



Màster universitari en **Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes**

Treball de fi de màster

Títol: Implementació d'un programa de simulació a la unitat formativa de Disseny de motlles i models de fosa del Cicle Formatiu de Grau Superior de Disseny en fabricació mecànica.

Cognoms: Caballol Pascuet

Nom: Esteve

Titulació: Màster en Formació del Professorat d'Educació Secundària Obligatòria i Batxillerat, Formació Professional i Ensenyament d'Idiomes

Especialitat: Formació Professional

Director/a: Antonio Cañabate

Data de lectura: 18/10/2018



Índex

1. Resum/ <i>Abstract</i>	3
2. Introducció	4
3. Marc teòric.....	5
3.1 Potencial i problemes de la simulació per ordinador en l'educació	5
3.2 Avantatges i inconvenients en la simulació de fosa	10
3.3 Conclusions	14
4. Definició i contextualització del problema	16
4.1 Objectius del treball.....	16
4.2 Context curricular	16
4.3 Context del centre	21
4.4 Definició del problema	22
5. Anàlisi d'alternatives.....	24
5.1 Valoració d'alternatives	24
5.2 Tria de la millor opció disponible/assequible.....	32
6. Descripció de la solució.....	34
6.1 Objectius generals.....	34
6.2 Competències i capacitats clau.....	34
6.3 Competències de l'àmbit científic i tecnològic.....	35
6.4 Relació Unitats Formatives del Mòdul Professional	35
6.5 Continguts, Resultats d'aprenentatge i Criteris Avaluació del MP	35
6.6 Material i eines del desenvolupament.....	39
6.7 Valoració econòmica	39
7. Metodologia i planificació de treball	40
7.1 Metodologia i implementació de la solució.....	40
7.2 Programació	41
7.3 Model pedagògic	43
7.4 Atenció a la diversitat	44
8. Avaluació dels resultats.....	45
8.1 Avaluació i qualificació de les UF	45
8.2 Avaluació i qualificació del MP	46
8.3 Avaluació de la nova metodologia.....	46
8.4 Problemàtiques i possibles solucions.....	47
9. Conclusions	48
10. Bibliografia	49
11. Annexes.....	51
11.1 Simuladors del procés de fosa.....	51
11.2 Llistat d'abreviatures.....	56
11.3 Llistat de taules i figures.....	58

1. Resum/Abstract

El present treball de final de màster consisteix en la implementació d'un programa de simulació de fosa al mòdul professional de Disseny de motlles i models de fosa, del Cicle Formatiu de Grau Superior de Disseny en fabricació mecànica. El treball està dividit en dues parts clares i ben diferenciades.

En una primera part, el treball s'ha centrat en la recerca i investigació dels avantatges i desavantatges que comporta la incorporació dels programes de simulació com a recurs pedagògic per tal de millorar la qualitat educativa, i posteriorment, l'anàlisi s'ha enfocat concretament en la simulació del procés de fosa, i els beneficis i inconvenients que comporten la seva utilització. La conclusió a que s'ha arribat és que la simulació ben implementada esdevé un recurs molt valuós i útil per assolir els objectius proposats.

A la segona part, un cop constada la idoneïtat de la seva implementació, s'ha realitzat un estudi comparatiu de les característiques específiques d'alguns simuladors existents al mercat actualment, i s'ha escollit la millor opció disponible/assequible que s'ajusti als requeriments. Posteriorment, s'ha definit i contextualitzat el problema, s'ha descrit la incorporació de la simulació al currículum educatiu, s'ha definit la metodologia i model pedagògic que se seguiran i s'ha programat les activitats d'ensenyament i aprenentatge. Finalment, es proposa una avaluació dels resultats d'aquesta implementació per tal de poder determinar el grau d'assoliment dels objectius proposats inicialment.

Paraules clau: Disseny de motlles, Models de fosa, Interdisciplinari, Aprenentatge basat en la simulació, Aprenentatge entre iguals, Resultats d'aprenentatge, Simulador.

This master's final project consists in the implementation of casting simulation software in the professional module of Design of molds and foundry models, of the Higher Vocational Training Cycle of Mechanical Design. The work is divided into two clearly differentiated parts.

In the first part, the work is focused on the research of the advantages and disadvantages of incorporating simulation software as a pedagogical resource in order to improve educational quality, and later, the analysis has specifically focused in the simulation of the casting process, and the benefits and inconveniences that entail its use. The conclusion that has been reached is that a well implemented simulation becomes a very valuable and useful resource to achieve the proposed objectives.

In the second part, once the suitability of its implementation has been determined, a comparative study of the specific characteristics of some existing simulators in the market has been carried out, and the best available/affordable option has been chosen in accordance to the requirements. Subsequently, the problem has been then defined and contextualized, the incorporation of the simulation into the educational curriculum has been described, the pedagogical methodology and model that will be followed and the teaching and learning activities programmed has been defined. Finally, an evaluation of the results of this implementation is proposed in order to determine the degree of achievement of the objectives initially proposed.

Keywords: Mold design, Casting models, Interdisciplinary, Simulation-based learning, Peer learning, Learning outcomes, Simulator.

2. Introducció

Aquest Treball de Final de Màster (TFM) es desenvolupa amb la finalitat d'analitzar la conveniència i idoneïtat d'instaurar un programa de simulació de fosa al Mòdul Professional (MP) de Disseny de motlles i models de fosa, del Cicle Formatiu de Grau Superior (CFGS) de Disseny en Fabricació Mecànica. Actualment el mòdul en qüestió s'està impartint sense aquest recurs disponible, i es per aquest motiu que es realitza aquest estudi per tal de poder extreure conclusions dels avantatges i inconvenients que comporta l'ús de la simulació a la docència.

En les últimes dècades, hi ha hagut un gran desenvolupament tecnològic i han aparegut un gran nombre de simuladors, de diferents temàtiques i en un gran nombre de camps. Aquest avenç tecnològic ha comportat una progressiva millora d'aquests programes de simulació tant pel que fa al seu cost econòmic com a les prestacions que ofereixen els mateixos. Malgrat aquesta reducció del seu preu, cal indicar que continuen sent cars en comparació amb els recursos disponibles de que disposa el departament de mecànica.

Són molts els estudis que s'han dut a terme des de finals del segle passat dels beneficis i inconvenients que comporta la incorporació de la simulació com a recurs pedagògic. Mitjançant un anàlisi dels mateixos es pretén extreure unes conclusions de la conveniència o no de la seva incorporació com a recurs educatiu. Posteriorment, aquest anàlisi de beneficis i inconvenients s'acotarà als programes de simulació de fosa i s'extrauran unes conclusions que ens permetin decidir fonamentadament. Les conclusions extretes d'aquest anàlisi ens permetran extreure conclusions per tal de valorar aquesta idoneïtat, realitzar l'anàlisi d'alternatives i establir uns criteris per a dissenyar el mòdul incorporant aquest recurs. Per la recerca d'informació es consideraran els motors de recerca científica de "Web of science" i el motor general de recerca acadèmica "Google Scholar".

Finalment, en cas afirmatiu d'idoneïtat, es procedirà a un estudi de característiques d'alguns simuladors existents al mercat per determinar la millor relació qualitat/preu, que d'una banda incorpori a l'aula un entorn d'aprenentatge nou i enriquidor per a l'alumne i de l'altre tingui present els recursos econòmics limitats que pateix el departament. No té cap sentit malbaratar recursos econòmics si la incorporació del programa de simulació no repercuteix en una millora de la qualitat educativa o d'assoliment d'aprenentatges, més enllà de la incorporació d'un nou recurs tecnològic que de per si, no és barat. Es proposarà un disseny d'implementació i un mètode de validació del mateix, que ens permetrà determinar el grau d'assoliment dels objectius plantejats.

3. Marc teòric

3.1 Potencial i problemes de la simulació per ordinador en l'educació

“L'aprenentatge basat en la simulació implica l'aprenentatge realitzat en un entorn informatitzat, en el qual l'alumne interacciona amb les entitats de l'entorn i gradualment va deduint les característiques del model conceptual mentre avança a través de la simulació, el que pot generar canvis en la seva concepció original” (De Jong i Van Joolingen 1998)

La recerca en la utilització de la tecnologia en la educació s'ha expandit i diversificat en la mesura que les tecnologies s'han anat desenvolupant. Aquests ràpids canvis a la tecnologia fan la investigació difícil, complexa i desafiant. Actualment, el panorama de la recerca en la utilització de les Tecnologies de la Informació i de la Comunicació (TIC) en l'educació en general, o fins i tot en el cas específic de l'educació científica és amplia, especialment els estudis de les simulacions informàtiques.

“Les simulacions informàtiques s'han tornat cada cop més poderoses i estan disponibles per als professors de ciències durant les últimes tres dècades (Smetana i Bell 2012). Els professors de ciències d'avui poden triar entre una àmplia gamma de simulacions informàtiques disponibles des d'una gran varietat de llocs, inclosos llocs d'Internet d'accés lliure, llocs web comercials i programari comercial resident. Com a grup, aquestes simulacions estan dissenyades per facilitar la instrucció i l'aprenentatge de la ciència mitjançant una millor visualització i interactivitat amb models dinàmics de fenòmens naturals (De Jong i Van Joolingen 1998).” (Trundle i Bell 2010)

Són molts i molt variats, els estudis duts a terme en que utilitzen la simulació per ordinador per promoure el coneixement del contingut, habilitats de procés, canvi conceptual o relacionats amb temes pedagògics. Aquests estudis han estat realitzats en assignatures com química, física, biologia, ecologia, ciències de la terra, ciències físiques, ciències ambientals i ciències generals amb continguts de simulació tals com comportament del gas ideal, col·lisions elàstiques, espectroscòpia, desplaçament de volum, espectrofotometria, reaccions enzimàtiques, flotació, dinàmica poblacional, sistema nerviós, genètica poblacional i molecular, representacions químiques moleculars, equilibri químic, mecànica, ones/òptica, física tèrmica, divisió cel·lular, oceanografia, col·lisions, teoria molecular cinètica, calor i temperatura, problemes generals de processos, canvis de fase, dissecció de granotes, ecologia, comportament d'isòpodes, moviment relatiu, paleontologia, creixement cel·lular, disseny automàtic de ratolins, microscopis àcids / bases, força i moviment, difusió i osmosi, conceptes lunars, enllaç químic, sistema cardiovascular i electricitat. Com s'observa, la varietat i diversificació de les temàtiques es molt ampli i variat. (Smetana i Bell 2012)

A l'estudi realitzat per Smetana i Bell referent a la simulació per ordinador per donar suport a la instrucció i l'aprenentatge de la ciència, aquests conclouen que els resultats generals suggereixen que les simulacions poden ser tant efectives com les pràctiques tradicionals, i fins i tot més eficaces, per promoure el coneixement de continguts científics, desenvolupar habilitats de procés i facilitar el canvi conceptual. L'efectivitat de les simulacions per ordinador, a l'igual que amb qualsevol altre eina educativa, depèn de les formes en què s'utilitza i aquestes són més efectives quan s'utilitzen com a suplement, per incorporar estructures de suport d'alta qualitat, per encoratjar la reflexió dels estudiant i/o per promoure la dissonància cognitiva. Utilitzats de manera apropiada, les simulacions informàtiques impliquen als estudiants en exploracions científiques basades en la investigació.

Les simulacions per ordinador demostren ser una eina valuosa per a l'ensenyament i l'aprenentatge de coneixements de física, química, biologia i coneixement de les ciències de la terra, especialment quan s'utilitzen en combinació amb altres experiències d'aprenentatge. També han demostrat l'avantatge de donar resposta a les diferències entre els estudiants i donar-los la propietat del procés d'aprenentatge. Poden ser especialment adequades per a l'ensenyament d'una gran varietat de coneixements científics per a la visualització, la

classificació, la interpretació de dades, la resolució de problemes i el disseny experimental. A més, les simulacions informàtiques han demostrat ser eficaces per revelar i desafiar les concepcions d'alternatives dels estudiants, promovent una dissonància cognitiva. Malgrat tot, aconseguir un canvi conceptual durador és igual de desafiant tant si s'utilitzen eines informàtiques com amb enfocaments instructius tradicionals. (Smetana i Bell 2012)

Un altre avantatge de les simulacions per ordinador és que, aquestes ofereixen representacions idealitzades, dinàmiques i visuals de fenòmens físics i/o experiments que podrien ser costosos, perillosos o no factibles en un laboratori d'escola o institut. Atès que les simulacions per ordinador mostren versions simplificades del món natural, aquestes també poden focalitzar més directament l'atenció de l'estudiant i del professor al fenomen desitjat.

"La simulació ofereix representacions ideals, dinàmiques i visuals de fenòmens físics i experiments que serien perillosos, costosos o no factibles en un laboratori escolar. Allibera els estudiants de processos manuals laboriosos, tant per agilitzar la producció de treball com per permetre que els professors i els alumnes es centrin en qüestions generals o destacades sense distracció (Osborne & Hennessy, 2003). Es considera que l'ús de la simulació és compatible amb l'aprenentatge de la ciència mitjançant l'encoratjament dels estudiants de plantejar i investigar qüestions de caràcter exploratori ("Què passa si ...") i fer front a dades menys "desordenades" ..." (Hennessy et al. 2007)

Les simulacions interactives són una nova forma de transmetre idees científiques i involucrar els estudiants en activitats educatives. Wieman, Perkins i Adams, analitzant el cas particular de les simulacions PhET¹, arriben a la conclusió de que són eines versàtils per a l'ensenyament a classe que serveixen com a una poderosa ajuda visual, complementen les demostracions tradicionals a l'aula i proporcionen l'oportunitat d'una participació interactiva mitjançant demostracions interactives o proves de conceptes. A més a més, permeten que el professor i estudiants puguin centrar més el seu temps i atenció cognitiva en la comprensió dels fenòmens físics. (Wieman, Perkins i Adams 2008).

De forma addicional, les simulacions informàtiques permeten als estudiants poder visualitzar objectes i processos que normalment estan fora del control de l'usuari al món real o van més enllà de la seva percepció. Com que les simulacions presenten versions simplificades del món natural, permeten centrar l'atenció dels estudiants en els fenòmens específics. A més, moltes simulacions permeten la manipulació de variables que estan més enllà del control dels usuaris a la realitat. (Trundle i Bell 2010)

Els dissenyadors d'experiments virtuals poden simplificar l'aprenentatge, eliminar detalls confusos, destacar la informació que interessa i/o poden modificar característiques del model, com ara l'escala de temps, que faciliten la interpretació de determinats fenòmens. Una disponibilitat important dels laboratoris virtuals és que la realitat es pot adaptar. Els estudiants poden realitzar experiments sobre fenòmens poc observables, com poden ser les reaccions químiques, la termodinàmica o l'electricitat. En aquests laboratoris virtuals, els estudiants també poden enllaçar directament processos no observables a equacions simbòliques i fenòmens observables, cosa que els encoratja a fer abstraccions sobre diferents representacions. (Ton de Jong, Marcia C. Linn 2013).

Un ambient d'aprenentatge basat en la simulació per ordinador té una sèrie d'avantatges respecte als llibres de text o una classe magistral com són la possibilitat de repetibilitat del procés/activitat, menys temps de preparació, possibilitat d'exploració de situacions hipotètiques, permet variar l'escala/temps del procés o que els resultats siguin instantanis en un ambient quasi bé totalment realista. Això permet practicar i dur a terme més experiments amb la mateixa

¹ "El projecte de Tecnologia de l'Educació Física (PhET) crea simulacions útils per l'ensenyament i aprenentatge de la física i les fa disponibles de manera gratuïta al lloc web de PhET (<http://phet.colorado.edu>). Les simulacions (sims) són entorns animats, interactius i de joc en què els estudiants aprenen a través de l'exploració. En aquestes sims, destaquem les connexions entre els fenòmens de la vida real i la ciència subjacent, i busquen fer accessibles als estudiants els models visuals i conceptuals dels físics experts" (Wieman et al. 2010)

quantitat de temps i, conseqüentment, poder recollir més informació i solucionar problemes. Hi ha un estalvi de temps que permet al professor dedicar més temps al alumnes per poder aprofundir en aquells aspectes clau o de forma més personalitzada.

Si comparem una conferència o els llibres de text amb un entorn d'aprenentatge basat en la simulació per ordinador, aquest últim té els següents avantatges: els estudiants poden explorar sistemàticament situacions hipotètiques, poden interactuar amb una versió simplificada d'un procés o sistema, canviar l'escala temporal dels esdeveniments i practicar tasques i resoldre problemes en un ambient realista sense estrès. Pel professor, la utilització de les simulacions per ordinador comporten un estalvi de temps, que els permet dedicar més temps als estudiants en comptes d'estar configurant i supervisant els equips físics experimentals. (Rutten, Van Joolingen i Van Der Veen 2012)

Els experiments virtuals ofereixen una major eficiència sobre els experiments físics ja que, normalment, requereixen de menys temps d'instal·lació i proporcionen uns resultats quasi de forma instantània. Això permet que els estudiants realitzin més experiments i, per tant, obtinguin més informació en la mateixa quantitat de temps que es tarda a fer l'experiment físic. (Ton de Jong, Marcia C. Linn 2013)

Per tal de poder aprofitar tots aquests possibles avantatges és necessari que la simulació estigui ben dissenyada i que s'utilitzi de forma que s'ajusti als principis d'aprenentatge, ja que d'altre banda, utilitzada incorrectament pot ser ineficient o fins i tot contraproduent. Una simulació ben dissenyada pot involucrar a l'alumne, el pot ajudar a fer entendre els conceptes o fenòmens i perquè passen, permet una variació dels paràmetres amb una visualització sobre el sistema i per tant possibilita l'exploració de noves hipòtesis, predicció de possibles resultats i l'obtenció d'aquests.

En general, un bon experiment, ja sigui realitzat en un ordinador o a la vida real, fins i tot amb estímuls alentits per millorar observacions, pot no contribuir a la reestructuració de la comprensió conceptual inexacta d'un adolescent, mentre que, un mal experiment pot ser suficient per alterar la comprensió conceptual precisa de l'estudiant. (Renken i Nunez 2013)

Les simulacions interactives són una nova forma de transmetre idees científiques i involucrar els estudiants a les activitats educatives. Una excel·lent simulació utilitzada de forma incorrecte serà tant ineficaç com ho farà una excel·lent activitat que utilitza una simulació mal dissenyada. Quan les simulacions es dissenyen i s'utilitzen d'una manera que s'alinea directament amb uns principis d'aprenentatge ben establerts, aquestes són altament efectives. En canvi, si el seu disseny o la seva utilització es desvia d'aquests principis, les simulacions poden tenir un valor poc educatiu o fins i tot negatiu. Les simulacions són especialment útils per ajudar els estudiants a descobrir relacions de causa-efecte i per millorar les habilitats dels estudiants per connectar múltiples representacions degut a la resposta animada immediata que produeix el canvi de qualsevol control a la simulació. Una bona simulació pot conduir a un aprenentatge relativament ràpid i molt eficaç de temes difícils. Tanmateix, si l'estudiant interpreta alguna cosa de la simulació de manera diferent a la que es pretenia, llavors, pot ser que s'apregui de forma eficaç, la idea equivocada. (Wieman, Perkins i Adams 2008)

Les simulacions d'ordinador efectives estan basades en "models matemàtics" per representar amb precisió els fenòmens o processos a estudiar. Una simulació informàtica ben dissenyada pot involucrar l'alumne en la interacció, ajudar-lo a predir el curs i els resultats de certes accions, entendre el perquè ocorren els esdeveniments observats, explorar els efectes de modificar conclusions preliminars, avaluar idees, obtenir coneixements i estimular el pensament crític. Els entorns d'aprenentatge informàtic dissenyats adequadament poden recolzar l'aprenentatge exploratori i constructivista, oferint als estudiants una major intervenció en el seu procés d'aprenentatge. (Psycharis 2011)

La majoria dels estudis informen de millores per als dominis cognitius i afectius amb la utilització de la simulació. No obstant es necessària una certa precaució, ja que l'augment de l'enteniment a curt termini no condueix necessàriament a un aprenentatge significatiu a llarg termini. (Rutten, Van Joolingen i Van Der Veen 2012) Els diferents models d'aprenentatge no

tenen efectes diferents sobre els estudiants amb diferents habilitats de raonament. L'aprenentatge basat en la simulació és més beneficiós per als estudiants amb capacitats de raonament abstractes superiors. (Chang et al. 2008)

Els investigadors han descobert que l'ús de simulacions per ordinador en contextos educatius pot permetre als estudiants millorar el seu aprenentatge i promoure la comprensió dels fenòmens no observables en la ciència. Els continguts que són dinàmics, interactius i integrats a la simulació per ordinador tenen un major efecte en els resultats d'aprenentatge que els continguts que es presenten en forma de text i imatges estàtiques. (Trey i Khan 2008)"

Huppert, Lomask i Lazarowitz, analitzant el cas de l'Aprenentatge Assistit per Ordinador CAL² arriben a la següent conclusió: *"La simulació va afectar de forma positiva i significativa en l'assoliment acadèmic dels estudiants de etapes més baixes que van poder complir els requisits del programa per manipular simultàniament tres variables, prendre decisions, resoldre problemes, llegir i interpretar gràfics i planificar noves investigacions basades en els resultats dels experiments anteriors. Aquestes habilitats exigeixen altes habilitats de raonament cognitiu, típiques de l'etapa formal (Inhelder i Piaget 1958)."* (Huppert, Lomask i Lazarowitz 2002) Així doncs, tots els estudiants que van aprendre amb el programari CAL van aconseguir un major assoliment en el domini de les habilitats del procés científic, tot i que no sempre a un nivell estadístic significatiu en comparació amb el grup de control. Amb experiments simulats es poden millorar les activitats d'aprenentatge cognitiu. Els estudiants que van utilitzar l'entorn simulat de l'aprenentatge CAL presentaven un raonament complex i integrador més elevats.

Els estudis prèvies ens han mostrat l'efectivitat de les simulacions informàtiques en l'aprenentatge dels estudiants. Molts d'aquests estudis es centren en l'adquisició de coneixements de contingut específics. Alguns investigadors també han assenyalat l'èxit de les simulacions en el desenvolupament d'habilitats de qüestionant i de raonament, és a dir, de pensament crític. Altres investigacions han informat de resultats menys impressionants en l'ús de simulacions a l'ensenyament i, fins i tot, alguns d'ells no han trobat cap avantatge en la utilització de simuladors respecte de mètodes o instruccions tradicionals, laboratoris de pràctiques, etc. Alguns investigadors han argumentat, també que els guanys atribuïts als simuladors poden ser deguts als mètodes seguits o al professor i no a la simulació en si.

Els estudis realitzats sobre com els entorns informatitzats milloren el rendiment de l'aprenentatge han produït resultats diversos. Alguns d'ells constaten que l'aprenentatge basat en simulacions no millora significativament els resultats de les proves dels estudiants (Reamon & Sheppard, 1997). Altres investigadors, (Carlsen & Andre, 1992), afirmen que no hi ha una diferència significativa entre l'aprenentatge basat en la simulació i l'ensenyament basat en la narració. Una gran majoria d'ells (Chang, Chen, Lin, & Sung, 2008; Colaso et al., 2002; Luo, Stravers, & Duffin, 2005; Naps et al., 2003) afirma que els avantatges són importants en l'aprenentatge basat en la simulació. (Psycharis 2011) Els investigadors també han informat sobre l'èxit de les simulacions per ordinador pel que respecte al suport de les habilitats d'investigació i de raonament. Altres investigacions, però, reporten resultats menys impressionants en la utilització dels simuladors en la instrucció científica. Alguns d'aquests no han trobat cap avantatge en utilitzar simulacions sobre mètodes tradicionals (Carlsen & Andre, 1992; Regan & Shephard, 1996). Algunes investigacions han demostrat que l'ús de simulacions per ordinador és menys efectiva que les pràctiques tradicionals d'instrucció i laboratori (Marshall & Young, 2006; Rieber, Boyce i Assad, 1990). Fins i tot quan els resultats obtinguts en l'assoliment dels estudiants s'han demostrat que eren mitjançant l'ús de tecnologies com les simulacions per ordinador, alguns com (Clark, 1983, 1994) han afirmat que els resultats obtinguts eren atribuïbles al mètode didàctic emprats i a l'efecte dels professors, i no pas a la simulació. (Trundle i Bell 2010) L'evidència dels beneficis cognitius dels experiments simulats versus físics no està clara. (Renken i Nunez 2013)

Així malgrat les altes expectatives de les simulacions per ordinador, no es pot garantir una conclusió general sobre la seva efectivitat. Aquestes, però, són molt més efectives quan s'integren com a recurs complementari. L'eficàcia de les simulacions per ordinador està

² Computer Assisted Learning – Aprenentatge assistit per ordinador.

estretament vinculada amb com aquestes són implementades. Proporcionant únicament ordinadors o programes informàtics sense una atenció curosa dels suports d'aprenentatge i models d'ensenyament no es tradueix, per si sol, en una millora de resultats d'aprenentatge, de les competències o qualitat educativa.

