionar atès el tipus de combustible emprat, en cas de canviar de combustible es produeix un mal funcionament a l'hora d'abastir la flama amb combustible.
4.2.1. Filferro	Gas butà	Cost elevat, perd practicalitat a l'augmentar enormement la mida i el pes. Color visible en ambients foscos, presència de la flama groguenca i sutge al llarg de la utilització d'aquest model. Mida de la flama petita.

4.2.2. "Pedra d'àcid bòric"	Gas butà	Impossibilitat de fer-lo funcionar degut a la inestabilitat que presenta el fragment d'àcid bòric que es desfà i es fragmenta.
4.2.3. "Catalític" (metanol)	Metanol o Etanol	Erradicació de problemes de combustió incompleta o sutge. Metanol i el reactiu es troben a un mateix dipòsit (més simple). Perd practicalitat al ser un model completament diferent i una mica més enrevessat de cara a l'usuari. El metanol s'hauria de canviar més sovint que en un encenedor convencional.
4.2.4. "Cristall d'àcid bòric"	Gas butà	Augment de la mida i el pes considerables tot i poder-se reduir amb l'ajut de recanvis. Color visible en ambients foscos, presència de la flama groguenca i una mica de sutge. Mida de la flama mitjana. El canvi de color es produeix després d'uns segons d'escalfament del cristall.

Descartant els models que simplement no podien arribar a funcionar, elegim el que presenta menys inconvenients pel que fa al canvi de color. Des d'un punt de vista objectiu considerem que el **millor encenedor** de tots és l'**encenedor de metanol** (que imita l'estructura d'un encenedor catalític antic) i l'**encenedor** que presenta l'àcid bòric amb forma **de cristall**.

El primer corregeix tots els errors comuns al llarg d'aquest treball, el principal inconvenient però és la recarrega de combustible pel seu correcte funcionament. D'altra banda, i si el que es busca és un encenedor de gas, l'encenedor amb cristall d'àcid bòric presenta una solució més còmoda en quan a funcionament, però amb resultats una mica pitjors i amb l'inconvenient de tenir recanvis per quan s'acabi l'àcid bòric. Ambdós complint l'objectiu de produir la flama de color.

6. Conclusions i possibles noves línies d'investigació

Les conclusions que es poden extraure d'aquest projecte de recerca són les següents:

- La creació d'un encenedor que produeixi la flama de color és possible, ara bé sacrificant certs avenços que presenten els encenedors d'avui en dia, com la seva practicalitat, eficiència o durada.
- Al llarg del treball s'ha vist com tot i començar amb un punt de partida relativament simple, a l'hora d'idear un nou disseny d'encenedor d'aquestes característiques hi intervenen moltes variables que cal tenir en compte, tal com el combustible que emprava, la mida de la flama i el flux d'aire ambiental que l'abasteix, els materials i mecanismes que hi formen part juntament amb la imposició inicial del treball que obliga que la flama sigui de color.
- L'ús queda, independentment del model que es dissenyi, reduït a ambients foscos com per exemple la nit, enfocant-ne la seva venda a gent que porti aquest tipus de producte no pel seu component pràctic sinó per la seva espectacularitat i innovació.
- Els encenedors que assoleixen més satisfactòriament aquest propòsit serien, especialment, l'encenedor amb combustible de metanol (Model 4.2.3.) i l'encenedor amb cristall d'àcid bòric (Model 4.2.4.)

Personalment penso que l'aplicació d'aquest tipus d'encenedor no quallarà al mercat actual ja que contràriament a molts altres sectors com la roba o l'automoció, el pes de la practicalitat és més important que l'estètica. Quan vaig plantejar-me endegar aquest treball i llençar el meu màxim objectiu, no era conscient de totes les dificultats que podien sorgir al llarg del seu disseny i la seva construcció. Vist amb retrospectiva, no és d'estranyar que la meua particular idea no hagi estat prèviament comercialitzada o ideada per part d'aquest sector de la indústria. L'únic mercat potencial d'aquest producte són aquells que anteposen aquest signe distintiu i rar respecte la comoditat d'un ús freqüent i quotidià.

