

## PASSOS PER REALIZAR SIMULACIONS ASSISTIDES PER ORDINADOR

Fer un disseny mitjançant simulacions per ordinador (en anglès Computer Aided Engineering, CAE) va molt més enllà de saber fer anar un programa informàtic i extreure'n resultats. Per una banda, els resultats obtinguts són fruit únicament d'allò que introduïm al programa informàtic. Per tant, cal seguir un procés rigorós per garantir que els resultats són correctes i rellevants per al cas d'estudi concret. Per altra banda, realitzar simulacions amb un alt nivell de detall sol ser força costós en termes de temps i recursos computacionals. Per tant, cal ser curós i evitar incloure detalls innecessaris o realitzar un nombre massa elevat de simulacions. Per això, cal usar tot el coneixement disponible per fer el procés eficient.

La següent llista presenta uns quants passos habituals per fer un disseny per simulació correcta i eficient en molts àmbits de l'enginyeria (mecànica de fluids, resistència de materials, mecànica, termodinàmica, transferència de calor, enginyeria de materials, etc.). Cal tenir en compte que, en un projecte industrial real, una persona segurament només s'encarregui d'una part d'aquests.

1. Traslladar les especificacions inicials de disseny a valors concrets: Sovint les especificacions donades són genèriques o estan en termes que no ens permeten fer càlculs sobre el component a dissenyar o validar. Per tant, cal traduir les especificacions donades a valors que puguin servir com a valors d'entrada a l'hora de fer els càlculs. Per fer-ho, sovint cal suposar valors raonables per aquelles variables que no estan prou especificades.
2. Definir el tipus de modelització a utilitzar: Qualsevol problema d'enginyeria es pot estudiar amb diferents modelitzacions (models analítics, estadístics, d'equacions diferencials, d'elements finits, ...), de major o menor complexitat i de major o menor precisió. En general, cal triar el model més simple possible que resulti útil per al disseny plantejat. Per fer-ho, ajuda contestar les següents preguntes
  - Que es vol obtenir?
  - Quina precisió es requereix?
  - De quins recursos es disposa?
  - De quant temps es disposa?

Per tal de triar la modelització, cal tenir molt clares les assumpcions que es faran i raonar si l'error que es cometrà per causa d'aquestes és suficientment petit per a les necessitats del projecte.

3. Pre-disseny: Cal usar els coneixements dels que es disposa en la matèria d'estudi per fer un primer disseny inicial (esquemàtic, "a mà", esbós). Això comporta resoldre un problema semblant als vistos en els estudis de grau per tenir una primera estimació de les dimensions bàsiques, així com unes expectatives clares dels ordres de magnitud dels resultats esperats en la simulació
4. Primer disseny: Usant les dimensions estimades en el punt 3, és habitual fer un primer disseny assistit per ordinador (en anglès Computer Aided Design, CAD) del sistema d'estudi.

5. Preparar la simulació: Segons el model definit en el punt 2, es tria un programa CAE adequat per resoldre el problema i s'importa el disseny CAD. Si el programa de simulació CAE, no disposa de capacitat de disseny CAD, un pas habitual sol ser el d'exportar la geometria dissenyada amb l'eina CAD (e.g. CATIA, SolidWorks, PTC Creo, Autodesk inventor, ...) al programa de CAE en un format estàndard universal d'intercanvi (format STEP o IGES). D'aquesta manera es disposa d'una geometria importada en el format natiu del programa CAE. Aquesta geometria es malla, tot assegurant que aquesta tingui una qualitat suficient. Llavors s'estableixen les condicions inicials, les de contorn i els models a utilitzar. A l'hora de preparar el model cal mirar-se les instruccions del programa CAE i tenir clar com va. Entre d'altres coses, cal saber quines unitats utilitza, cap a on va la força gravetat (si és rellevant), el sistema de referència utilitzat i el significat d'obtenir valors positius o negatius.
6. Resoldre el problema: Si bé això ho fa el programa CAE, cal conèixer els models que utilitza i tenir una idea dels mètodes de resolució. Només així es podran resoldre les dificultats que apareguin i es podrà assegurar que el programa calcula allò que realment es vol.
7. Comprovar la convergència de la solució: Cal mirar els residus i l'estabilitat dels valors en les diferents iteracions. Si els residus no són prou baixos i/o els valors no s'estabilitzen, els resultats no són fiables.
8. Anàlisi crítica dels resultats: Cal interpretar els resultats amb cura i comparar-los amb les expectatives prèvies i preguntar-se si tenen sentit. En cas de detectar coses peculiars, s'han de mirar amb cura i assegurar-se que no s'ha fet cap error a l'hora d'entrar les dades.
9. Convergència amb la malla: Cal comprovar que la malla sigui suficientment fina per obtenir un error menor que el mínim desitjat. Cal tenir en compte també el temps de càlcul i tenir clar que la malla més fina no sempre és la millor. Per triar la malla, s'estima l'error de cada malla i es tria la més gruixuda que presenta un error suficientment petit. Per tal de estimar l'error de la malla, cal fer una simulació de referència amb una malla més fina i comparar els resultats.
10. Valorar el disseny: Un cop s'està segur de que els resultats són vàlids, es valora el disseny per mirar si compleix els requeriments establerts inicialment.
11. Millora del disseny: El disseny és un procés iteratiu. Si el disseny no compleix els requeriments, cal modificar-lo. Per ser eficients, cal usar tot el coneixement disponible per proposar modificacions que aportin millores. Dissenyar a base de la metodologia de prova i error acostuma a ser molt lent, donar resultats poc òptims o no sempre serveix per comprendre com afecten els paràmetres de disseny modificats.
12. Comprovació experimental: Abans de donar per bons els resultats, cal validar-los. Per fer-ho el millor mètode és sempre fer-ho experimentalment, que sol ser costos en temps i recursos. Només quan no es pot fer així es considerarà mirar resultats disponibles a la literatura com a valors de referència. Cal tenir en compte que, si bé en la majoria de cursos no es podrà fer, convé tenir clar que, a nivell de casos industrials reals de productes, s'hauria de fer així.
13. Informe i conclusions: Un cop s'està segur del resultat de disseny, cal fer un informe que expliqui el disseny i el justifiqui, tot remarcant les conclusions que es poden extreure un cop realitzat tot el treball fet amb les simulacions tipus CAE.



---

Professorat involucrat en el desenvolupament d'aquest document

Pau Català, professor assignatura Dinàmica del Vehicle.

Pau Clussella, professor d'Elements Finitos i Volums finits a l'Enginyeria.

J.J. de Felipe, professor de Disseny Tèrmic i Enginyeria Tèrmica

Francesco Greco, professor de Càlculs Estructurals de Vehicles.

Francesc Pérez Ràfols, professor de Mecànica de Fluids.

M<sup>a</sup> Dolors Riera, professora de d'Enginyeria Assistida per Ordinador (CAE) i de Teoria del Procés i Transformació de Materials.

Marc Soler, professor d'Enginyeria Assistida per Ordinador (CAE).

Jordi Torrelles, professor de Resistència de Materials.

Jordi Vives, professor de Fluidodinàmica.