“És evident que l'efectivitat de les simulacions per ordinador està estretament relacionada amb la pedagogia a través de la qual treballen (Flick & Bell, 2000; Clark, 1983, 1994). Si no es té en compte la pedagogia de l'ús de la tecnologia, es poden explicar alguns dels resultats negatius de la investigació de camp (per exemple, Marshall & Young, 2006; Waight & Abd-El-Khalick, 2007). Simplement proporcionant accés als ordinadors o programari sense una acurada atenció al suport per a l'aprenentatge i el model d'instrucció, és probable que no es generin els guanys instructius desitjats.” (Trundle i Bell 2010)

Per tal de que les innovacions tecnològiques com les simulacions per ordinador siguin exitoses, el professorat necessita ser proveït de les habilitats i coneixements necessaris per a la seva implementació. Sense les habilitats docents adequades, el potencial total de les simulacions informàtiques així com la seva idoneïtat, es poden veure limitades simples instruments de demostració controlats pel professor. Òbviament, un desconeixement per part del professor de com utilitzar les TIC o el simulador, comportarà que el recursos siguin inútils i que pedagògicament no comportin cap avantatge. Perquè aquests puguin ser eficients cal que el professor disposi dels coneixements, aptituds i habilitats per poder-los implementar adientment.

El component fonamental en l'ús de les TIC en l'aprenentatge i l'ensenyament, és el professorat i els seus enfocaments pedagògics. Els professors han de conèixer l'àmplia gamma de possibilitats que ofereixen les TIC en a l'aprenentatge dels estudiants, així com també han de saber com les TIC poden alliberar-los de tasques organitzatives bàsiques. Els professors han de proporcionar informació suficient sobre aquestes (TIC) per permetre als alumnes poder-les utilitzar. A continuació, els professors necessiten utilitzar aquest coneixement de les assequibilitat, juntament amb una àmplia gamma d'altres tipus de coneixements prèviament identificats per planificar unes activitats que condueixin a l'aprenentatge i que motivin als estudiants. Per tant, els professors tenen un paper crucial en la planificació de les experiències d'aprenentatge dels seus alumnes mitjançant la utilització de les TIC i en la promoció del seu aprenentatge. (Webb 2005)

Per tal que les innovacions educatives, com ara les simulacions per ordinador, tinguin èxit, cal proporcionar als professors de les habilitats i els coneixements necessaris per tal de poder-les implementar. Sense les habilitats docents adequades, tant el potencial total com la idoneïtat de les simulacions, es poden veure limitades en la seva eficàcia per practicar habilitats d'investigació. (Rutten, Van Joolingen i Van Der Veen 2012)

La identificació de les necessitats d'aprenentatge, l'elecció del programa de simulació i com aquests és integrat a l'ambient d'aprenentatge són, tots ells, de màxima importància pels resultats d'aprenentatge. L'eficàcia de les simulacions depenen del rol del professor en la seva implementació. El professor té un rol important seleccionant els recursos idonis, seqüenciant i estructurant les activitats d'aprenentatge, guiant als estudiants en la seva experimentació, ajudant a la generació d'hipòtesis i prediccions i ajudant a la reflexió crítica dels resultats.

No podem limitar la simulació, a una activitat seqüenciada com seria el muntatge d'un moble “do it yourself” o una recepta de cuina, ja que això limita la llibertat de l'alumne a l'experimentació o exploració. Cal però, proporcionar algun tipus de suport d'aprenentatge per tal de que la simulació per ordinador pugui millorar l'aprenentatge basat en simulació i profitosa per l'alumne com podrien ser les instruccions de funcionament entre d'altres. Sense cap tipus d'ajut, l'efectivitat d'aquesta es redueix considerablement.

Els estudis revisats mostren que els efectes d'una instrucció ben dissenyada basada en la simulació són potencialment elevades. Els factors principals que cal tenir en compte són la forma en què s'adreça i s'implica l'estudiant, la forma en què es presenta i s'integra la simulació, quina informació addicional es proporciona i com es proporciona la informació. (Rutten, Van Joolingen i Van Der Veen 2012)

Tot i que l'ús de suport a l'aprenentatge restringeix les exploracions realitzades pels estudiants, una bona estructuració proporciona una millora del rendiment en l'aprenentatge basat en la simulació. No obstant, si aquest suport proporcionat impedeix completament les exploracions lliures, convertint els experiments en un pas a pas, es veurà reduïda l'eficàcia de l'aprenentatge. En un sistema d'aprenentatge basat en simulacions, l'ús de components gràfics requereix d'una consideració acurada, especialment quan s'aplica a estudiants amb diferents capacitats abstractives. Ajudar als estudiants a establir hipòtesis beneficia l'aprenentatge basat en la simulació, independentment de la precisió de les hipòtesis originals. Tanmateix, proporcionant una orientació en els procediments experimentals limita la llibertat dels aprenents a explorar en els experiments, perquè han de seguir els passos donats i això dificulta els resultats d'aprenentatge. Per a experiments més abstractes i complicats, l'experiment combinat amb un suport d'aprenentatge de menú d'hipòtesi, és un enfocament adequat que ajuda els alumnes a realitzar experiments. (Chang et al. 2008)

La investigació suggereix que els professors necessiten planificar l'ús de les assignacions acuradament i proporcionar els materials adequats que es relacionen amb les possibilitats de l'experiència multimèdia i els seus objectius docents. Per planificar i seleccionar les pràctiques pedagògiques adequades, els professors han d'entendre la relació entre les disponibilitats d'una gamma de recursos TIC i el coneixement detallat dels conceptes, processos i habilitats d'ells com a subjecte. Els professors necessiten utilitzar el seu coneixement sobre el procés d'aprenentatge conjuntament amb la seva experiència docent per tal de seleccionar els recursos TIC adequats que proporcionin les possibilitats als estudiants de poder assolir els objectius d'aprenentatge. Les disponibilitats proporcionades per entorns rics en TIC donant suport d'autogestió als estudiants, allibera als professors per centrar-se en el qüestionament i la negociació del significat. La disponibilitat de registre de dades i programari de gràfics per donar suport al treball pràctic de laboratori, conjuntament amb les oportunitats que ofereixen al professor per a una major interacció amb els estudiants, permet a aquest assegurar-se que aquests treballs pràctics es centren en el desenvolupament de la comprensió conceptual en comptes d'estar ocupats en procediments de laboratori. (Webb 2005)

La següent cita conclou, de forma breu i resumida, l'anàlisi fet dels millores que comporten l'aprenentatge basat en la simulació en l'àmbit de les ciències:

“Pel que fa a l'ús de simulacions com a millora o reemplaçament dels mitjans tradicionals de prova, els resultats són inequívocs: les simulacions han guanyat un lloc a l'aula com a addicions robustes al repertori dels professors, ja sigui com a complement dels mètodes tradicionals de docència disponibles o com una substitució de parts del currículum. Tots els estudis revisats que comparen condicions amb o sense simulacions reporten resultats positius per a la condició de simulació d'estudis en què es van utilitzar simulacions per reemplaçar o millorar les classes teòriques.” (Rutten, Van Joolingen i Van Der Veen 2012)

3.2 Avantatges i inconvenients en la simulació de fosa

La simulació és el procés d'imitar un fenomen real mitjançant un conjunt d'equacions matemàtiques implementades en un programa informàtic. En la simulació de fosa, l'anàlisi d'empenat i solidificació del motlle es realitza utilitzant un algoritme o programa per tal d'identificar els punts calents i, per tant, defectes com la contracció de porositats, llàgrimes, esquerdes, etc. Els programes de simulació es basen en un anàlisi d'elements finit de models 3D de fosa i implica la utilització de funcions sofisticades per a la interfície d'usuari, computació i visualització. El model de fosa, amb el sistema d'alimentació, canals de distribució, etc., s'ha de crear amb un sistema de modelatge sòlid i importar-lo posteriorment al programa de simulació. (Dabade i Bhedasgaonkar 2013)

La solidificació de fosa és, en realitat, la transformació de la fase líquida a la fase sòlida amb l'alliberament de la calor latent de fusió. Durant aquest procés metal·lúrgic, s'indueixen defectes en la fosa com per exemple les contraccions, les porositats o les llàgrimes. (Vijayaram et al. 2006) Aquest procés, s'ha comparat amb fenòmens naturals com ara esquitxades d'onades

marines o a un cabal volcànic, i està gairebé subjecte a un nombre infinit d'influències. (Ravi 2008a) L'emplenat ràpid provoca defectes relacionats amb la turbulència com l'erosió del motlle, l'aspiració d'aire o les inclusions, mentre que d'altra banda, l'ompliment lent pot produir defectes relacionats amb la solidificació prematura com ara els tancaments freds. (Ravi 2008b)

Bàsicament, un programa de simulació de solidificació de fosa realitza en primer lloc, el modelatge sòlid, i posteriorment, un anàlisi tèrmic i la simulació de solidificació. Durant el procés de simulació es poden modelar diversos efectes com el de variar la posició d'emmotllament, la posició d'entrada, els materials del motlle, el refredament, els materials aïllants i exotèrmics, permeten poder arribar a predir el mètode òptim de fosa. El programari de simulació de solidificació de fosa és habitual en fonderies d'alumini, coure, ferro i acer, utilitzant processos que van des de sorra, sorra verda, resina i sorra adhesiva fins a inversió i fosa per gravetat. (Vijayaram et al. 2006)

Pel que fa als estudis relacionats amb els avantatges i inconvenients dels programes de simulació de fosa, el nombre i quantitat d'aquests es considerablement inferior als realitzats en el context de les ciències. Aquest fet, però, no es d'estranyar ja que la fosa es un apartat concret dins de les tecnologies, i aquesta especificitat comporta una menor disponibilitat d'informació al respecte.

Cal indicar també que, aquests avantatges i inconvenients estan més orientats a les empreses que en fan ús i no tant en aspectes pedagògics. En les últimes dècades, els simuladors de fosa i emplenat de motlles han experimentat una gran evolució, han incorporat noves funcionalitats i, amb ells, s'obtenen resultats molt acurats i precisos. Són moltes les empreses que ofereixen programes de simulació i moltes les empreses de foneria que les han incorporat en els seus processos de producció, malgrat el seu elevat cost.

El motiu pel qual, aquests, estan entrant progressivament al mercat és per la seva alta fiabilitat, reducció de temps, de costos econòmics, mediambientals i de petjada ecològica, i pels guanys econòmics que comporta la seva utilització. És, per tant, molt important que els alumnes aprenguin aquesta competència digital ja que probablement se la trobaran el dia de demà professionalment. El seu domini comportarà, de ben segur, tan avantatges pedagògics com professionals.

Malgrat tot, la simulació per ordinador de la solidificació de fosa de metalls i aliatges, és un fenomen complex. (Vijayaram et al. 2006) Abans considerades un luxe, el disseny i la simulació assistida per ordinador de les peces de fosa s'està convertint en una part integral de les operacions de fosa, necessàries per aconseguir peces de fosa d'alta qualitat de forma consistent amb un rendiment òptim. Les empreses de foneria noves i en expansió, estan tenint en compte la simulació de fosa com a una instal·lació essencial dels seus processos de fabricació. (Ravi 2010) Les peces de fosa amb zero defectes de contracció s'han convertit en una realitat a causa de, el disseny assistit per ordinador, la simulació i l'optimització del disseny del mètode. (Ravi 2008b)

Entre els beneficis que comporta la utilització dels programes de simulació de la fosa, es poden enumerar els següents: es pot visualitzar i obtenir dades del procés d'emplenat, solidificació i refredament; permet analitzar, predir i detectar els defectes; modificar el disseny; repetibilitat d'assajos; reducció de costos; minimitzar el temps de desenvolupament i treball necessari; optimització de resultats; augmentar el marge de beneficis, la qualitat i el rendiment, i reducció dels costos de no qualitat; estalvi de recursos com el material, energia i treball; major productivitat, proves de simulació més ràpides i menys costoses; augmenten el nivell de confiança i proporcionen una base científica i documentada.

La simulació de la fosa és una eina molt potent que s'utilitza per predir el creixement del procés sense realitzar el procés físicament. La simulació proporciona mitjans iteratius de disseny o modificació del sistema d'alimentació i això redueix el cost global de desenvolupar el mètode per al nou càlcul, minimitzant el temps i el treball involucrat. Es pot realitzar una gran quantitat d'assajos amb rapidesa i es pot obtenir un resultat òptim que, en última instància, augmenta el marge de benefici de la foneria. (Bhatt et al. 2014) Pel que respecta a l'anàlisi de defectes, com

per exemple la contracció de porositats, la tècnica de simulació assistida per ordinador és el mètode més eficient i precís. La qualitat i rendiment de les peces de fosa es pot millorar de forma eficient mitjançant la simulació de fosa assistida per ordinador, en el menor temps possible i sense realitzar els assajos reals a fàbrica. (Dabade i Bhedasgaonkar 2013)

Per tant, aquesta s'ha convertit en un recurs poderós per visualitzar l'empenat, la solidificació i el refredament del motlle, i per predir la ubicació dels defectes interns com poden ser la contracció de porositat, inclusions de sorra o tancaments en fred. Es pot utilitzar per a la solució de problemes de peces de fosa existents, i per al desenvolupament de noves peces de fosa sense haver de realitzar els assajos a fàbrica. En cas de realitzar assajos, aquests poden ser utilitzats per tal de verificar si coincideixen les observacions simulades amb les reals. Una petita millora en el rendiment pot proporcionar uns estalvis significatius de recursos, o una major productivitat amb els mateixos recursos. El cost d'una mala qualitat (mecanitzat, transport, reparació, substitució) afecta directament als marges de benefici, la qual cosa es pot reduir considerablement mitjançant la simulació. Les proves realitzades en un ordinador virtualment són menys costoses i més ràpides, la qual cosa implica que es poden realitzar més assajos per aconseguir una millor qualitat i rendiment. A la vegada, els programes de simulació augmenten el nivell de confiança en una foneria per tal d'assumir peces de fosa més difícils (complexes/grans), i que normalment suposen un marge més alt. També proporcionen una base científica i documentada per garantir la qualitat i la certificació. Per exemple, la simulació pot assenyalar totes les ubicacions probables de defectes interns, que es poden observar més acuradament mitjançant seccions o mètodes de Proves No Destructives (NDT³). Atès que l'ordinador emmagatzema automàticament totes les entrades i resultats de cada prova virtual, aquesta es pot recuperar fàcilment mesos o anys més tard, i reutilitzar-la per a nous projectes similars als anteriors. (Ravi 2008a)

Els resultats obtinguts amb la simulació ajuden a dissenyar eficaçment les peces de fosa mitjançant la identificació de les ubicacions dels defectes i de les característiques geomètriques dels components. Per mitjà de la simulació, el temps versus la temperatura ajuda a visualitzar els contorns de la temperatura i la seva distribució dins del component solidificant. Així, pot ser estudiat a fons l'efecte de l'obstacle de partícules en la interfície sòlid-líquid. (Vijayaram et al. 2006) Les propietats que són crítiques per a la simulació de fosa com el volum, la densitat, la conductivitat i coeficient d'expansió tèrmic i la viscositat del líquid, es poden modelar. Existeixen ara bases de dades exhaustives de paràmetres rellevants per a la majoria de les principals fases dels aliatges basats en Al, Fe i Ni. (Guo et al. 2005)

Els assaigs virtuals no impliquen el malbaratament del material, l'energia i el treball, i no aturen la producció habitual. Entre els beneficis directes s'inclouen, com a mínim, un 50% de reducció del temps de desenvolupament de la peça de fosa o la reducció dels defectes de contracció de porositat. Altres beneficis inclouen millores de rendiment, cotitzacions més ràpides, possibilitat d'agafar projectes més complexos, referències puntuals i formació. La simulació de la fosa pot també minimitzar el malbaratament dels recursos necessaris per a les proves de producció. A més, l'optimització de la qualitat i el rendiment implica una major addició de valor al producte, un menor cost de producció i una millora dels marges. (Ravi 2008b) La millora de la qualitat redueix els costos evitables associats amb la producció de peces defectuoses que a més inclouen el seu transport, la garantia o les possibles sancions. La millora del rendiment redueix el cost de fosa efectiu per peça de fosa i augmenta la capacitat de producció neta de la foneria. El desenvolupament més ràpid de les peces de fosa a través d'assaigs virtuals elimina el malbaratament dels recursos de producció i millora la taxa de conversió de consultes a comandes, donant a les foneries una oportunitat per seleccionar les comandes de major valor. (Ravi 2010)

Pel que fa als possibles inconvenients de la seva utilització, podem destacar els següents: elevats costos d'implementació i operació; necessitat de "hardware" d'alta tecnologia; requereixen de formació; actualització anual del programari; necessitat de mà d'obra tècnica, de suport i manteniment; coneixements necessaris de Disseny Assistit per Ordinador (CAD⁴);

³ proves no destructives (NDT) - "Non-Destructive Testing"

⁴ Disseny Assistit per Ordinador (Computer-Aided Designing)

són de difícil utilització; no es poden simular tots els defectes i, finalment, pel que fa a la disponibilitat de bases de dades amb les característiques dels diferents aliatges, aquestes són limitades.

El cost d'implementació i d'operació és un d'aquests possibles inconvenients. El preu de la majoria dels programes de simulació es troba en un rang va dels 25.000 – 60.000 euros. Alguns d'ells estan disponibles com a arrendament anual (normalment un 25-35% del cost total), però fins i tot així, això és prohibitiu per a la majoria Petites i Mitjanes Empreses (PIME⁵) de la foneria. Els programes requereixen d'un maquinari d'alta tecnologia. La formació i la personalització de la base de dades pot comportar diverses setmanes abans que el programa informàtic pugui ser utilitzat regularment a la foneria. El programari s'ha d'actualitzar anualment, el que normalment costa un 20-30% del cost de la llicència original. La mà d'obra tècnica i el suport tècnic és una altre possible inconvenient ja que la majoria dels programes de simulació requereixen mà d'obra tècnica qualificada per assegurar una correcta execució (amb entrades i unes sortides), una interpretació dels resultats per a la modificació del disseny de mètodes i una garantia de qualitat, i un manteniment d'aquest (personalització de la base de dades, actualització anual, etc.). Es requereix un bon coneixement de CAD i FEM (Mètode d'element finit), conjuntament amb experiència prèvia en mètodes de peces de fosa. (Ravi 2008a)

Tanmateix, la majoria dels programes de simulació disponibles avui en dia no són fàcils d'utilitzar, necessiten tant de temps com les proves reals, i la seva precisió es veu afectada per les propietats del material i les condicions de límit especificades per l'usuari. El problema més gran és la preparació del model de fosa en 3D (motlles, nuclis, alimentadors, etc.) que requereixen d'habilitats de CAD i tarden un temps considerable, fins i tot amb peces de fosa senzilles. (Ravi 2008b) La simulació de la fosa pot ser una experiència agonitzant per als novells. El programari pot no acceptar les entrades de l'usuari, és possible que altres dades no siguin comprensibles o que no estiguin disponibles, l'ordinador pot penjar-se o durar molt de temps per proporcionar els resultats, i els resultats poden no coincidir amb les observacions a fàbrica. Un mal coneixement de la física de solidificació i una formació inadequada en tecnologia de simulació es converteix en un verdader handicap en l'èxit d'ús de la tecnologia de simulació. Un altre inconvenient és que, no tots els defectes poden ser simulats amb precisió. Els defectes de contracció de solidificació (encongiment macro, micro i central) es poden preveure amb precisió i també es poden simular defectes relacionats amb el flux (tancaments en fred i forats), però no sempre coincideixen amb les observacions reals. Els defectes relacionats amb l'estrès de refrigeració (esquerdes), la microestructura i les propietats mecàniques són difícils de simular, i es poden necessitar experiments de calibratge extensos per al seu ús pràctic. (Ravi 2010)

Les propietats físiques i termo-físiques de les fases líquides i sòlides durant la solidificació són dades crítiques per a les simulacions de fosa. Tanmateix, la quantitat d'aliatges per als quals aquesta informació està disponible és limitada, principalment a causa de la dificultat per determinar de manera experimental aquestes propietats. (Guo et al. 2005)

Són molts els beneficis que aporta la simulació de fosa a les empreses de foneria i, per tant, no es d'estranyar que aquest avanç tecnològic estigui penetrant cada cop més en el sector, malgrat els inconvenients que existeixen encara avui en dia. En la última dècada, aquests, han millorat molt les seves prestacions i la seva fiabilitat en la predicció de resultats i possibles defectes. Les previsions són que encara continuaran evolucionant més, el seu preu s'abaratirà i acabaran sent una eina imprescindible per a tota empresa. El domini en qüestió d'aquesta competència tecnologia acabarà esdevenint imprescindible en un futur molt proper.

Es conclou que la tecnologia de simulació de solidificació de fosa s'utilitza per eliminar defectes com la contracció, la porositat i localitzar les regions de punts calents que ajuden a dissenyar els components amb eficàcia. A més, s'utilitza per determinar el temps de solidificació i el comportament de diferents materials amb precisió, i determinar la velocitat de refrigeració influïda per l'estructura del gra de les peces modelades. La simulació proporciona dades de temps-temperatura, contorns de temperatura, localització de punts calents, grau de

⁵ PIME: Petites i Mitjanes Empreses

recrescència, temps de fusió latent i solidificació. La representació temps-temperatura explica l'efecte del refredament i això reflecteix millor les microestructures interiors, responsables de les propietats dels materials. (Vijayaram et al. 2006)

Aquesta tecnologia ha madurat suficientment i s'ha convertit en una eina essencial per a la solució de problemes de defecte i per una optimització de mètode. (Ravi 2008a) Els programes de simulació continuen evolucionant i esdevenint més poderosos. Alguns d'ells ara ofereixen una optimització automàtica del disseny de mètodes, i amb la realització de noves investigacions, la simulació multi física i la predicció de propietats de microestructura-mecàniques, passaran a ser més fiables. En un futur proper, aquests programes de simulació utilitzaran cada vegada més la xarxa d'Internet, ja sigui proporcionant la formació del programari, oferint les actualitzacions, la gestió de llicències o el suport tècnic. La creació de llicències per un determinat temps, permetran reduir els costos inicials del programa informàtic. Els nous desenvolupaments, permetran realitzar simulacions de fosa en línia i consultar experts a través d'un navegador web a un cost insignificant. Els continguts educatius en línia permetran actualitzar, provar i certificar els coneixements sobre el disseny i simulació de fosa. (Ravi 2010)

3.3 Conclusions

La fosa, és un procés en el que intervenen fenòmens físics com són la mecànica de fluids, la termodinàmica o la transferència de calor. Tots aquests aspectes requereixen d'altres capacitats cognitives, on els conceptes són de difícil assimilació, abstractes i un tant obscurs per als alumnes. El processos que es produeixen en l'emplenat del motlle i solidificació de la fosa no són observables físicament, fet que comporta més complexitat a l'hora de donar els continguts de l'assignatura, limitant-se tot plegat a classes magistrals teòriques amb un munt de fórmules per tal de realitzar els pertinents càlculs. L'assimilació dels continguts i els resultats d'aprenentatge d'aquests són més aviat baixos, i un nombre important d'alumnes tenen problemes per adquirir un mínim indispensable de coneixements de l'assignatura.