Altres possibles línies d'investigació:

- Aplicar aquest mateix coneixement amb els encenedors de tipus “*Jet-lighter*”, donat que presenten moltes similituds a un encenedor bunsen (combustió sense residus) i són de durada més reduïda (menys àcid bòric que s'hauria d'emprar).
- Expandir el punt de mira a altres sectors del mercat, com per exemple les espelmes de flama de color (on l'àcid bòric podria estar contingut a la metxa o a la cera sintètica), torxes per a espectacles, esdeveniments i cerimònies, on problemes que amenaçaven el correcte funcionament de l'encenedor - ja sigui les dimensions on contenir l'agent que produeix tal canvi de color o el combustible que utilitza- desapareixen o si més no adquireixen una importància trivial.

7. Referències bibliogràfiques

Activation Energy. (4 / 8 / 2019). Recollit de

<http://www.dynamicscience.com.au/tester/solutions1/chemistry/energy/activationenergy.htm>

Activation Energy and Reaction Rate. (10 / 8 / 2019). Recollit de

<https://www.khanacademy.org/science/high-school-biology/hs-energy-and-transport/hs-enzymes/a/activation-energy>

Boric Acid Crystall. (5 / 1 / 2020). Recollit de https://en.crystals.info/Boric_acid

Calculadora d'espectres d'emissió i absorció dels elements de la taula periòdica. (12 / 9 / 2019).

Recollit de <http://casanchi.com/fis/espectros/espectros01.htm#2>

Campbell, P. L. (5 / 8 / 2019). *Combustion of Hydrocarbons - Chain reactions.* Recollit de

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ie50473a005>

ChemistryShack. (24 / 12 / 2019). *Recrystallization of Boric Acid.* Recollit de

<https://www.youtube.com/watch?v=X9pGZPgEPFk>

CK-12 Chemical Reactions (Redox). (1 / 8 / 2019). Recollit de

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_\(CK-12\)/11%3A_Chemical_Reactions/11.6%3A_Combustion_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Introductory_Chemistry/Book%3A_Introductory_Chemistry_(CK-12)/11%3A_Chemical_Reactions/11.6%3A_Combustion_Reactions)

Combustion Reactions. (12 / 7 / 2019). Recollit de <https://www.ck12.org/c/physical-science/combustion-reaction/lesson/Combustion-Reactions-MS-PS/>

Combustion Reactions and other Chemical Interactions. (18 / 7 / 2019). Recollit de

[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book%3A_General_Chemistry_Supplement_\(Eames\)/Chemical_Reactions_and_Interactions/Combustion_Reactions](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/General_Chemistry/Book%3A_General_Chemistry_Supplement_(Eames)/Chemical_Reactions_and_Interactions/Combustion_Reactions)

Complete Combustion. (19 / 7 / 2019). Recollit de

<https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/complete-combustion>

Different types of combustion. (5 / 9 / 2019). Recollit de <http://www.oil-gasportal.com/flameless-combustion/>

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

Endothermics & Exothermics Reactions. (2 / 9 / 2019). Recollit de

<https://www.thoughtco.com/endothemic-and-exothermic-reactions-602105>

Ensayos de coloración a la llama de los elementos químicos. (10 / 12 / 2019). Recollit de

<http://www.quimitube.com/ensayos-de-coloracion-a-la-llama-para-los-elementos-quimicos>

Etapas del fuego. (6 / 9 / 2019). Recollit de https://www.academiadebomberos.org.ar/wp-content/uploads/2012/07/Cap%202_Fuego_CEMI.pdf

Genève, P. M. (11 / 8 / 2019). *Physical Organic Chemistry.* Recollit de

<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/pac.1994.66.issue-5/pac199466051077/pac199466051077.pdf>

How flame test colors are produced? (5 / 8 / 2019). Recollit de

<https://www.thoughtco.com/how-flame-test-colors-are-produced-3963973>

Il·lustració 10 : Fragments de Ferroceri. (5 / 1 / 2020). Recollit de

<https://ca.wikipedia.org/wiki/Ferroceri>

Il·lustració 11: Fases del Foc. (16 / 9 / 2019). Recollit de <https://www.13psi.cl>