Tal com s'ha vist a l'apartat 3.1, els programes de simulació poden ser molt eficaços en la visualització d'objectes o processos que estan fora de la percepció o són poc observables, com seria el cas de la fosa. El simulador de fosa representa de forma ideal, dinàmica i visual dels diferents fenòmens físics que es produeixen en el procés, permetent la visualització, classificació i interpretació de resultats pràcticament de forma immediata. A la vegada, proporcionaria la possibilitat de realitzar unes pràctiques (simulades) que avui en dia són inexistent al MP ja que el centre no disposa de l'equipament necessari, malgrat l'elevat cost que suposaria la seva realització.

La possibilitat de modificar els paràmetres, regular la velocitat i la seva repetibilitat, permeten una major i més acurada observació dels fenòmens físics implicats i possibiliten al professor poder-se centrar més en cadascun d'ells. Aquest esdevindria un recurs valuós per ensenyar els diferents fenòmens físics que es produeixen durant el procés i d'aquesta forma promoure l'adquisició de continguts específics i millorar els resultats d'aprenentatge. El disseny experimental, la seva repetibilitat i la possibilitat de variació dels paràmetres, permet estudiar situacions hipotètiques i, per tant, desenvolupar les habilitats de reflexió, qüestionament i raonament dels estudiants, és a dir, fomentar el pensament crític. Aquests, a la vegada, també proporcionen oportunitats d'una participació interactiva amb els alumnes per mitjà de demostracions fetes amb els simulador a classe i ajuden en la resolució de problemes i detecció d'errades.

El fet d'integrar un simulador de fosa, suposarà incorporar un recurs d'alta qualitat que complementarà els altres recursos didàctics utilitzats fins ara. Tal i com es recomana a l'apartat 3.1, aquest no serà el substitut de cap recurs existent, procurant que s'ajusti el màxim possible als principis d'aprenentatge i als objectius fixats. Aquest, és un recurs cada dia més present a les empreses de forneria. Els seus nombrosos avantatges com la detecció de defectes, la millora del rendiment i de la producció, la reducció de costos i de temps, l'increment de beneficis, entre d'altres, fan que aquesta sigui una eina cada cop més imprescindible per les



empreses i la seva supervivència al mercat. El domini d'aquesta capacitat tecnològica esdevé cada cop més necessari, per part dels alumnes, de cara a la seva futura inserció laboral.

Per tal de poder aprofitar els nombrosos avantatges que ofereix la simulació de fosa, convé no demorar més la seva incorporació al currículum acadèmic que ofereix el centre. És fa urgent la tria d'un simulador, la formació necessària per a la seva utilització i la progressiva implantació com a recurs complementari a l'assignatura. Pel que fa als inconvenients o desavantatges de la seva implantació, es tractarà de minimitzar al màxim cadascun d'ells en la mesura de lo possible.

4. Definició i contextualització del problema

4.1 Objectius del treball

Els objectius que es pretenen aconseguir amb el present projecte és la incorporació d'un entorn d'aprenentatge nou i enriquidor per l'alumne que li permeti una millora en el seu assoliment de les competències professionals, personals i socials, i de les capacitats clau associades al títol així com una millora en els resultats d'aprenentatge i la introducció d'una competència digital. La incorporació d'un programa de simulació permetrà a l'equip docent poder potenciar l'adquisició d'aquestes competències i capacitats claus, accelerar el procés d'aprenentatge i contribuir a elevar la qualitat d'ensenyament.

4.2 Context curricular

El context curricular del present TFM és el que s'estableix al DECRET 70/2014, de 20 de maig, pel qual s'estableix el currículum del cicle formatiu de grau superior de disseny en fabricació mecànica (Gencat 2016). Segons aquest Decret la identificació i el perfil professional del títol, les competències, les capacitats i les unitats competencials, són les següents:

Identificació del títol:

- Denominació: disseny en fabricació mecànica
- Nivell: formació professional de grau superior
- Durada: 2.000 hores
- Família professional: fabricació mecànica
- Referent europeu: CINE-5b (Classificació internacional normalitzada de l'educació)

Perfil professional del títol: El perfil professional del títol de tècnic o tècnica superior en disseny en fabricació mecànica queda determinat per la competència general, les competències professionals, personals i socials i les capacitats clau que s'han d'adquirir, i per la relació de qualificacions del Catàleg de qualificacions professionals de Catalunya incloses en el títol.

La relació de les qualificacions i unitats de competència del Catàleg de qualificacions professionals de Catalunya que són el referent del perfil professional d'aquest títol i la relació amb les qualificacions i unitats de competència del Catàleg nacional de qualificacions professionals, s'indiquen seguidament:

Competència general: La competència general d'aquest títol consisteix a dissenyar productes de fabricació mecànica, estris de processament de xapa, motlles i models per a polímers, fosa, forja, estampació o pulverimetallúrgia, assegurant-ne la qualitat, i complint la normativa de prevenció de riscos laborals i de protecció ambiental.

Competències professionals, personals i socials:

- a) Idear solucions constructives de productes de fabricació mecànica realitzant els càlculs necessaris per al seu dimensionament, establint els plans de prova.
- b) Elaborar, organitzar i mantenir actualitzada la documentació tècnica necessària per fabricar els productes dissenyats.
- c) Seleccionar els components i materials en funció dels requisits de fabricació, així com de l'ús i el resultat dels càlculs tècnics realitzats, utilitzant catàlegs de productes industrials o altres fonts d'informació multilingüe.
- d) Establir el pla d'assajos necessaris i d'homologació per assegurar el compliment dels requisits establerts.
- e) Definir l'automatització de la solució plantejada determinant-hi les funcions i paràmetres.
- f) Dibuixar els plànols de conjunt i de fabricació segons les normes de dibuix industrial utilitzant equips i programari de CAD.

- g) Realitzar modificacions en el disseny en funció dels problemes detectats en la fabricació del prototip.
- h) Optimitzar el disseny dels motlles realitzant-ne la simulació del procés d'ompliment i refredament per garantir la qualitat dels productes emmotllats, l'optimització del temps del procés i els recursos energètics utilitzats.
- i) Elaborar, organitzar i mantenir actualitzada la documentació tècnica complementària als plànols del projecte (instruccions d'ús i manteniment, esquemes, recanvis, entre d'altres) utilitzant mitjans ofimàtics.
- j) Resoldre les incidències relatives a la seva activitat, identificant les causes que les provoquen i prenent decisions de forma responsable.
- k) Adaptar-se a diferents llocs de treball i noves situacions laborals originats per canvis tecnològics i organitzatius en els processos productius.
- l) Potenciar la innovació, la millora i l'adaptació dels membres de l'equip als canvis per augmentar la competitivitat.
- m) Exercir els seus drets i complir amb les obligacions derivades de les relacions laborals, d'acord amb la legislació vigent.
- n) Crear i gestionar una petita empresa, realitzant un estudi de viabilitat de productes, de planificació de la producció i de comercialització.
- o) Gestionar la seva carrera professional, analitzant les oportunitats d'ocupació,, d'autoocupació i d'aprenentatge.
- p) Participar de forma activa en la vida econòmica, social i cultural, amb una actitud crítica i de responsabilitat.

Capacitats clau: Són les capacitats transversals que afecten diferents llocs de treball i que són transferibles a noves situacions de treball. Entre aquestes capacitats destaquen les d'autonomia, innovació, organització del treball, responsabilitat, relació interpersonal, treball en equip i resolució de problemes.

L'equip docent ha de potenciar l'adquisició de les competències professionals, personals i socials i de les capacitats clau a partir de les activitats programades per desplegar el currículum d'aquest cicle formatiu.

A la taula 4.1.1 es mostra la relació entre les qualificacions i les unitats de competència (UC) del Catàleg de qualificacions professionals de Catalunya (CQPC) incloses en el títol.

Taula 4.1.1. Qualificacions – Unitats de Competència

QUALIFICACIONS COMPLERTES	DENOMINACIÓ UC
FM_2-037_3: Disseny de productes de fabricació mecànica.	UC_2-0105-11_3: Dissenyar productes de fabricació mecànica.
	UC_2-0106-11_3: Automatitzar els productes de fabricació mecànica.
	UC_2-0107-11_3: Elaborar la documentació tècnica dels productes de fabricació mecànica.
FM_2-038_3: Disseny d'eines de processat de xapa.	UC_2-0108-11_3: Dissenyar eines per al processat de xapa.
	UC_2-0109-11_3: Automatitzar els processos operatius de les eines de processat de xapa.
	UC_2-0110-11_3: Elaborar la documentació tècnica de l'eina.
FM_2-039_3: Disseny de motlles i models.	UC_2-0111-11_3: Dissenyar motlles i models per al procés de foneria o forja.
	UC_2-0112-11_3: Automatitzar els processos operatius del motlle.
	UC_2-0113-11_3: Elaborar la documentació tècnica del motlle o model.
QUALIFICACIÓ INCOMPLERTA	DENOMINACIÓ UC
QU_2-246_3: Organització i control de la transformació de polímers termoplàstics.	UC_2-0780-11_3 : Participar en el disseny, verificació i optimització de motlles i utilitatges per a la transformació de polímers.

QU_2-244_3: Organització i control de la transformació del cautxú.	UC_2-0780-11_3 :Participar en el disseny, verificació i optimització de motlles i utilitatges per a la transformació de polímers.
QU_2-245_3: Organització i control de la transformació de polímers termoestables i els seus compostos.	UC_2-0784-11_3: Dissenyar i construir motlles i models de resina per a la transformació de termoestables i materials compostos de matriu polimèrica.

Relació entre les qualificacions i les unitats de competència (UC) del Catàleg de qualificacions professionals de Catalunya (CQPC) incloses en el títol. (Gencat 2016)

Relació dels mòduls professionals i unitats formatives

A la taula 4.1.2 es presenta la relació que hi ha entre els Mòduls Professionals , les hores lectives màximes i mínimes, les hores de lliure disposició (HLLD) i les Unitats Formatives (UF) del Cicle Formatiu (CF):

Taula 4.1.2. Mòdul Professional – Unitats Formatives

Mòdul professional	Hores màx-mín	HLLD	Unitats formatives	Hores mín.
01 Representació gràfica en fabricació mecànica.	132-99	33	UF 1 Representació gràfica.	33
			UF 2 Disseny Assistit per Ordinador (CAD).	66
02 Disseny de productes mecànics.	297-231	66	UF 1 Disseny de productes mecànics.	165
			UF 2 Selecció i avaluació de materials i elements mecànics.	66
03 Disseny d'utils de processat de xapa i estampació.	231-198	33	UF 1 Anàlisi d'elements per al disseny d'utils de processat de xapa i estampació.	81
			UF 2 Disseny d'utils de processat per deformació volumètrica.	18
			UF 3 Disseny d'utils de processat per doblegat.	33
			UF 4 Disseny d'utils de processat per embotició.	33
			UF 5 Disseny d'utils de processat per tall.	33
04 Disseny de motlles i models de fosa.	99	0	UF 1 Anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa.	33
			UF 2 Disseny de motlles i models de fosa.	66
05 Disseny de motlles per a productes polimèrics.	99	0	UF 1 Anàlisi per al disseny de motlles de polímers.	22
			UF 2 Disseny de motlles de polímers.	77
06 Automatització de la fabricació.	165-132	33	UF 1 Sistemes Automàtics.	44
			UF 2 Disseny de sistemes automàtics.	88
07 Tècniques de fabricació mecànica.	198	0	UF 1 Determinació de processos.	66
			UF 2 Execució de processos.	132
08 Materials.	99	0	UF1 Propietats dels materials.	22
			UF2 Tractaments tèrmics en materials metàl·lics.	44
			UF 3 Materials no metàl·lics.	33
09 Formació i Orientació Laboral (FOL).	99	0	UF1 Incorporació al treball.	66
			UF2 Prevenció de riscos laborals.	33
10 Empresa i Iniciativa Emprenedora (EIE).	66	0		

11 Projecte de disseny de productes mecànics.	165	0	
12 Formació en centres de treball (FCT).	350	0	
TOTAL	2000	165	

Relació entre Mòduls Professionals, hores lectives màximes i mínimes, hores de lliure disposició i Unitats Formatives.

A la taula 4.1.3. es mostra la relació existent entre els diferents Mòduls Professionals del Cicle Formatiu i les competències professionals, personals i socials del títol.

Taula 4.1.3. Mòduls Professionals – Competències

Mòduls professionals	Competències Professionals, Personals i Socials															
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
01 Representació gràfica en fabricació mecànica.	X	X	X													
02 Disseny de productes mecànics.	X	X	X				X			X						
03 Disseny d'utils de processat de xapa i estampació.	X	X	X	X		X	X		X							
04 Disseny de motlles i models de fosa.	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X				
05 Disseny de motlles per a productes polimèrics.	X	X	X	X	X			X	X							
06 Automatització de la fabricació.					X		X		X	X						
07 Tècniques de fabricació mecànica.							X			X	X					
08 Materials*		X	X				X									
09 FOL										X	X	X	X			X
10 EIE														X	X	X
11 Projecte de disseny de productes mecànics.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
12 FCT	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*Competències definides pel centre docent, X: competència addicional que s'adquirirà amb la simulació.

Relació entre Mòduls Professionals del Cicle Formatiu i les competències professionals, personals i socials del títol.

Camp professional:

- Àmbit professional i de treball: Aquest professional exercirà l'activitat en el sector de les indústries transformadores de metalls, polímers, elastòmers i materials compostos, relacionades amb els subsectors de construcció de maquinària i equip mecànic, de material i equip elèctric, electrònic i òptic, i de material de transport enquadrat en el sector industrial.
- Les ocupacions i llocs de treball principals són:
 - a) Delineant projectista.
 - b) Tècnic o tècnica en disseny assistit per ordinador (CAD).
 - c) Tècnic o tècnica en desenvolupament de productes.
 - d) Tècnic o tècnica en desenvolupament de matrius.
 - e) Tècnic o tècnica en desenvolupament d'utilitatges.
 - f) Tècnic o tècnica en desenvolupament de motlles.
 - g) Tècnic o tècnica en desenvolupament de productes i motlles.

Objectius generals del cicle formatiu

- 1) Realitzar càlculs de dimensionament i definir plans de proves per al disseny de productes de fabricació mecànica.
- 2) Aplicar tècniques de dibuix per elaborar plànols i definir especificacions tècniques per al disseny de productes.
- 3) Identificar components normalitzats i materials comercials, relacionant-ne les característiques amb l'ús, per seleccionar-los en el disseny del producte.
- 4) Planificar proves i verificacions definint-ne la realització per homologar el producte dissenyat.
- 5) Definir característiques de funcionament de sistemes de fabricació mecànica, establint-ne el cicle d'activitat, seleccionant-ne els components i realitzant-ne els esquemes de potència i comandament per automatitzar la solució plantejada.
- 6) Aplicar tècniques de treball amb CAD segons les normes de dibuix industrial per elaborar plànols de conjunt i de fabricació.
- 7) Identificar les limitacions de fabricació, analitzant les capacitats de les màquines i processos en la fabricació de prototips per realitzar modificacions en el disseny del producte.
- 8) Definir motlles, simulant el procés d'ompliment i refredament per ajustar-ne el disseny.
- 9) Utilitzar eines informàtiques per a l'elaboració, l'organització i el manteniment de la documentació tècnica de fabricació de productes mecànics i la documentació complementària d'ús.
- 10) Relacionar els indicadors de valoració amb l'adaptació als canvis de l'equip de treball en la millora i la innovació dels processos per augmentar la competitivitat.
- 11) Definir possibles combinacions de treball en equip, per donar resposta a incidències en l'activitat i complir els objectius de la producció.
- 12) Identificar noves competències analitzant els canvis tecnològics i organitzatius, definint les actuacions necessàries per aconseguir-les i adaptar-se a diferents llocs de treball.
- 13) Reconèixer els seus drets i deures com a agent actiu en la societat, analitzant el marc legal que regula les condicions socials i laborals per participar-hi com a ciutadà democràtic.
- 14) Reconèixer les oportunitats de negoci, identificant i analitzant demandes del mercat per crear i gestionar una petita empresa.
- 15) Identificar i valorar les oportunitats d'aprenentatge i ocupació, analitzant les ofertes i demandes del mercat laboral per gestionar la seva carrera professional.

A la taula 4.1.4. es mostra la relació existent entre els diferents Mòduls Professionals i els objectius generals del Cicle Formatiu.

Taula 4.1.4. Mòduls Professionals – Objectius generals

Mòduls professionals	Objectius generals														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
01 Representació gràfica en fabricació mecànica.	X	X	X												
02 Disseny de productes mecànics	X	X	X			X				X					
03 Disseny d'utils de processat de xapa i estampació	X	X				X									
04 Disseny de motllos i models de fosa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			
05 Disseny de motllos per a productes polimèrics	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				
06 Automatització de la fabricació					X				X		X				
07 Tècniques de fabricació mecànica							X			X	X				
08 Materials*			X	X				X							
09 FOL										X		X			
10 EIE													X	X	X
11 Projecte de disseny de	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				

productes mecànics																
12 FCT*	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

*Objectius definits pel centre docent, X: objectiu addicional que s'adquirirà amb la simulació.

Relació entre Mòduls Professionals i els objectius generals del Cicle Formatiu.

4.3 Context del centre

El centre, és un institut públic d'educació secundària i formació professional, ubicat en ciutat de 70.000 habitants a les comarques de la Catalunya Central, que està totalment integrat a la ciutat i amb gairebé 50 anys d'història. El centre ofereix els següents estudis reglats: Ensenyament Secundari Obligatori (ESO), Batxillerat (BAT) i Formació Professional.

Pel que fa a les infraestructures del centre, els alumnes d'ESO i Batxillerat disposen de laboratoris de física i de química, taller de tecnologia, aules d'informàtica i d'audiovisuals.

A la Formació Professional, el centre disposa d'aules equipades i adaptades a cada família professional com taller de mecanització, taller de manteniment industrial, taller de mecànica de l'automòbil, laboratoris d'electricitat i electrònica, aula de pneumàtica, aula de verificació, aules d'informàtica i impressores 3D.

L'institut també disposa de pista poliesportiva coberta, gimnàs, auditori i diversos espais a l'aire lliure no coberts per la pràctica d'activitat física. Els serveis de biblioteca, copisteria i bar/menjadors també estan integrats en el recinte de l'institut.

L'Institut ofereix tant educació secundària obligatòria com post-obligatòria, i és un centre de formació professional integrada. L'oferta formativa del centre es distribueix de la següent manera:

- ESO: tres línies des de 1r fins a 4rt d'ESO.
- Batxillerat en les modalitats de Ciències i Tecnologia, i Humanitats i Ciències socials.
- Formació Professional:
 - Cicles Formatius de Grau Mitjà:
 - Gestió administrativa (de la família professional d'Administració i gestió).
 - Electromecànica de vehicles (Transport i manteniment de vehicles).
 - Instal·lacions elèctriques i automàtiques (Electricitat i electrònica).
 - Instal·lacions de telecomunicació (Electricitat i electrònica en modalitat dual).
 - Mecanització (Fabricació mecànica en modalitat dual).
 - Manteniment electromecànic (Instal·lació i manteniment).
 - Sistemes microinformàtics i xarxes (Informàtica i comunicacions).
 - Cicles Formatius de Grau Superior:
 - Administració i finances (Administració i gestió).
 - Automatització i robòtica industrial (Electricitat i electrònica).
 - Manteniment electrònic (Electricitat i electrònica en modalitat dual).
 - Programació de la producció en fabricació mecànica (Fabricació mecànica).
 - Disseny en fabricació mecànica (Fabricació mecànica).
 - Projectes d'edificació (Edificació i obra civil).
 - Administració de sistemes informàtics en xarxa (Informàtica i comunicacions).
 - Desenvolupament d'aplicacions web (Informàtica i comunicacions).
 - Mecatrònica Industrial (Instal·lació i manteniment en modalitat dual per a alumnat procedents de CFGS Automatització i robòtica industrial).
 - Programes de Formació i Inserció:
 - Auxiliar de muntatges d'instal·lacions elèctriques i d'aigua i gas del Pla d'iniciació professional (PIP).
- CAS: curs d'accés als cicles formatius de grau superior.

Enguany l'institut té 1.400 alumnes, amb un alt percentatge d'alumnes nascuts a Catalunya. La població nouvinguda representa el 13% i provenen, principalment, de Bolívia, Marroc, Romania,

Xina i Equador. Hi ha gran diversitat entre els alumnes a nivell educatiu, amb un índex d'alumnat superior a les mitjanes de Catalunya amb necessitats específiques, en una situació econòmica desfavorida, amb plans individualitzats aprovats i que participen en programes de diversificació curricular. Actualment l'Institut és un centre d'agrupament de sords i, des de l'any 2010-11, disposa d'una unitat de suport a l'educació especial (USEE).

Els alumnes de FP de grau mitjà provenen majoritàriament de la ciutat i d'altres poblacions de la seva comarca, mentre que a grau superior hi ha major proporció d'estudiants provinents de la resta de Catalunya.

Actualment en el centre hi ha un total de 120 professors i 10 membres de Personal d'Administració i Serveis (PAS). L'equip docent és el grup de professors que vetlla pel seguiment continuat dels alumnes d'un curs o cicle. L'integren els professors/es que donen classe majoritàriament al curs o cicle i es reuneix periòdicament.

Tal i com s'estableix al Projecte lingüístic del Centre (PLC), el català és la llengua vehicular d'ensenyament i aprenentatge, i també a les activitats internes i externes de la comunitat educativa. Els membres d'aquesta comunitat entenen la tasca educativa com un procés integrador, no discriminatori i respectuós amb les persones, independentment de la seva cultura, creences o conviccions, en un marc de convivència democràtic i curós amb el medi ambient.

El centre ofereix una formació professional integrada dins de l'àmbit dels serveis a les empreses i a la seva internacionalització. També ofereix, un servei d'assessorament professional i de reconeixement de l'experiència laboral; innovació, transferència de coneixement i foment de l'emprenedoria; orientació professional; i formació professional dual. A més a més, disposa d'una àmplia borsa de treball per alumnes i exalumnes del centre.

4.4 Definició del problema

El títol del TFM indica el problema que es planteja, és a dir, la implementació d'un programa informàtic de simulació de fosa al mòdul professional de disseny de motlles i models de fosa del CFGS de disseny en fabricació mecànica, un cop analitzada la seva conveniència en el apartat 3.3. Actualment, aquest mòdul del cicle formatiu s'està impartint amb mètodes tradicionals com són les classes magistrals, demostracions teòriques i exercicis pràctics, complementat amb audiovisuals del procés i alguna visita a empreses del sector.

La incorporació d'un recurs d'alta qualitat com el de la simulació permetrà complementar els recursos didàctics utilitzats fins ara i, a la vegada, ajudarà a visualitzar el procés de fosa que és un procés poc observable i fora de la percepció, on els conceptes són de difícil assimilació i abstractes, i requereixen dels alumnes unes altes capacitats cognitives. Això provoca que l'assimilació dels continguts que es donen en aquest mòdul i els resultats d'aprenentatge dels alumnes, siguin més aviat baixos. Un important nombre d'alumnes tenen forces problemes per adquirir uns coneixements mínims indispensables del mòdul. La simulació representa de forma ideal, dinàmica i visual els diferents fenòmens físics que es produeixen en el procés i permet la visualització, classificació i interpretació de resultats pràcticament de forma immediata.

La possibilitat de modificació de paràmetres, regulació velocitat – temps, múltiples punts de vista i la seva repetibilitat, permeten una major i més acurada observació dels fenòmens físics implicats en el procés i possibiliten al professor poder-se centrar més en cadascun d'ells. Aquest esdevé un recurs valuós per ensenyar els diferents fenòmens físics que es produeixen durant el procés i d'aquesta forma, promoure l'adquisició de continguts específics i millorar els resultats d'aprenentatge. El disseny experimental, la seva repetibilitat i la possibilitat de variació dels paràmetres, permet estudiar situacions hipotètiques i, per tant, desenvolupar les habilitats de reflexió, qüestionament i raonament dels estudiants, és a dir, fomentar el pensament crític

La funció del simulador és la de complementar pedagògicament els mètodes i recursos ja existents, per tal millorar els resultats d'aprenentatge i fomentar les competències digitals



associades a l'ús d'aquesta tecnologia. Aquest, ha de ser un simulador ben dissenyat, que s'ajusti el màxim possible al principis d'aprenentatge i als objectius fixats, i ha de estar implementat adequadament al currículum del cicle formatiu.

5. Anàlisi d'alternatives

5.1 Valoració d'alternatives

Avui en dia, la simulació de fosa és força utilitzada a les fonderies modernes. La comprensió dels fenòmens físics que tenen lloc durant els processos de fosa han permès desenvolupar diverses eines de simulació de fosa. Aquest programari inclou models matemàtics relacionats amb processos físics i una base de dades de propietats de materials metàl·lics i de fosa. Aquests programes permeten modelar i verificar un disseny de fosa per maximitzar el rendiment i minimitzar els defectes. Tanmateix, la selecció del programa de simulació és un acte crític en que es necessita adquirir coneixement sobre els programaris comercialment disponibles. Els fenòmens importants en qualsevol simulació de fosa, des d'un punt de vista del modelatge, són l'emplenat, la solidificació i el refredament del motlle, l'estrès i el perfil de forjat. En cadascun d'aquests fenòmens s'utilitza un determinat conjunt d'equacions de govern. Cada programari proporciona un conjunt de capacitats diferents que poden contribuir a un millor disseny, un millor rendiment i/o una major qualitat. La fosa de metall moderna es classifica en funció de diversos paràmetres. Els processos de fosa es poden distingir a partir de: el tipus de motlle (sorra, permanent, etc.), el flux del metall fos a la cavitat del motlle (gravetat, buit, pressió, etc.), estat del metall (fracció de metall líquid) i estat de la pròpia cavitat del motlle (sòlid, gas, aire o buit). (Arabia 2018)

La principal entrada d'un programa informàtic de simulació és el model CAD 3D de la peça. Tot seguit s'ha de dissenyar i modelar el motlle, els nuclis, els diferents alimentadors i el sistema de captació. Altres entrades que el sistema requereix són les especificacions de materials del metall fos i del motlle, i els paràmetres de procés com tipus de motlle, coeficient de transferència de calor del motlle metàl·lic, temperatura de fosa, etc. Les principals sortides dels programes de simulació inclouen la visualització animada de l'emplenat del motlle (ajuda a predir el temps total d'emplenat, l'erosió del motlle degut a inclusions de sorra, emplenat incomplet i/o aire atrapat), la solidificació de la fosa i la refrigeració a temperatura ambient. La simulació de solidificació de fosa mostra les temperatures, gradients i velocitats de refredament dins de la fosa, que s'utilitzen per predir la ubicació de les contraccions de porositat. També es pot simular un refredament addicional a temperatura ambient, útil per predir la microestructura, les propietats mecàniques, les tensions residuals i la distorsió. Actualment, és possible la simulació multi física que implica una solució simultània d'equacions per a l'emplenat, solidificació i tensió de motlles. (Ravi 2008a)

Els mòduls principals d'un programari de simulació de fosa típic es mostren a la figura 1 (no tots aquests mòduls estan disponibles en tots els programes). (Ravi 2010)



Fig. 1 : Diferents mòduls d'un sistema de simulació de fosa. (Ravi 2010)

Són molts els programes de simulació de fosa disponibles avui en dia. Els simuladors actuals han millorat i ampliat les seves prestacions de tal manera que la darrera generació de simuladors ofereixen informació ràpida i precisa del procés, detalls que eren inimaginables fa trenta anys. Malgrat aquest avenços, cada un d'ells ofereix diferents característiques com la quantitat i tipus diferents de processos que es poden simular, la possibilitat d'addició de mòduls complementaris, tipus de mètode de solució utilitzats, tipus de defectes predits i base de dades de materials disponibles. L'elevat nombre de programes existents juntament amb el gran nombre de característiques diferents que ofereixen i els diferències, fan que l'estudi resulti complex.

Per a facilitar aquesta tasca, s'ha estudiat, analitzat i confrontat l'estudi compartiu dels programes de simulació per processos de modelatge de fosa de metalls, duts a terme al respecte per Khan i Shelikh el present any (Arabia 2018). No cal dir que, apart de ser un estudi precís i acurat del tema en qüestió, aquest és de rigorosa actualitat. En aquest estudi en qüestió, una sèrie de simuladors d'alta gama (ProCAST, Flow-3D Cast, MAGMASoft i Nova-Solid/Flow), és a dir, que poden simular la majoria de processos de fosa metàl·lica que es duen a terme a les fonderies són comparats amb altres simuladors que simulen, relativament, menys processos (AutoCAST, SOLIDCast, CastCAE i CAPCAST). A la taula 5.1.1 es detalla el llistat de noms i adreces dels venedors dels simuladors analitzats a l'estudi.

Taula 5.1.1. Simulador - Venedor

SIMULADOR	VENEDOR
AutoCAST	Advances Reasoning Technologies P. Ltd., Mumbai
CAPCAST	EKK, Inc., Walled Lake, Michigan, USA
CastCAE	CT-Castech Inc. Oy, Espoo, Finland
MAGMASoft	MAGMA GmbH, Aachen, Germany
Nova-Solid/Flow	Novacast AB, Ronneby, Sweden
ProCAST	ESI Group, Paris, France
Flow-3D Cast	Flow Science, Inc., 683 Harkle Rd, Santa Fe, NM 87505, USA
SOLIDCast	Finite Solutions Inc., Hamilton, OH, 45013, USA

Noms, i adreces dels venedors, dels simuladors. (Arabia 2018)

A l'annex 1, es descriu breument les diferents característiques de cadascun d'ells. La taula 5.1.1 anterior, ha estat complementada amb el programa de simulació disponible al mercat anomenat MAVIS-FLOW. Tota la informació està disponible, lliurement, al seu portal web: <http://www.alphacast-software.co.uk>. Desenvolupat per Eidawn Software Limited a la Universitat de Gal·les Swansea, el seu venedor és Alphacast Software Limited, 2 Kimble Close, Northampton NN4 0RF. En el mateix annex 1, també hi ha de forma abreujada, les seves principals característiques.

De tots els simuladors estudiats, l'únic que dona informació del seu cost és aquest últim. No n'hi ha cap dels de la taula 5.1.1 que doni informació al respecte. Amb tots i cadascun d'ells, cal contactar amb el servei comercial i aquests posteriorment es posen en contacte. Aquest punt es deixarà per més endavant, un cop valorades les característiques i disponibilitats de cadascun d'ells. Pel que fa al Simulador MAVIS-Flow, aquest ens proporciona una primera dada real i actual del preu d'un simulador de fosa, extreta directament del seu portal.

Les següents taules, ens mostren uns quadres comparatius entre els diferents simuladors en estudi. En aquestes taules es comparen aspectes com els diferents processos de fosa que poden simular, el mètode de solució que empen, quins defectes poden preveure o detectar, quines bases de dades de materials disposen, mòduls opcionals disponibles amb les seves característiques i un resum de cadascun d'ells.

Taula 5.1.2. Taula característiques I

	Processos de fosa								Mètode solució				Predicció de defectes								Base dades materials disponibles								
	Fosa continua	Modelat d'alta pressió	Modelat de baixa pressió	Modelat per gravetat	Fosa d'inversió / carcassa	Fosa de sorra	Fosa exprimida	Fosa centrífuga	Fosa d'escuma perduda	Vessament inclinat	Mètode de diferència finita (FDM)	Mètode de volum finit (FVM)	Mètode d'element finit (FEM)	Mètode d'element vector (VEM)	Porositats	Tancaments freds, errades	Atrapament d'aire i oxidació	Contracció	Raspat calent i esquerdes	Estrès tèrmic	Forats de bufat	Zones dures	Anomalies de microestructura	Ferros dúctils i de fosa	Acers purs i d'aliatge	Aliatges d'alumini, coure, magnesi i zinc	Aliatges preciosos i super-aliatges	Altres	
AutoCAST				√	√	√								√	√	√						√	√		√	√	√	√	
CAPCAST		√	√		√	√	√						√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
CastCAE		√	√	√	√	√						√			√	√		√							√	√	√	√	
MAGMASoft		√	√	√	√	√		√	√	√	√				√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	
MAVIS-Flow		√	√	√							√				√			√							√	√	√	√	(a) ⁶
Nova-Solid/Flow		√	√	√	√	√		√	√	√		√			√	√	√	√	√	√					√	√	√	√	(a)
Pro-CAST	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√			√		√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	(a)
FLOW-3D Cast	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√	√		√		√	√	√	√		√					√	√	√		(a),(b) ⁷
SOLIDCast			√	√	√	√					√				√	√		√	√						√	√	√	√	(a)

Taula comparativa entre simuladors respecte dels diferents processos de fos que simulen, mètode de solució emprada, predicció de defectes i disponibilitat de bases de dades de materials. (Arabia 2018) i <http://www.alphacast-software.co.uk>

⁶ (a): Les propietats de qualsevol aliatge de fosa poden ser entrades a la base de dades

⁷ (b): Propietats de materials de JMATPRO disponibles a cost nominal. JMatPro® és un programari de simulació que calcula una àmplia gamma de propietats de materials per als aliatges i està especialment dirigit a aliatges multi-components utilitzats en la pràctica industrial.

La taula 5.1.2 mostra, de forma resumida, una comparativa entre els diferents simuladors des del punt de vista dels processos de fosa que poden simular, el mètode de solució que utilitza el programa, la predicció de possibles defectes i les bases de dades de materials disponibles al simulador.

Els diferents processos de fosa, inclosos a la taula 5.2.1, que poden realitzar els simuladors en estudi són la fosa continua, el modelat d'alta o baixa pressió, el modelat per gravetat, la fosa d'inversió/carcassa, la fosa de sorra, la fosa exprimida, la fosa centrífuga, la fosa d'escuma perduda o el vessament inclinat.

La taula, també fa una comparació del mètode de solució adoptat per cadascun dels simuladors. Els diferents mètodes de solució són el mètode de diferència finita, el mètode de volum finit, el mètode d'element finit i el mètode d'element vectorial. Seguidament es detallen cadascun d'aquests mètodes:

"Els mètodes numèrics més habituals aplicats al programari de simulació de fosa són el mètode de diferències finites (FDM), mètode de volum finit (FVM), mètode d'elements finits (FEM), mètode d'elements vectorials (VEM), mètode d'automatització cel·lular (CAM), etc. A més de l'ús autònom, aquests mètodes són a vegades emprats de forma combinada, com el mètode de l'element finit d'automatització cel·lular (CAFE) i un mètode híbrid per a la simulació de processos en que es combina FDM i FEM.

(...) Mètode de diferència finita (FDM): és un mètode numèric on es resol un problema complex discretitzant la regió completa del problema (també conegut com domini) en un nombre finit de petites porcions (també conegudes com a volums de control). Les propietats del material s'assumeixen que són constants al llarg del volum. Per tant, per obtenir una gran precisió dels resultats, el domini s'ha de dividir en un màxim nombre dels volums de control possibles tenint en compte el temps de computació. FDM és un esquema diferencial que és l'aproximació de l'expansió de la sèrie Taylor. Els càlculs són iteratius i es realitzen en un pas temporal predeterminat. Els resultats es poden emmagatzemar al final de cada pas temporal o després d'un nombre preestablert de passes.

(...) Mètode de volum finit (FVM): a diferència de FDM, FVM és un esquema integral. Encara que la idea de discretitzar el domini en petits volums de control segueix sent la mateixa, l'ús de formulacions integrals és avantatjós en el tractament de les condicions límit de Neumann, així com en els termes d'origen discontinues a causa dels seus reduïts requisits sobre la regularitat o la suavitat de la solució.

(...) Mètode d'element finit (FEM): FEM defineix el domini complet del problema en petits trossos; no obstant això, anomenats ara elements. Cada element està format per nodes (punts de cantonada) i arestes, que emmagatzemen les propietats del material que s'utilitzaran en el càlcul. La solució es fa mitjançant l'ús d'aquests valors per determinar una quantitat per a aquests punts específics (també coneguts com a punts de Gauss) dins dels elements. La posició d'aquests punts en els elements és una funció de la integració aplicada, les coordenades inicials dels nodes i la forma de l'element. Els valors de les variables, que es consideren constants en FDM / FVM a través dels elements, es calculen usant alguna funció d'interpolació. Tanmateix, el tractament del temps d'una manera iterativa i pas a pas és similar a FDM / FVM.

(...) Mètode d'element vectorial (VEM): aquest enfocament de simulacions de fosa es basa en determinar el major gradient tèrmic en qualsevol punt de la fosa, que es dona per la suma vectorial de vectors de flux en totes les direccions des d'aquest punt. El volum de fosa es divideix en nombrosos sectors piramidals des del punt considerat. Per a cadascun d'aquests sectors piramidals, existeix un petit angle sòlid. El contingut de calor (que és proporcional al volum) i l'àrea de superfície o refredament, es calcula per a cada sector per tal de calcular el vector de flux. La computació es repeteix fent un pas al llarg de la direcció del vector de flux resultant, tret que el vector de flux resultant es converteixi en zero (o prop de zero a efectes de la computació). La localització dels punts calents és l'última localització i es considera que la ruta de metall d'alimentació és la corba al costat de la qual es fan les repeticions. És possible

identificar diversos punts calents si s'inicia la computació a partir de nombrosos punts de sembra situats a diferents regions de la fosa. El mètode dels elements vectorials és relativament simple quan es compara amb altres tècniques numèriques, però proporciona resultats fiables i robustos. A diferència dels mètodes FEM o FDM, VEM, corregeix petits errors mentre computa el vector de flux en qualsevol punt, corregint-los automàticament en repeticions posteriors. A més, VEM requereix menys memòria i també és més ràpid.” (Arabia 2018)

La majoria de programes de simulació de fosa es basen en solucions FDM, FVM o FEM. La solució FEM, millora el temps de simulació en un 10% ja que necessita menys nombre de cel·les per definir la geometria de fosa en comparació a les solucions basades en FDM i FVM. (Arabia 2018)

“El mètode de diferència finita és la tècnica matemàtica numèrica més antiga utilitzada per generar la simulació de solidificació, discretitzant l'arranjament del motlle i de la fosa en elements iguals més petits. Per a un element, la petita distància lineal en la direcció X es pren com 'Delta X' i la distància vertical en la direcció Y es pren com 'Delta Y'. Aquí es considera la resistència a l'espai d'aire i s'aplica un dels mètodes numèrics abans esmentats per obtenir la solució. A més, es tracta d'un procediment comú per escriure les equacions de transferència de calor bàsiques per als elements nodals basats en el mode de conducció, convecció i radiació. Mitjançant l'ús de mètodes d'elements finits, els diferents tipus d'elements de malla es generen per discretització i, per tant, es desenvolupen matrius de rigidesa per predir la velocitat de la interfície sòlid-líquid en moviment, la distribució de la temperatura i la distribució de partícules en el cas dels processos de solidificació de foses de compostos. Recentment, s'adopta un mètode d'elements límits (BEM) per obtenir resultats de resultats precisos i això es considera una tècnica avançada per científics i tecnòlegs d'enginyeria.” (Vijayaram et al. 2006)

“Els programes utilitzen diferents mètodes per a la simulació de fosa:

- (i) Mètode de diferència finita (SolidCAST)*
- (ii) Mètode de volum finit (MAGMASoft)*
- (iii) Mètode d'element finit (ProCast)*
- (iv) Mètode d'element vectorial (AutoCAST)*

Si bé la física subjacent és la mateixa, es diferencien pel que fa a la discretització (divisió) de l'espai i el temps continu, la manipulació de diverses propietats materials (ex. calor latent), les condicions límit (coeficient de transferència de calor interfacial de metall-motlle), i la tècnica numèrica emprada.

L'FDM i l'FVM utilitzen elements cúbics o en forma de maó, el FEM utilitza elements tetragonals o hexagonals, i el VEM utilitza una combinació d'elements cúbics i piramidals. El FEM pot modelar la forma de les peces de fosa amb més precisió (utilitzant menys elements), però potser requereixi un esforç manual per generar correctament el mallat d'elements, que de vegades pot trigar més temps que el propi càlcul.

El coeficient de transferència de calor interfacial és la font d'error més important en els programes de simulació basats en FEM. El seu valor canvia segons els materials del motlle i del motlle (incloent alimentació i recobriments), instant de temps (des del principi fins al final de la solidificació i més enllà), la forma de la peça de fosa (cantonades internes en vers les exteriors), la ubicació (superior versus la cara versus superfícies inferiors) i procés (ex, escalfament de motlles, vessament inclinat, etc.). La simulació basada en VEM és menys sensible als valors inexactes del coeficient de transferència de calor interfacial.

Les foses de paret prima produïdes en motlles metàl·lics s'han de simular utilitzant programes d'emplenat + solidificació acoblats per a la predicció de defectes relacionats amb el flux, com ara tancaments freds i errades. La simulació separada de l'emplenament del motlle i la solidificació de fosa és molt més ràpida, però es recomana només quan el temps de solidificació és més del doble del temps d'emplenat, com en el cas de peces de paret gruixudes omplertes de gravetat. Alguns programes utilitzen els resultats de la simulació d'emplenat per modificar automàticament les condicions inicials de simulació de solidificació, donant resultats força precisos amb l'avantatge d'una computació molt més ràpida que la simulació acoblada. (...) Les foneries que utilitzen un programari de simulació basat en FEM solen queixar-se que triguen més temps que els assaigs de fàbrica. Això fa fracassar una de les raons clau per utilitzar la simulació.” (Ravi 2010)

Així doncs, es conclou que FDM és el mètode més antic. FEM millora un 10% el temps de simulació respecte FDM i VDM, és més precís malgrat que el coeficient de transferència de calor es la seva font d'errors més important. VEM és menys sensible a aquests errors, requereix de menys memòria i és més ràpid.

Pel que fa a la predicció de defectes per part del simuladors, la taula 5.1.2 realitza una comparativa entre simuladors pel que respecte a tipus de defectes com: porositats; tancaments freds i errades; aire atrapat i oxidació; contraccions; raspats calents i esquerdes; forats de bufat; zones dures i anomalies de microestructura. En termes generals, els defectes a la fosa es poden classificar com a defectes relacionats amb l'emplenat, relacionats amb la forma, tèrmics o d'aparença. Aquests s'han de preveure, visualitzar i reparar prèviament a ser produïts. Independentment dels tipus de defectes predits, cada un dels programes seleccionats ofereix l'oportunitat de tornar a modificar i treballar el disseny i els paràmetres de procés per eliminar els defectes i produir peces d'alta qualitat. (Arabia 2018)

Les bases de dades de materials disponibles als programes de simulació es una de les seves principals fortaleses ja que el procés de fosa real es basa, precisament, en la disponibilitat de materials de metalls i aliatges de fosa. La majoria de simuladors de fosa proporcionen un base de dades de materials molt àmplia. El programes seleccionats per a aquest estudi proporcionen propietats de materials de metalls de fosa, com ara fosa i ferros dúctils, acers purs i aliatges d'acer, aliatges d'alumini, coure, magnesi i zinc, aliatges preciosos i súper aliatges, com ara aliatges basats en níquel, crom i titani. (Arabia 2018) A La taula 5.1.2. Taula de característiques I, hi ha una comparativa entre simuladors des del punt de vista de les bases de dades de materials que disposa cada un d'ells.

La taula 5.1.3. Taula de característiques II, és una taula resum de les característiques dels simuladors i el seu preu de mercat. Pel que respecta al seu preu, com s'ha comentat anteriorment, l'únic programa informàtic de simulació de fosa que té els seus preus de forma pública és MAVIS-Flow a la seva pàgina web. La resta de simuladors no proporcionen aquesta informació. En cas d'estar-hi interessats, cal emplenar un formulari i l'equip comercial es posa en contacte.

Aquesta tasca, per tant, s'haurà de deixar per més endavant. La consideració econòmica del programari de simulació, malgrat ser d'extrema importància, no podrà ser tinguda en compte en una primera tria inicial, però si que serà considerada a en una valoració final definitiva, després d'haver contactat amb els equips comercials dels simuladors triats en primera instància. No s'ha trobat cap tipus d'informació pel que respecte al seu preu, a excepció d'un article de l'any 1997, "Programari de modelatge de fonts de fosa: la modelització de solidificació proporciona avantatges sense precedents a les foneries i als dissenyadors OEM. Aquí hi ha una enquesta actualitzada dels paquets disponibles."⁸, en el que es donen els preus d'alguns dels simuladors del nostre estudi. Malgrat no ser una dada fiable, més aviat anecdòtica, per tenir 20 anys d'antiguitat i més enllà de l'evolució tecnològica i d'abaratiment de preus que aquests han sofert darrerament, ens pot donar una idea orientativa amb la corresponent extrapolació de dades.