Il·lustració 14: Assaigs a la flama. (10 / 1 / 2020). Recollit de <https://giphy.com/gifs/flames-veYBwv811mV9K>

Il·lustració 2: Encenedor de metxa. (12 / 7 / 2019). Recollit de

<https://www.amazon.es/ENCENDEDOR-DE-MECHA-CHISQUERO-MECHERO/dp/B01M9IKFA0>

Il·lustració 21: Encenedor Zippo. (5 / 1 / 2020). Recollit de

https://img.milanuncios.com/fg/2456/06/245606878_1.jpg?VersionId=BYJykVqzXmnQzYRf9tsVlzqLHwllQlvQ

Il·lustració 25 : Combustible per a encenedors. (10 / 1 / 2020). Recollit de

https://www.zippo.co.uk/1454-large_default/125-ml-lighter-fluid.jpg

Il·lustració 3 : Encenedor Wonderlite. (12 / 7 / 2019). Recollit de

<https://www.pinterest.es/pin/447615650445530671/?!p=true>

Il·lustració 4 : Jetlighter. (5 / 1 / 2020). Recollit de

<https://www.pinterest.es/pin/673499319255515343/?!p=true>

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

Il·lustració 5 : Permanent Match Lighter. (8 / 1 / 2020). Recollit de
<https://dealbrilliant.com/products/permanent-match-lighter>

Il·lustració 6: Encenedor de Plasma. (8 / 1 / 2020). Recollit de
<https://www.tacticalmarks.com/shop/edc/plasma-lighter/>

Il·lustració 7: Encenedor sense flama. (5 / 1 / 2020). Recollit de
<https://www.amazon.com/Oiikury-Rechargeable-Flameless-Windproof-Cigarette/dp/B072BY3TZ9>

Il·lustració 8: Encenedor Catalític. (12 / 7 / 2019). Recollit de <https://picclick.com/Vintage-New-Method-Self-Starting-Catalytic-Lighter-NOS-192811959859.html>

Il·lustració 9 : Diagrama d'un piezoelèctric. (8 / 1 / 2020). Recollit de
<https://sites.google.com/site/bloguniversitariofisica/>

IPCS. (2000). *Ficha de Seguridad del Metanol.*

IPCS. (2002). *Ficha de Seguridad Etanol.*

La Combustión. (17 / 7 / 2019). Recollit de
https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/energia/la_combustion.asp

NASA. (5 / 8 / 2019). *Combustion of an airplane.* Recollit de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/combst1.html>

Oxidants. (15 / 7 / 2019). Recollit de <https://sciencing.com/oxidants-8324835.html>

Poder Calorífico de las Sustancias más comunes. (17 / 7 / 2019). Recollit de
<https://cadascu.wordpress.com/2011/05/25/poder-calorifico-de-las-sustancias-mas-comunes/>

Princeton University. (12 / 7 / 2019). Recollit de
<https://www.princeton.edu/~ota/disk3/1982/8215/821508.PDF>

PROQUIMSA. (24 / 12 / 2019). *Ficha de Seguridad Del n- Butanol.* Recollit de
http://iio.ens.uabc.mx/hojas-seguridad/hs_butanol.pdf

Reactions of the alkaline metals (Inorganic Chemistry). (16 / 7 / 2019). Recollit de
[https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Inorganic_Chemistry\)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/1_s-](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Inorganic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Inorganic_Chemistry)/Descriptive_Chemistry/Elements_Organized_by_Block/1_s-)

Estudi i disseny d'un encenedor amb flama de color

Block_Elements/Group__1%3A_The_Alkali_Metals/2Reactions_of_the_Group_1_Elements/Flame_Tests

Reactivity of Alkanes and complete vs. incomplete Combustion. (5 / 8 / 2019). Recollit de [https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_\(Organic_Chemistry\)/Alkanes/Reactivity_of_Alkanes/Complete_vs._Incomplete_Combustion_of_Alkanes](https://chem.libretexts.org/Bookshelves/Organic_Chemistry/Supplemental_Modules_(Organic_Chemistry)/Alkanes/Reactivity_of_Alkanes/Complete_vs._Incomplete_Combustion_of_Alkanes)