Taula 5.1.3. Taula característiques II

	CARACTERÍSTIQUES	PREU
AutoCAST	Funció de visualització de gruixos parcials i aplicació ajustos al sistema alimentació. Disseny central i de motlles amb múltiples cavitats. Optimització automàtica alimentadors i captadors. Interfície gràfica d'usuari millorada. Programa informàtic ràpid i fàcil d'usar, amb mínima entrades d'usuari. Programari de gamma baixa limitat en resultats i ús.	No disponible

⁸ <https://www.thefreelibrary.com/Sources+of+casting+modeling+software%3a+solidification+modeling+is...-a020085141>

CAPCAST	<p>Disposa d'un generador de malles automàtic (KENT). Importació i creació de models a partir de fitxers STL. Modelat de les interaccions tèrmiques. Trencament automàtic de la malla: discretització de mallat. Més precís en la modelització amb requeriments de càlculs mínims. Simula geometries complexes amb instal·lacions computacionals modestes.</p>	\$45,000/any *
CastCAE	<p>Generació de mallat rectangular. Resultats fiables amb mallats irregulars. Estalvi d'energia de fins a un 6%. Menys re-fusió i re-acabat. Reducció de malbaratament i pes d'un 84% i 5% respectivament.</p>	<p>Cost: \$9,000 - \$40,000 Lloguer: \$300 - 1,500/mes *</p>
FLOW-3D Cast	<p>El mallat i la geometria són independents: flexibilitat per provar diferents dissenys, simplificació del procés de mallat i estalvi temps pre-processament. Disponible en tres paquets diferents: Bàsic, Ampliat i Avançat que inclouen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bàsic: mallat multi bloc, coberta de cullerot amb previsió de rotació al voltant d'un eix, emplenat tenint en compte la viscositat, turbulència i efectes de tensió superficial, solidificació i transferència tèrmica. • Ampliat: blocs de mallat il·limitat, gasos atrapats i efectes de ventilació, optimització del rendiment de la mànega de tir, predicció de cavitació per determinar l'erosió del motlle/matriu, model de motlle permeable, sis graus de llibertat per definir el moviment. • Avançat: segregació binària, alliberament del nucli de gas i defectes relacionats, bufat del nucli de sorra, efectes de viscositat millorada incloent la viscositat no -Newtoniana, engrandiment/aprimament de cisallament, i flux tixotròpic, distorsions induïdes tèrmica i mecànicament, i estressos. <p>La solució de superfície lliure és molt més acurada que qualsevol altre disponible comercialment.</p>	<p>Cost: \$8,000 - \$14,000 en PCs 15,000/any Unix *</p>
MAGMASoft	<p>Optimització autònoma de les foses. Programari de gamma alta. Interfície gràfica d'usuari comuna per a tots els mòduls MAGMAfill: mòdul que informa sobre el patró emplenat i flux de calor. MAGMASolid: mòdul sobre la solidificació i refredament de fosa. Disposa de mòduls per cada tipus material: MAGMAiron (ferro), MAGMAsteel (acer) i MAGMAnonferrous (no fèrrics). Mòduls addicionals basats en processos: MAGMAhpc (fosa d'alta pressió), MAGMAipdc (fosa de baixa pressió), MAGMAcore+mold (nucli + motlle) i MAGMAdielife, MAGMA HT thermal (tractament tèrmic) i MAGMAstress (tractament de tensions). MAGMALink: intercanvia els resultats de les simulacions a paquets d'elements finits per avaluar la millora mecànica i la vida residual dels productes de fosa en servei.</p>	No s'ha informat *

MAVIS-FLOW	<p>Modelador de sòlids 3D. Facilitat d'ús i atenció al detall. Importació de multi peces, alimentadors i canals de distribució. Generació de la carcassa del motlle, modelat de l'aïllant/refredador, models multi materials, visionat multipunt, animació del model, assemblatge de mallat, estimació de pes i importació d'arxius ASCII STL. Post-processor amb traçadors de rajos-X simulats, de contorn i de termoparells. Patrons de macro-refredament i prediccions de macro-encongiment. Temperatures relatives a la cara de la matriu i estat estacionari matriu. Temperatura del motlle i de la fosa. Temps de solidificació. Corbes temps – temperatura. Prediccions de micro-encongiment. Coeficients de Nyama. Gradients de temperatura. Taxes de refrigeració i temps de refrigeració local. Espai de braç de dendrita. Termoparells simulats.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Llicència perpètua: £ 8.000 • 12 mesos sup.téc. + actualitz.: £1.500 • 3m. llicència inc.+Sup i actualitz. softw: £1.200 • 12m. de suport/actualitz. + 2d formació: £4.000 (\$10,000) *
Nova-Solid/Flow	<p>Les simulacions són més ràpides i precises degut al FVM. Disposa d'un mallat múltiple que utilitza diferents mallats durant l'emplenat i la solidificació. Disposició de l'Índex Good Guy's que calcula aspectes tècnics i ambientals d'una fosa comparant diferents simulacions i assignant un resultat. Pot proporcionar valors mitjans per l'austenita, grafit i cementita per ferros colats. Es poden generar mallats irregulars dels motlles tenint en compte el gruix de la malla a les regions crítiques. Els càlculs d'estrès es fan basats en la tasca de contacte complet. Optimització de paràmetres per obtenir peces de fosa d'alta qualitat, lliures de defectes.</p>	<p>\$14,000 *</p>
Pro-CAST	<p>Optimització autònoma de les foses Disposa d'un generador de malles que crea un mallat estructurat en blocs i opció de malla en capes. Té en compte la radiació amb factors de visió i les prediccions de porositat són més realistes. Mòdul estructura de gra basat en el mètode CAFE Càlcul de tipus i fracció de volum de fases presents, mida de gra i forma, que determinen les propietats mecàniques del producte de fosa. Diagrames TTT i CCT per simular la transformació i les propietats mecàniques resultants durant el tractament tèrmic. La macro-segregació pot ser calculada mitjançant el solucionador de microestructures. Pot modelar la contracció i la porositat del gas. Es proporciona un model de segregació de gas que tracta el límit de la solubilitat i la nucleació del porus. QuikCAST: solucionador ràpid i eficient per tractar qualsevol procés de fosa.</p>	<p>\$9,500 - \$100,000 *</p>
SOLIDCast	<p>Creació automàtica de les carcasses. Disposa d'un mòdul complementari ,FLOWCast, que permet la visualització des de qualsevol angle de la velocitat i pressió del fluid durant l'emplenat. Utilitza càlculs tèrmics i volumètrics combinats, incloent l'expansió del grafit al ferro colat, que dona prediccions superiors per l'alimentació de contracció. Funcions incorporades de disseny de captació i de columnes que agafen els resultats d'un model i ajuden a l'usuari a dissenyar un sistema eficaç. La llicència local i el baix cost permet a tots els estudiants treure un avantatge directe de la tecnologia de la simulació. El paquet de simulació és ràpid, econòmic i precís. No proporciona cap tipus d'informació sobre defectes tèrmics.</p>	<p>No disponible</p>

*Dades de l'1 d'Octubre de 1997 segons nota peu de pàgina nº 8

Altres característiques i preus dels simuladors

Alguns programes de simulació de fosa, a part del programari bàsic, també disposen d'alguns mòduls complementaris. Aquests, són importants ja que permeten als usuaris analitzar de forma detallada alguns aspectes del procés de fosa que, altrament, no seria possible realitzar amb el paquet bàsic (Arabia 2018) A la taula 5.1.4. Taula de característiques III es detallen els mòduls complementaris de cada un dels simuladors, amb una descripció de les seves característiques.

Taula 5.1.4. Taula característiques III

SIMULADOR	MÒDULS COMPL.	CARACTERÍSTIQUES
AutoCAST	-	Mòduls de peça, motlle, alimentació i porta.
CAPCAST	CAPPORO	Prediccions de localització i quantitat de porositats a les foses.
	WRAFTS	Anàlisi residual ponderat del flux transitori.
	CAPCAST's Strees	Anàlisi de distorsió i estrès, avaluacions de danys per fatiga de defectes potencials.
	CAPOST	CAPCAST Post processador.
CastCAE	CastCHECK	Important pel dissenyador de components per evitar problemes de fabricació i qualitat.
	CastDESIGN	Disseny del sistema d'alimentació amb posicionament adequat i ubicacions d'alimentació.
	CasrsSPEX	Programari d'especificació de qualitat per al dissenyador de la màquina.
FLOW-3D Cast	FlowSight™	Visualització d'última generació i eina de post-processament.
MAGMASoft	-	Pre-processament, simulacions, post-processament tots junts en un sol paquet.
	MAGMA Link	Integració dels resultats de la simulació de fosa amb el programari FEA.
MAVIS-FLOW	Solid View Pro	Converteix les dades de IGES/VDA CAD en format ASCII STL per a la importació directa al programari de mallat.
Nova-Solid/Flow	NovaStress	Eina d'anàlisi per tractar qüestions de qualitat relacionades amb l'estrès.
	ATAS MetStar	Sistema adaptatiu d'anàlisi tèrmic (Procés d'anàlisi, estabilització i optimització).
Pro-CAST	Visual-Environment	Interoperabilitat i enllaç entre el programari de fosa i altres disciplines de simulacions. Els submòduls inclouen: malla visual, fosa visual, visor visual i procés visual.
SOLIDCast	FLOWCast	Anàlisi de flux de fluid basat en CDF.
	OPTICast	Optimització de procés automàtic.

Mòduls complementaris simuladors. (Arabia 2018) i <http://www.alphacast-software.co.uk>

5.2 Tria de la millor opció disponible/assequible

Tots els programes de simulació de fosa en estudi simulen la majoria dels processos de fosa. De tota manera, la fiabilitat dels resultats depèn de la precisió en la configuració de la simulació, definint les propietats del material, el mallat, les condicions de contorn, etc., més enllà del programari en qüestió.

Tots els programes seleccionats es proporcionen amb bases de dades de materials complertes per a metalls de fosa, motlles i nuclis i, fins i tot, algunes es poden modificar i ampliar com els de MAVIS-Flow, Nova-Solid/Flow, Pro-CAST, FLOW-3D Cast i SOLIDCast.

La predicció de defectes és una de les veritables fortaleses d'aquests programes ja que es poden detectar i eliminar els defectes que es poden ocasionar en el procés. ProCAST,

MAGMASoft i CAPCAST es consideren més adequats per a una anàlisi de defectes més detallat. Nova-Solid/Flow i Flow-3D són comparables en el tipus de defectes que prediuen i finalment, AutoCAST, CastCAE, MAVIS-Flow i SOLIDCast són els que en preveuen menys tipus. Malauradament, SOLIDCast no proporciona cap tipus d'informació sobre defectes tèrmics.

A partir de la comparació en les àrees seleccionades, ProCAST, MAGMASoft, Nova-Solid/ flow, CAPCAST i Flow-3D es poden considerar programes de primer nivell, mentre que CastCAE, SOLIDCast, AutoCAST i MAVIS-Flow tenen algunes de les funcions més limitades.

Un aspecte molt important dels programes d'alta gamma és l'optimització autònoma. Aquest, és un enfocament d'assaig i error automàtic, en un domini virtual basat en uns objectius definits prèviament per l'usuari. L'ordinador fa una simulació de totes les combinacions possibles i pren la decisió de millorar aspectes com les propietats dels materials i/o els paràmetres del procés. Aquest enfocament estalvia molt de temps respecte de les simulacions convencionals on cada simulació ha de ser establerta per l'usuari, basada en un disseny millorat i unes condicions de procés, a diferència de l'optimització autònoma que duen a terme programes de simulació com els de ProCAST i MAGMASoft.

A manca d'una informació precisa pel que respecta al seu preu, exceptuant el de MAVIS-Flow, es contactarà amb els serveis comercials d'un simulador de gamma alta i amb un altre amb funcions més limitades per poder disposar de la diferència de cost existent entre ambdues aplicacions. Es consultaran, també, els diversos tipus de llicència que ofereixen i el seu cost, així com si disposen de la possibilitat de llicències d'ensenyament que abarateixin el preu de venda comercial.

Com a simulador d'alta gamma, el que simula més diversitat de processos, prediu un nombre més gran de defectes i disposa d'una base de materials més àmplia és Pro-CAST, mentre que pel que respecte als simuladors amb funcions limitades, aquest són CastCAE i SOLIDCast. El fet que aquest últim, SOLIDCast, no proporcioni informació de defectes tèrmics fa que CastCAE sigui una opció millor pels de gamma més baixa. Així doncs, la tria final entre Pro-CAST i CastCAE es realitzarà a partir de la valoració econòmica que s'obtingui. També es demanarà una demostració en directe del funcionament de cadascun d'ells ja que aquesta demostració proporcionarà una idea bastant clara del tipus d'entrades, resultats, la interfícies d'usuari, requisits de "hardware, temps de simulació i de les diverses habilitats requerides que, també, són aspectes molt importants.

La tria final, doncs, quedarà emplaçada amb posterioritat als contactes que es mantindran properament amb les empreses subministradores dels simuladors escollits: Pro-CAST i CastCAE.

6. Descripció de la solució

6.1 Objectius generals

Segons la Taula 4.1.4, els objectius generals del mòdul de Disseny de motllos i models de fosa són les següents:

- 1) Realitzar càlculs de dimensionament i definir plans de proves per al disseny de productes de fabricació mecànica.
- 2) Aplicar tècniques de dibuix per elaborar plànols i definir especificacions tècniques per al disseny de productes.
- 3) Identificar components normalitzats i materials comercials, relacionant-ne les característiques amb l'ús, per seleccionar-los en el disseny del producte.
- 4) Planificar proves i verificacions definint-ne la realització per homologar el producte dissenyat.
- 5) Definir característiques de funcionament de sistemes de fabricació mecànica, establint-ne el cicle d'activitat, seleccionant-ne els components i realitzant-ne els esquemes de potència i comandament per automatitzar la solució plantejada.
- 6) Aplicar tècniques de treball amb CAD segons les normes de dibuix industrial per elaborar plànols de conjunt i de fabricació.
- 7) Identificar les limitacions de fabricació, analitzant les capacitats de les màquines i processos en la fabricació de prototips per realitzar modificacions en el disseny del producte.
- 8) Definir motlles, simulant el procés d'ompliment i refredament per ajustar-ne el disseny.
- 9) Utilitzar eines informàtiques per a l'elaboració, l'organització i el manteniment de la documentació tècnica de fabricació de productes mecànics i la documentació complementària d'ús.
- 11) Definir possibles combinacions de treball en equip, per donar resposta a incidències en l'activitat i complir els objectius de la producció.

Mitjançant la incorporació de la simulació de fosa al currículum, aquests seran ampliat amb els que es detallen seguidament:

- 10) Relacionar els indicadors de valoració amb l'adaptació als canvis de l'equip de treball en la millora i la innovació dels processos per augmentar la competitivitat.
- 12) Identificar noves competències analitzant els canvis tecnològics i organitzatius, definint les actuacions necessàries per aconseguir-les i adaptar-se a diferents llocs de treball.

6.2 Competències i capacitats clau

Segons la Taula 4.1.3, la relació de competències professionals, personals i socials amb el mòdul professional, són les següents:

- a) Idear solucions constructives de productes de fabricació mecànica realitzant els càlculs necessaris per al seu dimensionament, establint els plans de prova.
- b) Elaborar, organitzar i mantenir actualitzada la documentació tècnica necessària per fabricar els productes dissenyats.
- c) Seleccionar els components i materials en funció dels requisits de fabricació, així com de l'ús i el resultat dels càlculs tècnics realitzats, utilitzant catàlegs de productes industrials o altres fonts d'informació multilingüe.
- d) Establir el pla d'assajos necessaris i d'homologació per assegurar el compliment dels requisits establerts.
- f) Dibuixar els plànols de conjunt i de fabricació segons les normes de dibuix industrial utilitzant equips i programari de CAD.
- g) Realitzar modificacions en el disseny en funció dels problemes detectats en la fabricació del prototip.
- h) Optimitzar el disseny dels motlles realitzant-ne la simulació del procés d'ompliment i refredament per garantir la qualitat dels productes emmotllats, l'optimització del temps del procés i els recursos energètics utilitzats.

i) Elaborar, organitzar i mantenir actualitzada la documentació tècnica complementària als plànols del projecte (instruccions d'ús i manteniment, esquemes, recanvis, entre d'altres) utilitzant mitjans ofimàtics.

Mitjançant la incorporació de la simulació de fosa al currículum, aquestes seran ampliat amb les que es detallen seguidament:

- j) Resoldre les incidències relatives a la seva activitat, identificant les causes que les provoquen i prenent decisions de forma responsable.
- k) Adaptar-se a diferents llocs de treball i noves situacions laborals originats per canvis tecnològics i organitzatius en els processos productius.
- l) Potenciar la innovació, la millora i l'adaptació dels membres de l'equip als canvis per augmentar la competitivitat.

Entre les capacitats clau destaquen les d'autonomia, innovació, organització del treball, responsabilitat, relació interpersonal, treball en equip i resolució de problemes.

6.3 Competències de l'àmbit científic i tecnològic

Pel que fa a les competències de l'àmbit científic que es pretenen que siguin adquirides mitjançant la implementació del programari de simulació, són les següents:

- a) Competència en el coneixement i la interacció amb el món físic.
- b) Tractament de la informació i competència digital.
- c) Competència per aprendre a aprendre
- d) Autonomia i iniciativa personal.
- e) Desenvolupar les habilitats de reflexió, qüestionament i raonament.

6.4 Relació Unitats Formatives del Mòdul Professional

La durada del MP de Disseny de motlles i models de fosa és de 99 hores i no s'assignen hores de lliure disposició. Les unitats formatives que el componen amb la seva durada són:

- UF 1: Anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa. (33 hores)
- UF 2: Disseny de motlles i models. (66 hores)

El percentatge de desdoblament del MP és del 67% (es recomana desdoblar l'UF2).

La implementació del programari de simulació es realitzarà mitjançant la creació d'una UF nova, la UF3: simulació del procés de fosa, mitjançant el disseny d'una sèrie d'activitats per tal de donar uns Continguts (C) associats a la simulació. Es definiran uns Resultats d'Aprenentatge (RA) i uns Criteris d'Avaluació (CA) específics dels continguts de la simulació del procés de fosa, i que complementaran als de les altres UF.

6.5 Continguts, Resultats d'aprenentatge i Criteris Avaluació del MP

Segons el DECRET 70/2014, de 20 de maig (Gencat 2016), pel qual s'estableix el currículum del cicle formatiu de grau superior de disseny en fabricació mecànica, els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació per cada una de les unitats formatives del mòdul professional de Disseny de motlles i models de fosa són els següents:

UF 1: anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa

Els resultats de l'aprenentatge i els criteris d'avaluació d'aquesta UF són els següents:

- RA 1: Selecciona motlles i models de fosa analitzant el desenvolupament dels processos.
- CA 1.1: Interpreta el desenvolupament dels procediments d'obtenció de motlles i models per obtenir els productes que es dissenyen.
 - CA 1.2: Valora l'ús de models reutilitzables davant dels models d'un sol ús.
 - CA 1.3: Identifica les limitacions de les màquines i dispositius necessaris per al desenvolupament dels processos d'emmotllament.
 - CA 1.4: Descriu el comportament del material als motlles durant els processos de fosa.
 - CA 1.5: Estima econòmicament els processos de fosa en funció de la quantitat de peces que s'han d'obtenir.
 - CA 1.6: Selecciona la tecnologia més adequada en funció de les característiques tècniques de la peça que s'ha de fabricar.

- RA 2: Selecciona materials per fabricar motlles i models, relacionant-ne les característiques amb les necessitats funcionals, tècniques i econòmiques dels motlles i models dissenyats.
- CA 2.1: Relaciona les propietats físiques, químiques, mecàniques i tecnològiques dels materials amb les necessitats dels motlles i models de fosa.
 - CA 2.2: Identifica els materials comercials més utilitzats en els motlles i models de fosa.
 - CA 2.3: Interpreta la codificació dels materials utilitzats en els motlles i models de fosa.
 - CA 2.4: Identifica la influència dels processos de fabricació mecànica en les propietats del material usat en els motlles i models de fosa.
 - CA 2.5: Identifica la influència de les propietats del material usat en els motlles i models de fosa, en els processos de fabricació mecànica.
 - CA 2.6: Descriu els efectes que tenen els tractaments tèrmics i termoquímics sobre els materials usats en els motlles i models de fosa i les seves limitacions.
 - CA 2.7: Descriu la forma d'evitar, des del disseny, els defectes provocats pels tractaments tèrmics i termoquímics en els motlles i models de fosa.
 - CA 2.8: Identifica la necessitat de protecció o lubricació dels materials usats en els motlles i models de fosa, tenint en compte la compatibilitat física o química.
 - CA 2.9: Mostra interès i compromís amb la protecció ambiental i fa un ús racional dels materials i l'energia emprats en el procés.

Pel que fa als continguts, aquests són els següents:

- C 1: Selecció de motlles i models de fosa:
- C 1.1: Processos de fosa. Tècniques i característiques principals.
 - C 1.2: Tipus de models i materials emprats en la seva fabricació: reutilitzables i d'un sol ús.
 - C 1.3: Tipus de motlles: de sorra en verd, amb capa seca, d'argila, furànics, de CO₂, de metall, especials.
 - C 1.4: Característiques tècniques i geomètriques de les peces obtingudes en funció del tipus de motlle emprat.
 - C 1.5: Parts principals dels motlles: canal de colada, canals de distribució, massalota, mascles, sortida de gasos, extractors, etc.
 - C 1.6: Limitacions de les màquines per a emmotllament.
 - C 1.7: Reologia aplicada en els processos de fosa. Característiques del metall líquid.
- C 2: Selecció de materials per a motlles i models:
- C 2.1: Classificació dels materials emprats en la fabricació de motlles i models.
 - C 2.2: Propietats físiques, químiques, mecàniques i tecnològiques dels materials usats en els motlles i models de fosa.
 - C 2.3: Propietats reològiques dels metalls i els aliatges.
 - C 2.4: Refredament i solidificació de metalls i els aliatges.
 - C 2.5: Tractaments tèrmics i termoquímics utilitzats en els motlles i els models de fosa.
 - C 2.6: Materials metàl·lics, ceràmics i polimèrics més utilitzats en els motlles i els models de fosa.
 - C 2.7: Ús de catàlegs comercials.
 - C 2.8: Compromís ètic amb els valors de conservació i defensa del patrimoni ambiental i cultural de la societat.

UF 2: disseny de motlles i models

RA 3: Disseny solucions constructives de motlles i models per a fosa, analitzant el procés d'emmotllament.

CA 3.1: Proposa una solució constructiva del motlle i del model degudament justificada des del punt de vista de la viabilitat de fabricació.

CA 3.2: Optimitza els dissenys des del punt de vista del cost de fabricació i del seu manteniment.

CA 3.3: Realitza modificacions en el disseny tenint en compte els resultats de la simulació.

CA 3.4: Realitza el disseny de motlles i models complint amb la normativa vigent referent a seguretat de persones, equips, instal·lacions i medi ambient.

CA 3.5: Mostra iniciativa personal i disposició per a la innovació en els mitjans materials i en l'organització dels processos.

CA 3.6: Mostra interès per l'exploració de solucions tècniques davant de problemes que es presentin i també com a element de millora del procés.

CA 3.7: Aplica les normes de prevenció de riscos laborals i protecció ambiental exigides, i fa un ús racional dels materials i l'energia emprats en el procés.

RA 4: Calcula les dimensions dels components del motlle o model analitzant els requisits del procés i de la peça que s'ha d'obtenir.

CA 4.1: Determina les sol·licitacions de l'esforç o la càrrega analitzant el fenomen que les provoca.

CA 4.2: Dimensiona motlles i models aplicant les diferents fórmules, taules, àbacs i normes que s'han d'emprar.

CA 4.3: Empra en l'aplicació de càlculs de motlles i models els coeficients de seguretat requerits per les especificacions tècniques.

CA 4.4: Estableix la forma i la dimensió dels motlles i models tenint en compte els resultats dels càlculs.

CA 4.5: Empra eines informàtiques per al càlcul i dimensionament del motlle o model.

CA 4.6: Analitza el comportament tèrmic i reològic del material en el procés de colada i refredament emprant programari de simulació.

CA 4.7: Analitza el comportament del material del motlle o model emprant programari de simulació mitjançant elements finits (CAE⁹).

CA 4.8: Realitza el càlcul del motlle o model complint amb la normativa vigent referent a la seguretat de persones, equips, instal·lacions i medi ambient.

CA 4.9: Resol satisfactòriament els problemes plantejats en el desenvolupament de la seva activitat.

RA 5: Avalua la qualitat del disseny dels motlles i models de fosa analitzant la funcionalitat i fabricabilitat dels elements dissenyats.

CA 5.1: Identifica els elements o components crítics del motlle o model.

CA 5.2: Identifica les causes potencials de fallida del motlle o model.

CA 5.3: Identifica els efectes potencials de fallida del motlle o model.

CA 5.4: Proposa modificacions en el disseny del motlle o model que en millorin la funcionalitat, la seguretat i el medi ambient.

CA 5.5: Proposa modificacions en el disseny del motlle o model que en millorin la fabricació.

CA 5.6: Proposa modificacions en el disseny del motlle o model que en millorin el muntatge i el desmuntatge, evitant l'ús d'eines especials.

CA 5.7 Optimitza els dissenys des del punt de vista del cost de fabricació i el seu manteniment.

CA 5.8 Participa i coopera en el treball d'equip.

C 3: Disseny de motlles i models:

C 3.1: Sistemes d'alimentació: vas de baixada i canal de colada.

C 3.2: Turbulències en l'ompliment.

C 3.3: Erosió dels conductes i superfícies del motlle.

C 3.4: Eliminació d'escòria.

⁹ Enginyeria Assistida per Ordinador (Computer-Aided Engineering)

- C 3.5: Dissipació dels gasos.
- C 3.6: Refredament i solidificació. Temperatures de fusió.
- C 3.7: Disseny i càlcul dels sobreeixidors.
- C 3.8: Càlcul del temps.
- C 3.9: Rendiment de la fosa. Aprofitament de material.
- C 3.10: Tipologia dels defectes en els processos de fosa, causes i mesures preventives
- C 3.11: Simulació amb eines CAE del procés d'emmotllament.
- C 3.12: Normativa de seguretat i medi ambient.
- C 3.13: Eficiència en el disseny relacionat amb l'estalvi i l'ús racional de materials i energia.

C 4: Dimensionament dels motlles i models:

- C 4.1: Sobredimensionament del model.
- C 4.2: Angles de desemmotllament.
- C 4.3: Acabament de superfícies.
- C 4.4: Tolerància. Toleràncies per la contracció, per l'extracció, l'acabament i la distorsió.
- C 4.5: Refredaments irregulars.
- C 4.6: Normativa de seguretat i medi ambient.
- C 4.7: Eficiència en el disseny relacionat amb l'estalvi i l'ús racional de materials i energia.

C 5: Verificació del disseny d'estris de processament:

- C 5.1: AMFE aplicat al disseny de motlles i models de fosa.
- C 5.2: Anàlisi de motlles i models aplicant-hi l'AMFE¹⁰.
- C 5.3: Verificació del compliment de les normes de seguretat i de medi ambient.
- C 5.4: Cost de fabricació i manteniment.

UF 3: Simulació procés de fosa (de nova creació)

RA 6: Calcula les dimensions dels components del motlle o model analitzant els requisits del procés i de la peça que s'ha d'obtenir, i avalua la qualitat del disseny del motlle o model analitzant la funcionalitat i fabricabilitat dels elements dissenyats, amb el simulador.

- CA 6.1: Empra eines informàtiques per al càlcul i dimensionament del motlle o model.
- CA 6.2: Analitza el comportament tèrmic i reològic del material en el procés de colada i refredament emprant el programari de simulació.
- CA 6.3: Analitza el comportament del material del motlle o model amb el programari de simulació.
- CA 6.4: Identifica els elements o components crítics del motlle o model.
- CA 6.5: Identifica les causes i efectes potencials de fallida del motlle o model.
- CA 6.6: Proposa modificacions en el disseny del motlle o model que en millorin la funcionalitat, la seguretat i el medi ambient.
- CA 6.7: Proposa modificacions en el disseny del motlle o model que en millorin la fabricació, i el muntatge i desmuntatge evitant l'ús d'eines especials.
- CA 6.8 Optimitza els dissenys des del punt de vista del cost de fabricació i el seu manteniment.
- CA 6.9 Participa i coopera en el treball d'equip.

C 6: Simulació del procés de fosa: emplenat, solidificació i refredament del motlle.

- C 6.1: Descripció de l'entorn del simulador, llistat d'ordres, filosofia i components de l'espai de treball, barres de menús o eines, eines de visualització, etc.
- C 6.2: Disseny del model en format CAD 3D (sobredimensionat del model, angle desemmotllament, acabats superfície, toleràncies, etc.) i exportació de l'arxiu en format STL.
- C 6.3: Disseny del motlle amb els sistemes d'alimentació, sobreeixidors i canals de dissipació de gasos. Generació del mallat
- C 6.4: Definició propietats del metall de fosa (conductivitat, calor específic, calor latent, viscositat, tensió superficial, etc.), propietats del motlle (densitat en funció de temperatura, conductivitat tèrmica, calor específic, etc.) i paràmetres procés (temps vessament, temperatura)
- C 6.5: Control tèrmic i simulació emplenat, solidificació i refredament del motlle.

¹⁰ Anàlisi Modal d'Errades i Efectes (Anàlisi Modal de Fallos i Efectos)

C 6.6: Anàlisi de resultats (temps, rendiment de la fosa i aprofitament de material, etc.) i tipus de defectes (porositats, refredaments irregulars, oxidacions, contraccions, etc.)

C 6.7: Millora del disseny de mètodes per eliminar els defectes i millorar els rendiments.

6.6 Material i eines del desenvolupament

Les sessions d'aquest mòdul es duran a terme a l'aula de CAD-CAM i a l'aula de mecànica.

L'aula de CAD-CAM disposa d'ordinadors de sobretaula amb un programari CAD instal·lat, en el nostre cas SolidWorks. En aquests ordinadors és on s'hi instal·laran el programari de simulació de fosa escollit. En aquesta aula, per tant, es on es durà a terme el disseny dels models de fosa i les corresponents simulacions del procés de fosa.

A l'aula de mecànica, equipada amb ordinador de sobretaula pel professor i projector, es realitzaran les classes magistrals en les que els alumnes prendran apunts i es mostraran presentacions i vídeos mitjançant el projector.

Ambdues aules disposen de connexió a Internet i es procurarà, en la mesura del possible que tots els alumnes puguin disposar dels programes necessaris per tal de puguin practicar amb aquests, fora de l'horari escolar. A les sortides d'empreses del sector que es portaran a terme durant el curs, es realitzaran demostracions pràctiques per tal que els alumnes puguin observar el procés que es du a terme a la realitat.

6.7 Valoració econòmica

Pel que fa a la valoració econòmica de la solució proposada s'ha de indicar que es disposa de tot el material i eines pel desenvolupament a excepció del programa informàtic de simulació amb les seves llicències. Tota la resta de material o eines ja estan disponibles, tant pel que respecte a espais, com als equipaments com ordinadors de sobretaula, projector, programari CAD i connexió a Internet.

El cost del programari de simulació, com ja s'ha comentat al punt 5.1, queda pendent per després de contactar amb els equips comercials dels simuladors que hem triat en una primera instància i de la demostració en directe del seu funcionament. Malgrat que el seu preu és un factor clau, ha estat del tot impossible poder obtenir informació al respecte que no sigui per la via d'emplenar un formulari per tal de que l'equip comercial, contacti a partir de la sol·licitud. A part del seu preu, la demostració en directe del seu funcionament ens proporcionarà informació del tipus d'entrades, els resultats, la interfícies d'usuari, temps de simulació i de les diverses habilitats requerides ja que aquestes difereixen entre els diferents programes de simulació en estudi.

7. Metodologia i planificació de treball

7.1 Metodologia i implementació de la solució

La implementació del programari de simulació es realitzarà mitjançant la creació d'una UF nova, la UF3: simulació del procés de fosa, on es dissenyaran una sèrie d'activitats per tal de donar els continguts associats a la unitat formativa. A l'UF de nova creació se li assignen 33 hores que es sostreuen de la UF2. L'ordre d'impartir les UF serà de forma seqüencial.

El programari de simulació s'utilitzarà com a recurs addicional i complementari en les dues primeres UF. Aquest s'emprarà com a eina visual pels alumnes, per tal facilitar la comprensió de tots aquells aspectes i conceptes que estan fora de la percepció o són poc observables, com és el nostre cas del procés de fosa, mitjançant el seu ús a les classes amb exemples pràctics. En aquests moments, aquestes UF es duen a terme mitjançant classes magistrals teòriques complementat, sempre que és possible, amb audiovisuals dels diferents continguts o exemples pràctics. També es realitzen algunes sortides a empreses del sector, que complementen les explicacions donades a l'aula i donen una visió real a l'alumne del procés.

A la nova UF es treballarà en la seva totalitat amb el simulador. El desenvolupament de l'UF es durà a terme mitjançant la realització d'un petit projecte que consistirà en el disseny d'un motlle de fosa i posterior simulació d'emplenat i solidificació. Aquest, serà un projecte interdisciplinari ja que engloba conceptes de diferents matèries, dins d'una mateixa metodologia de treball per projectes, en aquest cas amb el MP01 Representació gràfica en fabricació mecànica. Els RA de la seva UF2: Disseny Assistit per Ordinador (CAD) són necessaris per tal de poder desenvolupar el disseny de la peça i motlle a simular al nostre MP04: Disseny de motllos i models de fosa.

Això permet que els alumnes puguin adquirir una sèrie de competències amb l'aplicació de coneixements d'àrees diverses. El professor passa a ser un guia que orienta als alumnes mitjançant diversos plantejaments per tal de que puguin assolir els objectius. A més a més, els projectes interdisciplinaris comporten un aprenentatge contextualitzat i significatiu perquè es treballa competencialment aspectes de la realitat i es du a la pràctica la teoria d'aprenentatge constructivista. També hi ha una potenciació de les habilitats socials, hi ha una major motivació per part de l'alumne, i en l'aprenentatge són més autònoms. Les preguntes i reptes formulades als alumnes provoquen un interès i atenció en vers l'aprenentatge per mitjà de la curiositat.

La metodologia que es seguirà en el desenvolupament del projecte serà la d'aprenentatge entre iguals. Aquesta es basa en la creació d'una sèrie de grups d'alumnes heterogenis i amb una relació asimètrica, per tal de treballar i aprendre conjuntament, és a dir, en grup i amb uns objectius que són compartits. El fet de treballar d'aquesta forma facilita, de forma notable, l'atenció a la diversitat dels alumnes ja que el treball en grup activa la capacitat de donar-se suport en el procés d'aprenentatge i treure un profit dels diferents nivells competencials que hi ha entre els components del grup. El fet de que un alumne expliqui un concepte o procediment a un company o component del grup fa que tots dos estiguin aprenent: el que no ho sap aprèn gràcies a l'ajuda del company, i el que ho sap reforça la seva comprensió a través de l'ordenació de les seves idees per tal de fer-se entenedor. La diversitat en el grup és un aspecte molt positiu que afavoreix un aprenentatge actiu i participatiu, i permet a tots els membres del grup poder avançar conjuntament amb un "feedback" immediat.

El docent oferirà eines que puguin ajudar als alumnes a pensar per ells mateixos, a investigar, a aprendre dels seus errors i dels seus encerts, i d'aquesta manera, també a aprendre a ser crítics. Aquests projectes tenen aplicació en el món real més enllà de l'aula, i busquen crear una educació interdisciplinària amb un significat, de forma complementària a les lliçons magistrals, demostracions teòriques i els altres recursos utilitzats fins a dia d'avui. També s'aplicaran classes invertides i treball col·laboratiu durant el procés creatiu del disseny del model i del motlle i, posteriorment en el procés de simulació.

7.2 Programació

L'assignació d'hores a cada una de les unitats formatives queda, doncs, de la següent manera:

Taula 7.2.1. Mòdul Professional – Unitats Formatives

Mòdul professional	Hores màx-mín	HLLD	Unitats formatives	Hores mín.
04 Disseny de motllos i models de fosa	99	0	UF 1 Anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa	33
			UF 2 Disseny de motlles i models de fosa	33
			UF 3 Simulació procés de fosa	33

Hores de dedicació a cada unitat formativa.

Pel que fa a l'ordre cronològic en què s'imparteixen aquestes UFs al llarg del curs és de forma seqüencial i aquest és el següent:

Taula 7.2.2. Ordre cronològic UF

M04	Set.33
UF3 33 h	
UF2 33 h	Set.1
UF1 33 h	
3 hores / setmana	

Ordre cronològic d'impartició de les UF.

El percentatge de desdoblament del MP és del 67%, i en el nostre cas es desdoblaran la UF2 i UF3. Els nuclis formatius (NF) de cada UF i la seva temporització és la següent:

Taula 7.2.3. Relació UF - NF

UF	NF	Hores (h)
UF1 Anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa(33h)	NF 1.- Selecció de motlles i models de fosa.	18
	NF 2.- Selecció de materials per a motlles i models	15
UF2: Disseny de motlles i models de fosa. (33h)	NF 3.- Disseny de motlles i models.	13
	NF 4.-Dimensionament de motlles i models.	13
	NF 5.- Verificació del disseny d'estrís de processat	7
UF3 Simulació procés fosa.	NF 6.- Disseny motlles i models i simulació procés	33

Relació de nuclis formatius de cada unitat formativa amb la seva temporització.

La relació dels NF amb els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació definits a l'apartat 6.5, és mostra a la següent taula:

Taula 7.2.4. Relació NF–C-RA-CA

NUCLI FORMATIU (NF)	C	RA	CA	h
NF1 Selecció de motlles i models de fosa.	1.1/1.2/1.3/1.4/ 1.5/1.6/1.7	1	1.1/1.2/1.3 1.4/1.5/1.6	18
NF2 Selecció de materials per a motlles i models.	2.1/2.2/2.3/2.4 2.5/2.6/2.7/2.8	2	2.1/2.2/2.3/2.4/2.5 2.6/2.7/2.8/2.9	15
NF3 Disseny de motlles i models.	3.1/3.2/3.3/3.4/3.5/3.6/3.7 3.8/3.9/3.10/3.11/3.12/3.13	3	3.1/3.2/3.3/3.4 3.5/3.6/3.7	13
NF4 Dimensionament de motlles i models.	4.1/4.2/4.3/4.4 4.5/4.6/4.7	4	4.1/4.2/4.3/4.4/4.5 4.6/4.7/4.8/4.9	13
NF5 Verificació del disseny d'estrís de processat.	5.1/5.2/5.3/5.4	5	5.1/5.2/5.3/5.4 5.5/5.6/5.7/5.8	7

NF6 Disseny motlles i models i simulació procés.	6.1/6.2/6.3/6.4 6.5/6.6/6.7	6	6.1/6.2/6.3/6.4/6.5 6.6/6.7/6.8/6.9	33
--	--------------------------------	---	--	----

Relació de nuclis formatius amb els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació

Pel que fa al disseny i programació d'activitats d'ensenyament i aprenentatge (E/A) de cada nucli formatiu relacionat amb els diferents continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació es mostren de forma temporitzada a la següent taula:

Taula 7.2.5. Activitats E/A

Nucli Formatiu	RA	CA	C	Activitats E/A	h	
NF1 Selecció de motlles i models de fosa.	1	1.1	1.1/1.2	1. Introducció a la fosa, tipus de models i materials utilitzats. Qüestionari (Q): Q1	4	
		1.2	1.3/1.4	2. Tipus de motlles i característiques de la peça en funció del motlle utilitzat. Q2	4	
		1.3				
		1.4	1.5	3. Parts principals del motlle. Q3	5	
		1.5	1.6/1.7	4. Limitacions de la maquinària per a emmotllar i reologia aplicada a la fosa. Q4	4	
		1.6	1.1..1.7	5. Prova – Examen (E1).	1	
NF2 Selecció de materials per a motlles i models.	2	2.1	2.1/2.6	6. Classificació i tipus dels materials més usats en motlles i models. Qüestionari Q5	4	
		2.2				
		2.3	2.2/2.3	7. Propietats físiques, químiques, mecàniques, tecnològiques i reològiques dels materials. Qüestionari Q6	4	
		2.4				
		2.5	2.4/2.5	8. Refredament i solidificació de la fosa. Tractaments tèrmics a models i motlles. Q7	4	
		2.6				
		2.7	2.7/2.8	9. Catàlegs comercials i compromís ètic. Q8	2	
		2.8	2.1..2.8	10. Prova – Examen (E2).	1	
NF3 Disseny de motlles i models.	3	3.1	3.1	11. Disseny i càlculs dimensionat sistemes d'alimentació. Prova Pràctica (PP) PP1	2	
		3.2	3.2/3.3	12. Turbulències i erosió en l'emplantat. Q9	1	
		3.3	3.4	13. Refredament, solidificació i temperatures de fusió. Eliminació d'escòria i dissipació de gasos. Q10	2	
		3.4	3.5			
		3.5	3.6	14. Disseny i càlcul dels sobreeixidors. PP2	2	
		3.6	3.7	15. Càlcul del temps i del rendiment. PP3	2	
		3.7	3.10	16. Tipus defectes, causes i mesures preventives. Q11	1	
			3.12	17. Normativa seguretat i medi ambient. Q12	1	
			3.11/3.13	18. Càlculs eficiència en el disseny. PP4	1	
			3.1...3.13	19. Prova – Examen (E3).	1	
NF4 Dimensionament de motlles i models.	4	4.1	4.1	20. Sobredimensionat del model, angles de desemmotllament i acabats de superfície. Q13	6	
		4.2	4.2			
		4.3	4.3			
		4.4	4.4/4.5	21. Toleràncies, refredaments irregulars i càlculs d'eficiència en el disseny. PP5	5	
		4.5	4.7			
		4.6	4.6	22. Normativa de seguretat i medi ambiental. Q14	1	
		4.7				
		4.8	4.1...4.7	23. Prova – Examen (E4).	1	
NF5 Verificació del disseny d'estrís de processat.	5	5.1	5.1	24. AMFE aplicat al disseny de motlles i models de fosa. PP6	2	
		5.2				
		5.3	5.2/5.3	25. Anàlisi de motlles i models aplicant AMFE i verificació compliment normativa. PP7	2	
		5.4				
		5.5	5.4	26. Cost fabricació i manteniment. PP8	2	
		5.6	5.1...5.4	27. Prova – Examen (E5).	1	
	5.7					
	5.8					

NF6 Disseny motlles i models i simulació procés.	6	6.1	28. Descripció entorn simulació: filosofia, llistes d'ordres, menús eines visualització. PP9	6
		6.2 6.3 6.4	29. Disseny model, motlle i sistemes alimentació i distribució en CAD, exportació arxius STL i definició propietats. PP10	3
		6.5 6.6 6.7	30. Control tèrmic i simulació procés. Anàlisi de resultats i tipus defectes. Millora disseny eliminació defectes i millora rendiment. PP11	3
		6.1....6.7	31. Fase inicial projecte: Formació grups, definició cas i disseny pla d'actuació	2
		6.1....6.7	32. Fase desenvolupament del projecte, reunions de grup i lliuraments intermedis	15
		6.1....6.7	33. Fase final projecte: Realització Memòria Escrita (ME) i Presentació Oral (PO)	4

Temporització d'activitats d'ensenyament i aprenentatge, i relació amb els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació.

7.3 Model pedagògic

L'enfoc pedagògic, marca el model didàctic que ha de contemplar la diversitat a l'aula per tal d'adequar les diferents capacitats cognitives dels alumnes, tot tenint en compte les intel·ligències múltiples per potenciar les virtuts i reforçar les mancances. L'enfocament pedagògic del projecte a desenvolupar utilitza diverses metodologies amb la finalitat d'assolir els objectius d'aprenentatge que ens hem plantejat. La metodologia que es proposa té en compte uns objectius i unes competències específiques, i el seguiment en les fases: inicial, de desenvolupament i d'avaluació.

L'ús de l'aula de CAD-CAM ens permetrà realitzar les activitats pràctiques associades a la simulació del procés de fosa. Es podran utilitzar les diferents TICs existents a l'aula per realitzar els treballs i a la vegada, ser utilitzades com a font d'informació, ja que el desenvolupament del projecte també s'inclou l'elaboració d'una documentació tècnica que té un enfocament més teòric. Les fases que contempla el projecte són les següents:

Fase inicial: En aquesta fase, l'activitat serà presentada als alumnes. Aquests, rebran les instruccions, objectius, continguts i avaluació del projecte. Es formalitzaran els diferents grups i s'adjudicaran les diferents responsabilitats individuals dins del grup. Es partirà d'un cas engrescador a resoldre, amb una sèrie d'especificacions tècniques a tenir en compte. L'organització dels alumnes en grups heterogenis petits (3-4 persones) permet un treball en equip en la recerca de possibles solucions al cas plantejat, aprenent conceptes nous i aprofundint en els ja treballats. Es tindrà cura de la comunicació efectiva existent entre els components del grup. La metodologia que s'utilitzarà per assolir una implicació de tots els components del grup serà la del treball cooperatiu. Cadascun dels equips pensarà en una solució, dissenyarà el seu pla d'actuació i establirà una agenda de reunions de treball.

Fase de desenvolupament: A la següent fase es determinaran una sèrie de lliuraments intermedis que comportin un esforç continu des d'un principi i que permeti fer un seguiment. En aquesta part del procés es continuarà assolint nous continguts i es reforçaran aquells conceptes que s'hagin treballat. Es realitzaran una sèrie d'activitats pràctiques individuals, però amb aportacions del grup, i es generaran uns documents de seguiment d'aquestes. A les reunions de grup s'exposarà a la resta de membres el treball fet, les aportacions seran constructives i les decisions es prendran de manera consensuada. A cada reunió, cadascun dels membres del grup haurà d'intervenir i per tal de poder-ho avaluar, els alumnes hauran de descriure quines han sigut les seves aportacions a les reunions. Això comportarà una defensa del propi treball i sortiran unes propostes de millora de les tasques realitzades pels companys. Les reunions seran plantejades amb metodologies que tinguin en consideració les habilitats socials i comunicatives mitjançant un debat estructurat.

Fase final: Finalment, un cop desenvolupat tot el projecte i amb totes les tasques del grup finalitzades, cadascun dels grups realitzarà una memòria detallada on es descriuran tots els passos seguits, tasques realitzades, resultats obtinguts, millores dutes a terme, increments de rendiment obtinguts, etc., i el grup durà a terme una presentació oral davant la resta de grups. Es podran utilitzar les eines de suport TIC que cada grup consideri més convenients o adients, tals com presentacions amb diapositives, vídeos del procés seguit o de les simulacions realitzades, etc. A la presentació oral, serà obligatòria la participació de cada un dels components del grup amb petites intervencions al llarg de la tota presentació, per tal de demostrar uns resultats i assoliments comuns, fruit del treball en equip.

7.4 Atenció a la diversitat

En l'atenció a la diversitat es tindrà en compte, tant les dificultats com les habilitats dels alumnes per assolir els resultats d'aprenentatge. A cada sessió, s'adaptarà als continguts a impartir a les possibilitats dels alumnes. En cas d'observar mancances d'aprenentatge es realitzarà un reforç individualitzat, en aquells casos que es requereixi, ja que tots els alumnes han de tenir un domini de les competències bàsiques.

A l'inici del MP, es realitzarà una avaluació inicial en forma de qüestionari del perfil de l'alumnat per tal d'analitzar les capacitats cognitives i clau de cadascun d'ells. Aquesta avaluació esdevindrà el punt de partida per emprendre mesures especials per als alumnes amb característiques específiques, tant pels que tenen dificultats d'aprenentatge o necessitats educatives especials (NEE) com pels que tenen altes capacitats intel·lectuals (AACC). En cas de que en el grup es detectin característiques específiques, es contextualitzarà la programació a les necessitats que es detectin, i es variarà la distribució i temporització de les activitats a cada contingut. Si per contra, s'observa un grup molt heterogeni amb un extens ventall de característiques definitòries, aleshores, s'aplicaran eines d'atenció a la diversitat, com poden ser les activitats d'ampliació o de reforçament, en els aquells casos que això sigui necessari.

Pel cas d'estudiants amb NEE s'adoptaran mesures organitzatives (intervenció dos professors a l'aula, psicopedagog, atenció en petits grups, agrupaments flexibles), mesures curriculars (currículum obert, programacions obertes i flexibles) o altres mesures curriculars que no afecten substancialment al currículum escolar (adaptacions d'accés al currículum, adaptacions poc significatives, adaptacions significatives com els (PI) Plans Individualitzats). Pels alumnes amb AACC també hi haurà una adaptació curricular, però en aquest cas s'ampliaran els continguts i objectius a un nivell superior. Es treballarà el mateix però amb un major nivell de complexitat, abstracció i connexió interdisciplinària.

El projecte d'aprenentatge entre iguals que es durà a terme en el MP, amb grups d'alumnes heterogenis, facilitarà l'atenció a la diversitat i estimularà la cooperació entre els diferents alumnes del grup. L'intercanvi de coneixements que es produeix al grup, permet donar suport als alumnes més necessitats per parts d'aquells més experimentats. La formació de grups d'alumnes amb diferents nivells competencials enriqueix i vigoritza l'ajuda entre iguals, facilita el compartiment del coneixement i estimula la cooperació entre els alumnes.

L'avaluació continua que es realitzarà al llarg de tot el MP és una altre instrument d'atenció a la diversitat ja que permetrà trobar les dificultats dels estudiants i facilitar un "feedback" que estimuli un aprenentatge actiu i significatiu. S'informarà als alumnes, des d'un inici, de quins són els objectius d'aprenentatge i els criteris d'avaluació i, participaran a l'avaluació mitjançant tècniques i instruments variats que comptin amb les intel·ligències múltiples i respectin les diferents formes d'aprenentatge. La combinació de diferents tècniques d'avaluació ajuda a la millora de l'autonomia de l'alumne ja que permet conèixer el que s'ha de reforçar i adquirir estratègies auto correctores.

Finalment, el recolzament per part del docent també es d'una gran ajuda a l'atenció a la diversitat per tal de reforçar i millorar l'aprenentatge de tots els seus alumnes, independentment del nivell acadèmic de cadascun d'ells.

8. Avaluació dels resultats

8.1 Avaluació i qualificació de les UF

L'avaluació de les UF es farà de forma contínua al llarg de la seva durada. La participació i assistència a classe seran aspectes bàsics per l'avaluació. Per tenir dret a avaluació contínua és necessària una assistència a classe de com a mínim un 80% de l'UF.