Smith, T. J. (3 / 1 / 2020). *Enthalpy of Combustion of Fuels*. Recollit de https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=50340

Teoria de la combustión. (16 / 7 / 2019). Recollit de <https://www.textoscientificos.com/energia/combustibles/teoria-combustion>

Thought - Combustion Reactions. (8 / 7 / 2019). Recollit de <https://www.thoughtco.com/combustion-reactions-604030>

Universidad Nacional de Costa Rica. (24 / 12 / 2016). *Hoja de Seguridad del Éter de Petróleo (Nafta)*. Recollit de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Eter%20de%20petrleo.pdf>

Why do different elements make different colors flames? (sense data). Recollit de <https://socratic.org/questions/why-do-different-elements-make-different-color-flames-when-you-burn-them>

Wikipedia. (19 / 11 / 2019). *Table of specific heat capacity*. Recollit de https://en.wikipedia.org/wiki/Table_of_specific_heat_capacities

Wikipedia Bunsen Lighter. (6 / 1 / 2020). Recollit de https://es.wikipedia.org/wiki/Mechero_Bunsen

8. Annexos

Al llarg d'aquest treball es fan menció a dos composts químics que són els responsables del canvi de color de la flama. És important, però, a l'hora d'ésser manipulats, conèixer-ne algunes de les seves característiques principals i riscos per evitar-ne un mal ús.

- **Annex 1: Fitxa de Seguretat de l'àcid bòric:**



1. Identificació:

Nom del producte	Àcid Bòric
Fórmula Química	H_3BO_3
Número CAS	10043-35-3
Número ChemEBI	33118
Número PubChem	7628
Aparença	Blanc, inolor, estructura cristal·lina

2. Principals Característiques:

Densitat	1435 kg/ m_3
Massa molecular	61.8 g/mol
Punt d'Ebullició	300 °C
Punt de Fusió	169 °C
Acidesa	1=9,236; 2=12,74; 3=13,80 pK_a
Inflamabilitat	No inflamable
Solubilitat	Aigua, Etanol, Metanol, Èter

3. Perills i riscos:

Pictograma de Perillositat		NFPA 704	
Ingestió	Vòmits, diarrea. En dosis desmesurades pot resultar letal		
Inhalació, contacte amb la pell o els ulls	Pot causar irritació, esquerdes en la pell o cianosi, depèn de cada individu		
Altres Perills	Podria afectar a la mala gestació del nen durant l'embaràs		

4. Prevencions i Assistència Mèdica:

Duu guants de làtex, mascareta protectora i ulleres de seguretat. En cas d'accident, exposar a la víctima a respirar aire fresc, netejar immediata de la zona afectada. No induir al vòmit. No ingerir cap medicament de cap tipus.

- **Annex 2: Fitxa de seguretat del Clorur de Liti:**



1. Identificació:

Nom del producte	Clorur de Liti
Fórmula Química	LiCl
Número CAS	7447-41-8
Número ChemEBI	48607
Número PubChem	433294
Aparença	Blanc, higroscòpic, estructura cristal·lina

2. Principals Característiques:

Densitat	2070 kg/m ₃
Massa molecular	42.39 g/mol
Punt d'Ebullició	1382 °C
Punt de Fusió	605 °C
Inflamabilitat	No inflamable
Solubilitat	Aigua, Metanol, Etanol, Acetona, Amoníac

3. Perills i riscos:

Pictograma de Perillositat		NFPA 704	
Ingestió	Toxicitat aguda: nàusea, vòmits, ceguera no permanent. En dosis desmesurades pot ocasionar una parada cardíaca		
Inhalació, contacte amb la pell o els ulls	Pot causar irritació.		

4. Prevencions i Assistència Mèdica:

Duu guants de làtex i ulleres de seguretat. En cas d'accident, exposar a la víctima a respirar aire fresc, netejar immediata de la zona afectada. No induir al vòmit. No ingerir cap medicament de cap tipus.