L'avaluació de l'UF es farà a partir dels resultats d'aprenentatge i per poder-la superar s'han d'aprovar tots els RA amb un mínim de 5. La qualificació de la UF s'obté de la ponderació de la qualificació dels diferents exercicis pràctics, qüestionaris i exàmens o proves de cada resultat d'aprenentatge i per la ponderació dels diferents RA. En cas de no superar l'UF de forma contínua, es realitzarà una prova de recuperació en el període establert pel centre. Aquesta constarà d'una prova teòrica i pràctica amb diversos exercicis. Qualsevol nota de prova pràctica, qüestionari, exercici, etc., haurà de ser igual o superior a 4 per realitzar la ponderació.

Taula 8.1.1. Instruments d'avaluació

NF	Qualif	INSTRUMENTS D'AVALUACIÓ								
		RA's	PROVES PRÀCTIQUES I QÜESTIONARIS,							
NF1 Selecció de motlles i models de fosa.	1	E1	Q1	Q2	Q3	Q4				
		60%	10%	10%	10%	10%				
NF2 Selecció de materials per a motlles i models.	2	E2	Q5	Q6	Q7	Q8				
		60%	10%	10%	10%	10%				
NF3 Disseny de motlles i models.	3	E3	PP1	Q9	Q10	PP2	PP3	Q11	Q12	PP4
		60%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
NF4 Dimensionament de motlles i models.	4	E4	Q13	PP5	Q14					
		60%	10%	20%	10%					
NF5 Verificació del disseny d'estris de processat.	5	E5	PP6	PP7	PP8					
		55%	15%	15%	15%					
NF6 Disseny motlles i models i simulació procés	6		PP9	PP10	PP11	ME	PO			
			5%	5%	5%	60%	25%			

E_n: Examen, Q_n: Qüestionari, PP_n: Prova Pràctica, ME: Memòria Escrita, PO: Presentació Oral

Relació ponderada dels diferents instruments d'avaluació dels resultats d'aprenentatge, dels diferents nuclis formatius.

A la següent taula, es mostra la ponderació de cadascun dels resultats d'aprenentatge dels nuclis formatius, inclosos a les diferents unitats formatives que componen el mòdul professional:

Taula 8.1.2. Ponderació resultats d'aprenentatge

UNITAT FORMATIVA	NUCLI FORMATIU	HORES		QUALIF.	
		Tot	Parc	RA	Pond.
UF1 Anàlisi d'elements per a motlles i models de fosa.	NF1 Selecció de motlles i models de fosa	33	18	1	55%
	NF2 Selecció de materials per a motlles i models		15	2	45%
UF2: Disseny de motlles i models de fosa.	NF3 Disseny de motlles i models	33	13	3	40%
	NF4 Dimensionament de motlles i models		13	4	40%
	NF5 Verificació del disseny d'estris de processat		7	5	20%
UF3 Simulació procés fosa.	NF6 Disseny motlles i models i simulació procés	33	33	6	100%

Tot: Total, Parc: Parcial, Pond.: Ponderació

Ponderació dels resultats d'aprenentatge de cada nucli formatiu de les unitats formatives.

Finalment, la qualificació final de cada unitat formativa quedarà determinada per les següents fórmules:

$$Q_{UF1} = 55\% RA1 + 45\% RA2$$

$$Q_{UF2} = 40\% RA3 + 40\% RA4 + 20\% RA5$$

$$Q_{UF3} = 100\% RA6$$

8.2 Avaluació i qualificació del MP

Per tal d'aprovar el mòdul professional, caldrà superar independentment totes les unitats formatives que componen l'assignatura, i assistir al mínim de classes determinat per la normativa del centre (80%) per cada UF. La participació i l'assistència a classe seran aspectes bàsics per a l'avaluació.

L'avaluació serà per UF i al finalitzar cada una d'elles s'obtindrà una qualificació. Per superar cada unitat formativa cal obtenir un mínim de 5 en aquesta; Aquesta puntuació s'obtindrà a partir de la ponderació dels diferents ítems a avaluar (proves escrites, actitud, treballs de classe, pràctiques...) els quals explicarà el professor al grup classe. Per tal que un ítem sigui ponderable ha d'arribar com a mínim a un 4.

En el cas que un o varis ítems quedin per sota de la nota mínima, el professor establirà la manera més adequada de recuperació d'aquest. Si no s'obté el valor mínim per superar la UF els alumnes podran presentar-se a la recuperació extraordinària que es durà a terme la primera quinzena de juny.

Per obtenir la qualificació final del mòdul professional (Q_{MP}) es realitzarà la ponderació de les diferents unitats formatives en funció de les hores dedicades:

$$Q_{MP4} = 0,333 Q_{UF1} + 0,333 Q_{UF2} + 0,334 Q_{UF3}$$

8.3 Avaluació de la nova metodologia

Pel que fa a l'avaluació de la incorporació del nou recurs pedagògic al currículum del mòdul professional, aquesta avaluació es realitzarà des de dues vessants.

D'una banda, es realitzarà una comparativa directe dels resultats d'aprenentatge obtinguts pels alumnes a les dues primeres unitats formatives, amb l'ajuda del simulador, respecte de les dades estadístiques de que disposa el centre dels alumnes de cursos anteriors. Aquesta comparació és un clar indicador de la seva possible efectivitat, ja d'aquesta forma estem comparant un continguts, uns resultats d'aprenentatge i un criteris d'avaluació idèntics als realitzats en cursos anteriors. L'única diferència existent serà l'ús del simulador com a recurs pedagògic, la resta és tot igual. Aquesta comparativa, ens permetrà determinar el seu grau d'efectivitat pel que respecte a cursos anteriors.

Realitzant l'anàlisi d'aquesta forma no podem determinar grau d'assoliment de cada alumne gràcies a la simulació. L'UF de nova creació (UF3 Simulació procés fosa) proposada en aquest TFM és una UF que complementa a les altres dues mitjançant la simulació. En aquesta UF es tornen a repassar tots els continguts donats prèviament a les dues anteriors, però utilitzant únicament el simulador .

Per tal de determinar el grau d'assoliment dels resultats d'aprenentatge, per part dels alumnes, de les dues primeres UF mitjançant la simulació, al finalitzar l'UF3 es realitzarà una prova similar a les que es varen realitzar al finalitzar cada UF anterior i es compararan els resultats per tals d'extreure'n conclusions. Aquesta prova la realitzarà tots els alumnes, tant els aprovats com els suspesos. En ambdós casos es conservarà la nota més favorable a l'alumne. Pels

alumnes que hagin aprovat les UF, aquesta serà una opció per tal de millorar nota, mentre que pels alumnes suspesos, aquesta esdevindrà una opció de recuperar les unitats formatives suspeses. La informació obtinguda ens permetrà determinar el grau d'assoliment abans i després de la incorporació la simulació com a eina de treball, més enllà d'un simple recurs didàctic.

“Les dades sobre l'assoliment acadèmic dels estudiants poden indicar el potencial que tenen els programes de simulació per ordinador, especialment per als estudiants amb baixes habilitats de raonament, per tenir èxit en conceptes i principis d'aprenentatge en ciències que requereixen de coneixements cognitius elevats.” (Huppert, Lomask i Lazarowitz 2002)

8.4 Problemàtiques i possibles solucions

Les problemàtiques, i les possibles solucions a aquestes, que ens podem trobar desenvolupant el present treball són moltes i variades en la seva tipologia. Caldrà estar atent en la fase de desenvolupament per tal de poder-se anticipar al mínim indici al respecte, amb la finalitat de solucionar el problema o minimitzar-lo en la mesura de lo possible.

El tipus de problemes que ens podem trobar poden ser tant econòmics, com tecnològics, com de metodologia o, d'altres indeterminats en aquest moment.

Respecte als problemes econòmics, ens podem trobar a la tria final del programari de simulació que cap de les opcions contemplades encaixen amb els escassos recursos econòmics disponibles per part del departament, a l'actualitat. En cas de donar-se aquesta situació, es tornarà al punt 5 (Anàlisi d'alternatives) per tal de triar les següents millors opcions per tal de contactar, de nou, amb els respectius equips comercials. Aquesta acció es repetirà fins a aconseguir un preu que encaixi amb la disponibilitat econòmica del departament o esgotar els simuladors analitzats en aquest estudi. En tal cas, s'hauria de continuar la recerca per tal de trobar altres simuladors existents al mercat i realitzar de nou un estudi de les seves característiques. Tots aquests problemes comportarien un endarreriment en la seva aplicació i podrien, fins i tot, ajornar la seva implementació, ja en un altre curs acadèmic.

Pel que fa als problemes tecnològics, aquests estan estretament relacionats al tipus de programari que finalment s'acabi escollint i poden ser problemes com ara la capacitat insuficient del maquinari que ha d'hostatjar el programari de simulació, dificultat en la utilització de la interfície d'usuari, temps de simulació molt llargs, complexitat en l'entrada/sortida de dades, etc. La totalitat d'aquests problemes, exceptuant la capacitat del “hardware” serà contemplada i tinguda en compte a la fase de demostració, en directe, del simulador que duren a terme els equips comercials. Serà llavors que es valoraran tots aquests possibles inconvenients, per tal d'evitar-los, ja que aquests també seran un factor clau a l'elecció final del programa informàtic. Pel que fa a la capacitat dels equips del centre vers els requeriments del programari, aquesta característica s'haurà d'analitzar quan es conegui definitivament la tria final. En cas de que la capacitat dels equips actuals sigui insuficient, s'estudiarà la possibilitat d'adquirir equips nous que compleixin amb els requeriments del simulador finalment escollit.

En cas de detectar-se problemes amb la metodologia utilitzada o en les activitats d'ensenyament i aprenentatge dissenyades, s'analitzaran les causes i es realitzarà les corresponents modificacions i adaptacions per tal de corregir el problema. Es valoraria, fins i tot, un canvi de la metodologia i implementació de la solució o, fins i tot, un canvi del model pedagògic.

Finalment, en el cas de que el problema sigui un baix nivell acadèmic dels diferents conceptes físics, termodinàmics, etc., que intervenen en el procés de fosa, el que caldrà llavors serà realitzar activitats de reforçament i d'ampliació de tots aquells conceptes no adquirits i que, d'altre banda, són necessaris per l'assoliment de les competències i resultats d'aprenentatge d'aquest mòdul. En cas de ser casos individuals, aquests seran atesos tal com s'especifica al punt 7.4 (Atenció a la diversitat). Si per contra el problema es generalitza, llavors aquestes activitats, de reforç i d'ampliació, s'inclouran a la programació del mòdul professional del curs.

9. Conclusions

Aquest TFM s'ha desenvolupat amb la finalitat d'analitzar la conveniència i idoneïtat d'instaurar un programari de simulació de fosa, al mòdul professional de Disseny de motlles i models de fosa, del cicle formatiu de grau superior de Disseny en fabricació mecànica, i s'han pogut extreure unes conclusions dels avantatges i inconvenients que comporta l'ús de la simulació a la docència.

El procés d'emplenat del motlle i la posterior solidificació de la fosa són processos difícilment observables, en els que intervenen aspectes físics com la mecànica de fluids, la termodinàmica, la transferència de calor, etc. Aquests aspectes són abstractes, de difícil assimilació i que requereixen d'altres capacitats cognitives. Els programes de simulació són especialment eficaços, precisament, en la visualització d'aquells d'objectes i processos que estan fora de la percepció o són poc observables. El simulador de fosa representa de forma ideal, dinàmica i visual els diferents fenòmens físics que es produeixen en el procés, permetent la visualització, classificació i interpretació de resultats de forma acurada. Això comportarà una major assimilació dels diferents continguts i resultats d'aprenentatge, per part dels alumnes.

La possibilitat de modificar els paràmetres, regular i controlar la velocitat o el temps, la seva repetibilitat, etc., permeten una major i més acurada observació dels diferents fenòmens físics implicats, que s'hi duen a terme durant el procés, i possibiliten al professor poder-se centrar de forma més concreta en cadascun d'ells. Aquest esdevindrà un recurs molt valuós per mostrar els diferents fenòmens físics que es produeixen durant el procés i d'aquesta forma promoure l'adquisició de continguts específics i millorar els resultats d'aprenentatge. El disseny experimental, la repetibilitat, la modificació de paràmetres, etc., permeten als alumnes estudiar i analitzar situacions hipotètiques i, per tant, desenvolupar habilitats de reflexió, qüestionament i raonament, és a dir, es fomenta un pensament crític.

La incorporació del simulador com a recurs didàctic i pedagògic proporciona també, la possibilitat de realitzar unes pràctiques (en el nostre cas simulades) dels diferents processos que s'hi duen a terme, l'oportunitat d'una participació interactiva amb els alumnes per mitjà de demostracions fetes amb el simulador a l'aula i una ajuda en la resolució de problemes i detecció d'errades. El simulador és un recurs d'alta qualitat que complementa els altres recursos existents utilitzats fins ara i, incorpora a l'aula un entorn d'aprenentatge nou i enriquidor per a l'alumne. Aquest, per tant, no serà el substitut de cap d'ells, si més no inicialment. La seva incorporació, repercutirà en una millora de la qualitat educativa. La simulació de fosa està cada dia més present en els processos de les empreses de fonèria. Els seus nombrosos avantatges com la detecció de defectes, millora del rendiment i de la producció, reducció de costos i de temps, increment de beneficis, entre d'altres, fan que aquesta sigui una eina cada cop més imprescindible per les empreses. Pels alumnes, per tant, el domini d'aquesta competència tecnològica esdevé imprescindible de cara a la seva futura inserció laboral.

La metodologia amb la que s'implementarà, realització d'un petit projecte interdisciplinari amb aprenentatge entre iguals, permet reduir la complexitat en la utilització del programari gràcies a l'ajuda entre companys amb diferents nivells cognitius, i al professor. El fet de treballar d'aquesta forma facilita, de forma notable, l'atenció a la diversitat dels alumnes, afavorint un aprenentatge actiu i participatiu que permet a tots el membres del grup poder avançar conjuntament. El projecte que es durà a terme té una aplicació al món real, més enllà de l'aula, creant una educació interdisciplinària amb un significat, complementaria a les lliçons magistrals i demostracions teòriques. Això comportarà, per l'alumne, un major grau d'assoliment de les competències professionals, personals i socials, i de les capacitats clau associades al títol, conjuntament amb el domini de les competències digitals i tecnològiques associades al seu ús. D'altre banda, l'equip docent podrà potenciar l'adquisició d'aquestes competències i capacitats, accelerant el procés d'aprenentatge i contribuint a elevar la qualitat de l'ensenyament.

“És important començar amb petites passes, i començar el més aviat possible, per assegurar una corba d'aprenentatge gradual i còmoda.” (Ravi 2010)

10. Bibliografia

- Arabia, S., 2018.** A COMPARATIVE STUDY OF SIMULATION SOFTWARE. A: . Vol. 17, p. 197-209.
- Bhatt, H. et al., 2014.** Design Optimization of Feeding System and Solidification Simulation for Cast Iron. A: *Procedia Technology* [en línia]. Vol. 14, p. 357-364. ISSN 22120173. DOI 10.1016/j.protcy.2014.08.046. Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2212017314000826>.
- Chang, K.E. et al., 2008.** Effects of learning support in simulation-based physics learning. A: *Computers and Education* [en línia]. Vol. 51, núm. 4, p. 1486-1498. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2008.01.007. [Consulta: 22 febrer 2018]. Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131508000365>.
- Dabade, U.A. i Bhedasgaonkar, R.C., 2013.** Casting defect analysis using design of experiments (DoE) and computer aided casting simulation technique. A: *Procedia CIRP*. p. 616-621. ISBN 9820542138. DOI 10.1016/j.procir.2013.06.042.
- De Jong, T. i Van Joolingen, W.R., 1998.** Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. A: , *Review of Educational Research*. ISSN 0034-6543. DOI 10.3102/00346543068002179.
- Gencat., 2016.** DECRET 70/2014 - CFGS Disseny fabricacio mecànica. A: . p. 1-51.
- Guo, Z. et al., 2005.** Modelling of materials properties and behaviour critical to casting simulation. A: *Materials Science and Engineering A*. Vol. 413-414, p. 465-469. ISSN 09215093. DOI 10.1016/j.msea.2005.09.036.
- Hennessy, S. et al., 2007.** Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. A: *Computers and Education*. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2006.02.004.
- Huppert, J., Lomask, S.M. i Lazarowitz, R., 2002.** Computer simulations in the high school: Students' cognitive stages, science process skills and academic achievement in microbiology. A: *International Journal of Science Education* [en línia]. Vol. 24, núm. 8, p. 803-821. ISSN 09500693. DOI 10.1080/09500690110049150. Disponible a: <http://www.tandfonline.com/loi/tsed20>.
- Psycharis, S., 2011.** The computational experiment and its effects on approach to learning and beliefs on physics. A: *Computers and Education*. Vol. 56, núm. 3, p. 547-555. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2010.09.011.
- Ravi, B., 2008a.** Casting Simulation and Optimisation: Benefits, Bottlenecks, and Best Practices. A: *Indian Foundry Journal*. núm. January, p. 1-12. ISSN 0379-5446.
- Ravi, B., 2008b.** Computer-aided Casting Method Design , Simulation and Optimization. A: *Foundry*. núm. March, p. 1-5.
- Ravi, B., 2010.** Casting Simulation – Best Practices. A: *Transactions of 58th IFC* [en línia]. p. 1-11. Disponible a: <http://efoundry.iitb.ac.in/Academy/TechnicalPapers/2010/58thIFC-Ravi.pdf>.
- Renken, M.D. i Nunez, N., 2013.** Computer simulations and clear observations do not guarantee conceptual understanding. A: *Learning and Instruction*. Vol. 23, núm. 1, p. 10-23. ISSN 09594752. DOI 10.1016/j.learninstruc.2012.08.006.
- Rutten, N., Van Joolingen, W.R. i Van Der Veen, J.T., 2012.** The learning effects of computer simulations in science education. A: *Computers and Education* [en línia]. Vol. 58, núm. 1, p. 136-153. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2011.07.017. [Consulta: 22 febrer 2018].

Disponible a: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360131511001758>.

Smetana, L.K. i Bell, R.L., 2012. Computer Simulations to Support Science Instruction and Learning: A critical review of the literature. A: *International Journal of Science Education* [en línia]. Vol. 34, núm. 9, p. 1337-1370. ISSN 0950-0693. DOI 10.1080/09500693.2011.605182. [Consulta: 22 febrer 2018]. Disponible a: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09500693.2011.605182>.

Ton de Jong, Marcia C. Linn, Z.C.Z., 2013. Physical and Virtual Laboratories in Science and Engineering Education. A: *Science AAAS*. Vol. 340, núm. April, p. 305-308. ISSN 0036-8075. DOI 10.1126/science.1230579.

Trey, L. i Khan, S., 2008. How science students can learn about unobservable phenomena using computer-based analogies. A: *Computers and Education*. Vol. 51, núm. 2, p. 519-529. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2007.05.019.

Trundle, K.C. i Bell, R.L., 2010. The use of a computer simulation to promote conceptual change: A quasi-experimental study. A: *Computers and Education*. ISSN 03601315. DOI 10.1016/j.compedu.2009.10.012.

Vijayaram, T.R. et al., 2006. Numerical simulation of casting solidification in permanent metallic molds. A: *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 178, núm. 1-3, p. 29-33. ISSN 09240136. DOI 10.1016/j.jmatprotec.2005.09.025.

Webb, M.E., 2005. Affordances of ICT in science learning: Implications for an integrated pedagogy. A: *International Journal of Science Education*. Vol. 27, núm. 6, p. 705-735. ISSN 09500693. DOI 10.1080/09500690500038520.

Wieman, C.E. et al., 2010. Teaching Physics Using PhET Simulations. A: *The Physics Teacher*. ISSN 0031-921X. DOI 10.1119/1.3361987.

Wieman, C.E., Perkins, K.K. i Adams, W.K., 2008. Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: What works, what doesn't, and why. A: *American Journal of Physics* [en línia]. Vol. 76, núm. 4, p. 393-399. ISSN 0002-9505. DOI 10.1119/1.2815365. Disponible a: <http://dx.doi.org/10.1119/1.2815365>.

11. Annexes

11.1 Simuladors del procés de fosa.

“El programari d'última generació AutoCAST, desenvolupat a IIT Bombay, ofereix una sèrie de funcions per donar suport als enginyers de mètodes, incloent la visualització de gruixos parcials, el disseny central, el disseny de motlles amb múltiples cavitats amb alimentació i captació comunes, l'aplicació de diverses ajudes (sistemes d'alimentació, refredament, distribució, etc.), la simulació de l'emplenament i la solidificació del motlle, l'optimització automàtica d'alimentadors i captadors impulsada pel nivell de qualitat desitjat i l'anàlisi de costos “que sí?”. Les millores en la interfície gràfica d'usuari i el maquinari han fet que el programari sigui extremadament fàcil d'usar i ràpid: els enginyers de fosa poden aprendre'l en un dia i la majoria de les foses es poden simular en una hora. El suport local assegura la integració exitosa de la tecnologia en les pràctiques actuals d'una foneria.” (Ravi 2008b) Aquest, utilitza algorismes intel·ligents per corregir automàticament els errors de mallat. (Ravi 2010)

“AutoCAST: pot simular només la fosa per gravetat, la fosa d'inversió, la fosa de carcassa i la fosa de sorra. (...) És un programari de gamma baixa que té un ús i uns resultats limitats, no obstant, alguns avantatges clau d'aquest paquet de simulació inclouen càlculs d'emplenat de motlle i solidificació de fosa combinat amb mínim d'entrades d'usuari, menor taxa de rebuig, assegurament de la qualitat, millora del rendiment i un termini de lliurament més ràpid.

(...) CAPCAST: es basa en la tecnologia FEM. CAPCAST també disposa d'un generador de malles automàtic i robust, conegut com KENT. Crea un model d'elements finits multi component a partir de fitxers STL¹¹. Es pot importar un model sòlid de fosa que normalment es desenvolupa a la majoria de les foneries. A continuació, es poden incorporar tots els components necessaris del motlle i es poden modelar totes les interaccions tèrmiques. El trencament automàtic de la malla estalvia la configuració de la simulació i el temps de computació. Per obtenir una precisió millorada, els components del motlle propers a la fosa es discretitzen d'una manera similar a la de fosa, és a dir, amb una malla fina, mentre que la resta del domini es discretitza amb una mida de malla raonable. (...) CAPCAST i CastCAE simulen processos gairebé similars amb la capacitat addicional de CAPCAST de simular la fosa exprimida. (...) S'al·lega que és més precís en la modelització de qualsevol procés de fosa amb requisits de càlcul mínims. El programari és capaç de simular geometries complexes de motlles en instal·lacions computacionals modestes. A causa del temps de resposta ràpid de les simulacions, és possible intentar i assolir un disseny de fosa gairebé perfecte en un temps mínim. No obstant això, cal tenir en compte que les capacitats d'optimització d'aquest programari no es poden comparar amb l'optimització autònoma.

(...) CastCAE: també utilitza el Mètode de Volum Finit (FVM) i genera una malla rectangular que proporciona resultats fiables fins i tot amb les malles irregulars. (...) Simula processos gairebé similars a CAPCAST. (...) Segons informen els usuaris de CastCAE, alguns avantatges d'utilitzar aquest paquet de simulació són un estalvi energètic de fins a un 6%, millores en la qualitat del producte, menys re-fundent i re-acabat, producció màxima amb temps de lliurament mínims, reducció de malbaratament i de pes de fins a un 84% i un 5%, respectivament.

(...) Flow-3D Cast: és precís en l'enregistrament del seguiment de la progressió del front de flux juntament amb l'estimació del perfil de temperatura i les ubicacions de possibles defectes durant el procés d'emplenat. Disposava de models especials per a la simulació d'un procés d'escuma perduda. Es poden localitzar defectes com plec i altres, associats amb escuma atrapada. Per al procés de fosa centrífuga, Flow-3D Cast disposa d'un model de marc de referència no lineal que defineix la rotació i també és capaç d'ajustar la velocitat. Un procés de fosa d'inversió es pot modelar completament mitjançant models numèrics. La injecció de cera, l'emplenat metàl·lic, la solidificació de la massa fosa i la predicció precisa dels defectes es

¹¹ Llenguatge de Triangle Estàndard (Standard Triangle Language)

poden analitzar de manera ràpida i senzilla. (...) Es basa en el Mètode de Diferència Finita (FDM). FLOW-3D Cast transmet la progressió del front del flux a través de la tècnica de Fluids de Volum (VOF) i els models de peces complexes amb la tècnica d'Àrea Fraccional / Rati de Volum (FAVOR). Les xarxes rectangulars estructurades senzilles són fàcils de generar i ofereixen diverses funcions, com ara la precisió del flux de superfície lliure millorada, menys consum de memòria i aproximacions numèriques raonables. No obstant, una limitació a les xarxes rectangulars és l'artefacte d'escales introduït artificialment al llarg dels límits inclinats i corbs. A més, la tècnica de VOF per modelar les superfícies lliures dona com a resultat una difusió artificial i problemes de conservació de massa en aquestes regions. La malla i la geometria són independents el que simplifica el procés de mallat juntament amb un estalvi de temps de pre-processament de la simulació. Aquest enfocament també proporciona la flexibilitat de provar diferents dissenys sense canviar la malla, cosa que fa que sigui més fàcil per als seus usuaris.

(...) Flow-3D Cast té una base de dades limitada per a alumini, acer, zinc, magnesi i ferro, no obstant, ofereix propietats de materials de JMATPRO a un cost molt nominal. (...) Està disponible en tres paquets diferents: Bàsic, Ampli i Avançat. Les capacitats bàsiques del paquet inclouen, sense limitació, mallat multi bloc, cobertes de cullerots amb rotació sobre un eix, emplenat tenint en compte els efectes viscosos, de turbulència i de tensió superficial, solidificació i transferència de calor, base de dades completa per materials de motlle i de fosa, refredaments i mànigues d'aïllament, identificació de formació d'òxid i defectes, porositat relacionada amb l'emplenat i la solidificació, modelització de partícules, etc. La versió ampliada del programari té totes les característiques Bàsiques, juntament amb blocs de malla il·limitats per a la millora de la precisió, efectes dels gasos atrapats i de ventilació, l'optimització del rendiment de la mànega de tir, fosa d'escuma perduda i defectes d'escuma, predicció de cavitació per determinar l'erosió del motlle/matriu, model de motlle permeable, sis graus de llibertat per definir el moviment de la mànega de tir i el moviment de vessament de cullera. A més de les funcions Bàsiques i Ampliades, la versió Avançada també inclou la segregació binària, l'alliberament de gasos bàsics i els defectes associats, el bufat de sorra, els efectes viscosos millorats, incloent la viscositat no-newtoniana, l'aclariment/espessiment de cisallament i els fluxos tixotròpics, i les distorsions i tensions induïdes tèrmicament i mecànicament.

(...) MAGMASoft: prediu la qualitat de la fosa simulant l'emplenat, la solidificació i el refredament del motlle, l'estrès/tensions, la formació de microestructures i la distribució de propietats. La simulació de qualsevol procés de fosa es basa en una estructura modular que inclou totes les funcionalitats requerides per a una simulació completa del procés de fosa. Hi ha disponible una interfície gràfica d'usuari comú per a tots els mòduls. Un d'aquests mòduls és MAGMAfill que proporciona informació sobre el flux i el patró d'emplenat a la cavitat, juntament amb el flux de calor tant en motlles com en matrius. De la mateixa manera, MAGMAsolid es dedica a la solidificació i el refredament de fosa. Es tenen en compte contraccions líquides i sòlides per mostrar l'alimentació de fosa i la formació de porositats. El mode de procés de fosa en el programari permet modelar processos de fosa cíclics en motlles permanents. De manera semblant a ProCAST, MAGMASoft ofereix tota la flexibilitat d'investigar l'efecte dels dissenys de fosa i els paràmetres de procés en els processos de fosa de sorra. A més, el post-processament de MAGMASoft permet als seus usuaris visualitzar i avaluar els resultats de les etapes d'emplenat, solidificació i post-solidificació durant qualsevol procés de fosa. (...) Basat en FDM, resol la transferència de calor i massa en una reixa rectangular que es reflecteix en els cubs rectangulars del costat exterior del model. A més del comportament d'emplenat del motlle/matriu, també proporciona informació sobre funcions relacionades amb la fosa, com ara la solidificació prematura, aire atrapat, la distribució de la velocitat i l'eficàcia del sistema de captació i distribució.

(...) També proporciona els materials de motlle i nucli més comunament utilitzats. A més, disposa d'un sistema de base de dades obert que permet introduir altres propietats d'aliatge a la base de dades. (...) És un programari de gamma alta. Ha dedicat mòduls per a cada material de fosa com MAGMAiron, MAGMAsteel i MAGMAnonferrous. MAGMAiron utilitza models de creixement cinètic microscòpic per predir la seqüència de solidificació dels aliatges de ferro fos. També pot predir la microestructura final i, per tant, les propietats mecàniques dels productes del ferro colat. MAGMAsteel calcula velocitats i pressions tant en el metall líquid com a les zones toves a causa de la convecció natural i tèrmica. Les velocitats es combinen amb un model avançat de micro segregació a escala dendrítica per fer un seguiment de la redistribució

dels elements de l'aliatge i predir la macro segregació. MAGMA nonferrous també utilitza els models de creixement cinètic per determinar el desenvolupament de la microestructura durant la solidificació dels aliatges d'alumini amb una consideració detallada de la química, la metal·lúrgia i el processament de l'aliatge. MAGMAsoft també proporciona mòduls addicionals basats en processos com MAGMAhpc i MAGMAipdc per a peces de fosa d'alta i baixa pressió, respectivament, MAGMAcore+mold i MAGMAdielife. D'altra banda, MAGMA HT thermal i MAGMAstress s'utilitzen per al tractament tèrmic i tensions del component després de l'expulsió. A més de tots aquests mòduls, MAGMAsoft ofereix l'oportunitat d'intercanviar resultats de simulacions de fosa als paquets d'elements finits a través de MAGMALink per avaluar el rendiment mecànic i la vida útil dels productes fets.

(...) *Nova-Solid/Flow*: simula el flux i la solidificació durant un procés de fosa. Similar a altres programaris, proporciona un procés de fosa molt més ecològica per l'augment del rendiment i optimització dels processos de fosa. Els processos que es poden simular inclouen la fosa de sorra per gravetat, motlle permanent per gravetat, fosa a baixa pressió, fosa a alta pressió, mètode de cera perduda, vessament inclinable, fosa per gravetat, fosa centrífuga i fosa d'escuma perduda. (...) Utilitza l'enfocament FVM per resoldre un problema de fosa. Nova-Solid/Flow té un control sobre elements de malla a les vores de la fosa. Amb els elements cúbics de dins i les cel·les de la vora del límit de fosa, les simulacions són molt més ràpides i precises. L'FVM s'utilitza a totes les simulacions d'emplenat i solidificació. L'alçada/amplada del front de metall es calcula durant l'emplenat. A més, proporciona l'emplenat de la fracció necessària d'una cel·la en comptes d'omplir cel·la per cel·la tal com s'observa al FDM. (...) Disposa d'un sistema de base de dades obert que permet introduir altres propietats d'aliatge a la base de dades. (...) Ve amb mallat múltiple que utilitza malles diferents durant l'emplenat i després a la solidificació. Una característica interessant d'aquest programa informàtic és el Good Guy's Index, que calcula els aspectes tècnics i ambientals d'una fosa comparant diferents simulacions i assignant un marcador. Pot proporcionar valors mitjans per l'austenita, grafit i cementita per a ferros colats. Es pot generar una malla irregular dels motlles tenint en compte la finor de la malla a les regions crítiques. El càlcul de l'estrès es fa basat en la tasca de contacte complert. El programari també és capaç d'optimitzar els paràmetres per obtenir peces de fosa d'alta qualitat sense defectes.

(...) *ProCAST*: disposa del solucionador QuikCAST que és una solució ràpida i eficient per tractar els fonaments de qualsevol procés de fosa. Per a la fosa a pressió d'alta i baixa pressió, es poden reproduir les condicions de fàbrica realitzant diversos cicles de producció que permeten estudiar l'emplenat, solidificació, l'efecte d'intensificació de pressió, disseny del canal de refrigeració i paràmetres de procés. Es pot simular la fosa per gravetat conjuntament amb el procés de vessament inclinat (definint l'eix i la velocitat de rotació). Pel que fa als processos de fosa d'inversió i d'emmotllament, ProCAST és capaç de generar un mallat que reflecteixi un motlle de closca. A més, permet barrejar espessors no uniformes i crear capes de closca múltiples. També es té en compte la radiació amb factors de visió, un aspecte crític que cal tenir en compte per als aliatges d'alta temperatura. Pel que fa als processos de fosa de sorra, ofereix plena flexibilitat per estudiar els efectes del disseny del sistema de captació i alimentació, filtres, refredaments, mànigues exotèrmiques en el processament i qualitat dels productes de fosa. Les prediccions de porositat són molt més realistes a causa de la microestructura tèrmica acoblada i els càlculs de la porositat, incloent la inoculació, on el solucionador de microestructura calcula el creixement de les diferents fases i prediu les variacions en la densitat local.

(...) Es basa en la tecnologia de Mètodes d'Elements Finitos (FEM). Disposa d'un generador de malla que crea una malla estructurada de blocs per a simulacions d'emplenat i solidificació. Una altra característica important del programari és l'opció de malla en capes que genera malles coincidents i no coincidents, resultant en una major precisió dels resultats. Els assemblatges de malles de superfície i les operacions booleanes també es poden realitzar. (...) El mòdul d'estructura de gra està basat en la tècnica de l'Element Finit d'Automatització Cel·lular (CAFE). (...) També proporciona els materials de motlle i nucli més comunament utilitzats. A més, disposa d'un sistema de base de dades obert que permet introduir altres propietats d'aliatge a la base de dades. (...) És capaç de realitzar anàlisis avançades que afecten directament les propietats finals dels productes fets. Una d'aquestes anàlisis avançades és el càlcul dels tipus i la fracció de volum de les fases presents, la mida del gra i la forma, que determina les

propietats mecàniques d'un producte de fosa. A més, utilitza diagrames de Transformació-Temperatura-Temps (TTT) i Transformació de Refrigeració Continua (CCT) per simular la transformació de fase d'estat sòlid i les propietats mecàniques resultants durant el tractament tèrmic. La macro segregació també es pot calcular mitjançant el solucionador de microestructura. A diferència d'altres paquets de simulació que limiten les prediccions de la porositat a la contracció de la porositat, ProCAST pot modelar la contracció i la porositat del gas. També es proporciona un model de segregació de gas que tracta adequadament el límit de solubilitat i la nucleació del porus.

(...) **SOLIDCast**: és capaç de simular fosa a baixa pressió, fosa per gravetat, fosa d'inversions i fosa de sorra. La precisió de les simulacions de fosa de sorra es millora mitjançant càlculs tèrmics i volumètrics combinats. Les carcasses en la fosa d'inversió es creen de forma automàtica i l'anàlisi de factors de visualització de radiació automàtica proporciona uns resultats de simulació precisos. Per a la simulació permanent de motlles/matrius, la precisió i la velocitat es milloren mitjançant un automatisme cíclic. (...) Està basa en FDM. Disposa d'un mòdul complementari FLOWCast que és un solucionador computacional de dinàmica de fluids basat en l'equació de Navier-Stokes per al flux de fluids. Usant FLOWCast, la velocitat i pressió del fluid, i la temperatura progressiva es poden veure des de qualsevol angle desitjat durant l'emplenat del motlle. Els models i les malles generades a SOLIDCast són compatibles amb FLOWCast. La simulació comença amb la modelització del disseny de fosa a SOLIDCast i es realitza el mallat, executant posteriorment FLOWCast per simular l'emplenat del motlle i, els resultats de FLOWCast s'utilitzen a SOLIDCast per modelar el comportament de solidificació de la fosa. (...) SOLIDCast no proporciona cap informació sobre defectes tèrmics a la fosa. (...) disposa d'un sistema de base de dades obert que permet introduir altres propietats d'aliatge a la base de dades. (...) Utilitza càlculs tèrmics/volumètrics combinats, incloent l'expansió de grafit en ferro fos, que proporciona prediccions superiors per a l'alimentació de contracció. Les funcions incorporades de disseny de captació i distribució agafen els resultats d'un model aproximat i ajuden a l'usuari a dissenyar un sistema eficaç. Les llicències locals i el baix cost permeten que tots els estudiants i enginyers puguin directament aprofitar la tecnologia de simulació, tot obtenint resultats precisos. Els desenvolupadors tècnics principals de Finite Solutions Inc. disposen d'experiència en foneria que ajuda a guiar el desenvolupament del sistema, d'una manera molt pràctica i orientada als resultats. En resum, el paquet de simulació és ràpid, econòmic i precís." (Arabia 2018)

MAVIS-Flow: és un programa informàtic per a la simulació de l'emplenat del motlle i solidificació d'aliatges de fosa. Inclou un potent modelador de sòlids de fàcil maneig per generar formes i mètodes de fosa. Els models sòlids contenen elements en forma de cub que defineixen amb precisió la forma geomètrica de la fosa, refredaments i aïllants, que es troben dins del motlle/matriu. Els menús intuïtius orientats a ratolins i els gràfics lògics a la pantalla, s'utilitzen per a la majoria d'ordres de modelatge i permeten completar el procés de modelatge amb rapidesa i precisió. La facilitat d'ús i l'atenció al detall són les principals característiques del programari. Les matrius i els patrons d'impressions múltiples es poden generar fàcilment amb la característica avançada d'importació, de manera que qualsevol quantitat de geometries de fosa es poden posar al motlle simultàniament, de manera exacta. La característica d'importació també es pot utilitzar per localitzar alimentadors estàndard, aïllants i refredaments dins del motlle.

Pot importar models de superfície de la majoria de sistemes 3D CAD/CAM¹² utilitzant el format d'arxiu d'estereolitografia (ASCII¹³ STL) que permet la integració completa dels sistemes de fabricació i producció. La nova interfície de muntatge STL permet el mallat i el muntatge de múltiples fitxers STL per produir automàticament una geometria complexa de fosa. Els models sòlids per a la simulació de solidificació són automàticament mallats mitjançant el traductor STL de fitxers ASCII STL. El programari opcional Solid View Pro es pot utilitzar per convertir les dades de IGES¹⁴/VDA¹⁵ CAD en format ASCII STL per a la importació directa al programari de mallat MAVIS.

¹² Fabricació Assistida per Ordinador (Computer-Aided Manufacturing)

¹³ Codi Estàndard Americà per a l'Intercanvi d'Informació (American Standard Code for Information Interchange)

¹⁴ Especificacions Inicials d'Intercanvi de Gràfics (Initial Graphics Exchange Specification)

Disposa d'un conjunt de post-processadors que simplifiquen el procediment d'anàlisi. Les trames de contorn codificades amb color es poden mostrar en seccions 2D o 3D. En el cas de les simulacions FDM, l'escala inclou informació sobre temps de refredament, temperatures de fosa, temperatures de motlles, coeficients de Niyama, velocitats de refredament, gradients de temperatura, distàncies de braços de dendrites o temps de refredament local. Les prediccions de contracció es poden veure en vistes ortogonals en 2D o 3D amb el processador de raigs X. Alternativament, la contracció es pot veure en una sèrie de seccions 2D per la fosa. Les temperatures de matrius i motlles es poden assignar a la superfície del component de fosa en 3D mostrant àrees aïllades de punts calents a les superfícies de les matrius. L'estimador de pes MAVIS pot calcular amb precisió els pesos de tots els materials continguts en el model de malla. Les dades de sortida es poden utilitzar després en els procediments de costos de producció per assegurar una gestió competitiva. Es poden calcular: el pes de les foses, els mètodes, els motlles, els nuclis, les carcasses, les matrius, els refredaments i els aïllants.

També compta amb simuladors de solidificació ràpida capaços d'analitzar formes complexes de fosa en qüestió de minuts, cosa que permet gestionar el temps més efectivament. El simulador, pot predir l'ordre macroscòpic del refredament, la ubicació dels defectes de macro contracció o les últimes regions per refredar-se de la fosa. L'usuari pot configurar paràmetres com el % de contracció de l'aliatge a simular, conductivitat del motlle, aïllants i refredaments. Durant la simulació, la contracció s'implementa simultàniament amb la solidificació, i les regions límit d'alimentació de metall s'identifiquen automàticament. Per a la fosa a pressió, el simulador DIANA prediu les temperatures relatives a la cara de la matriu adjacent a la fosa per a un sistema de refrigeració en particular. Aquestes temperatures s'utilitzen per predir la solidificació de la fosa i les últimes regions a refredar-se. Aquest tipus d'anàlisi permet una ràpida exploració del rendiment dels sistemes de refrigeració en una matriu i la influència a la qualitat de la fosa.

Disposa d'un simulador numèric complet de Diferència Finita per predir informació detallada sobre la solidificació de les peces de fosa. Els temps de simulació són més llargs que els requerits per a una anàlisi ràpida, no obstant, es pot predir més informació sobre el comportament de la fosa durant la solidificació. Això inclou: els temps de solidificació, la formació de contraccions, la distribució de temperatures a la matriu en estat estacionari mitjà, les temperatures del motlle, els coeficients Niyama, les ratis de refredament, les corbes de temps-temperatura i la distància del braç dendrita. La distribució de temperatures de matriu en estat estacionari mitjà permet, als dissenyadors de matrius, comparar la influència de diferents sistemes de refrigeració i els perfils de matriu en la qualitat i el temps solidificació del component de fosa. El programari es subministra amb una àmplia base de dades de propietats de materials que inclou molts dels aliatges típics de fosa i materials de motlle/matrius.

<http://www.alphacast-software.co.uk>

¹⁵ Arquitectura Impulsada per Venedors (Vendor Driven Architecture)

11.2 Llistat d'abreviatures

AACC	Altes Capacitats intel·lectuals
AMFE	Anàlisi Modal d'Errades i Efectes (Anàlisi Modal de Fallos i Efectos)
ASCII	Codi Estàndard Americà per a l'Intercanvi Informació (American Standard Code for Information Interchange)
BAT	Batxillerat
BEM	Mètode d'Elements Límit (Boundary Element Method)
C	Continguts
CA	Criteris d'Avaluació
CAD	Disseny Assistit per Ordinador (Computer-Aided Design)
CAE	Enginyeria Assistida per Ordinador (Computer-Aided Engineering)
CAFE	Element Finit d'Automatització Cel·lular (Cellular Automation Finite Element)
CAL	Aprenentatge Assistit per Ordinador (Computer-Aided Learning)
CAM	Mètode d'Automatització Cel·lular (Cellular Automation Method)
CAM	Fabricació Assistida per Ordinador (Computer-Aided Manufacturing)
CAS	Curs d'Accés als cicles formatius de grau Superior
CCT	"diagrama" Transformació Refrigeració Contínua (Continuous Cooling Transformation)
CF	Cicle Formatiu
CFGM	Cicle Formatiu de Grau Mitjà
CFGS	Cicle Formatiu de Grau Superior
CINE	Classificació Internacional Normalitzada de l'Educació
CQPC	Catàleg de Qualificacions Professionals de Catalunya
DOGC	Diari Oficial de la Generalitat de Catalunya
E/A	"activitats" Ensenyament i Aprenentatge
EIE	Empresa i Iniciativa Emprenedora
ESO	Ensenyament Secundari Obligatori
FAVOR	"tècnica" Àrea Fraccional/Rati Volum (Fractional Area/Volume Ratios)
FCT	Formació en Centres de Treball
FDM	Mètode de Diferència Finita (Finite Difference Method)
FEM	Mètode d'Elements Finitos (Finite Element Method)
FOL	Formació i Orientació Laboral
FVM	Mètode de Volum Finit (Finite Volume Method)
h	Hora/es
HLLD	Hores de Lliure Disposició
IGES	"arxiu" Especificacions Inicials d'Intercanvi de Gràfics (Initial Graphics Exchange Specification)
ME	Memòria Escrita
MP	Mòdul Professional
NEE	Necessitats Educatives Especials
NF	Nucli Formatiu
NTD	Proves No Destructives (Non-Destructive Testing)
PAS	Personal d'Administració i Serveis
PhET	Physics Education Technology
PI	Pla Individual
PIME	Petita i Mitjana Empresa
PIP	Pla d'Iniciació Professional
PLC	Projecte Lingüístic de Centre
PO	Presentació Oral
PP	Prova Pràctica
Q	Qüestionari
RA	Resultat d'Aprenentatge
sim	simulacions
STL	"arxiu" Llenguatge de Triangle Estàndard (Standard Triangle Language)
TFM	Treball de Fi de Màster



TIC	Tecnologies de la Informació i Comunicació
TTT	"diagrama" Transformació-Temperatura-Temps(Time-Temperature-Transformation)
UC	Unitats de Competència
UF	Unitat Formativa
VDA	Arquitectura Impulsada per Venedors (Vendor Driven Architecture)
VEM	Mètode d'Element Vector (Vector Element Method)
VOF	"tècnica" Fluids de Volum (Volume Of Fluids)

11.3 Llistat de taules i figures.

Llistat de taules:

TAULA	Pàg.
Taula 4.1.1 Qualificacions – Unitats de Competència: Relació entre les qualificacions i les unitats de competència (UC) del Catàleg de qualificacions professionals de Catalunya (CQPC) incloses en el títol. (Gencat 2016)	17
Taula 4.1.2 Mòdul Professional – Unitats Formatives: Relació entre Mòduls Professionals, hores lectives màximes i mínimes, hores de lliure disposició i Unitats Formatives.	18
Taula 4.1.3 Mòduls Professionals – Competències: Relació entre Mòduls Professionals del Cicle Formatiu i les competències professionals, personals i socials del títol.	19
Taula 4.1.4 Mòduls Professionals – Objectius generals: Relació entre Mòduls Professionals i els objectius generals del Cicle Formatiu.	20
Taula 5.1.1 Simulador – Venedor: Noms, i adreces dels venedors, dels simuladors.(Arabia 2018)	24
Taula 5.1.2 Taula característiques I: Taula comparativa entre simuladors respecte dels diferents processos de fos que simulen, mètode de solució emprada, predicció de defectes i disponibilitat de bases de dades de materials. (Arabia 2018) i http://www.alphacast-software.co.uk	30
Taula 5.1.3 Taula característiques II: Altres característiques i preus dels simuladors	34
Taula 5.1.4 Taula característiques III: Mòduls complementaris simuladors. (Arabia 2018) i http://www.alphacast-software.co.uk	36
Taula 7.2.1 Mòdul Professional – Unitats Formatives: Hores de dedicació a cada unitat formativa.	45
Taula 7.2.2 Ordre cronològic UF: Ordre cronològic d'impartició de les UF.	45
Taula 7.2.3 Relació UF – NF: Relació de nuclis formatius de cada unitat formativa amb la seva temporització.	45
Taula 7.2.4 Relació NF–C-RA-CA: Relació de nuclis formatius amb els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació	45
Taula 7.2.5 Activitats E/A: Temporització d'activitats d'ensenyament i aprenentatge, i relació amb els continguts, resultats d'aprenentatge i criteris d'avaluació.	46
Taula 8.1.1 Instruments d'avaluació: Relació ponderada dels diferents instruments d'avaluació dels resultats d'aprenentatge, dels diferents nuclis formatius.	49
Taula 8.1.2 Ponderació resultats d'aprenentatge: Ponderació dels resultats d'aprenentatge de cada nucli formatiu de les unitats formatives.	49

Llistat de figures:

FIGURA	Pàg.
Fig. 1: Diferents mòduls d'un sistema de simulació de fosa. (Ravi 2010)	23