

¿QUÈ ÉS LA REOLOGÍA?

ELS MATERIALS VISCOELÀSTICS

Manel Dolz Planas
Professor Sènior-UVEG

Definició i perspectiva històrica

La paraula Reologia, que etimològicament significa estudi del flux (del grec reos: fluir i logos: tractat, ciència) va ser proposada per Eugene Cook Bingham, professor de química de l'Lafayette College (Easton, PA, USA) per definir aquella branca de la física l'objectiu del qual és el coneixement fonamental i pràctic de la deformació o flux de la matèria. Tant la paraula Reologia com la seva definició van ser acceptades en la reunió fundacional de la Societat de Reologia (USA) que va tenir lloc l'any 1929. Des d'un punt de vista formal, es considera que aquests fets constitueixen l'acta de naixement de la Reologia moderna.



Eugene Cook Bingham

En els més de vuitanta anys transcorreguts des de llavors, el seu camp d'aplicació ha arribat a ser tan divers que avui en dia s'accepta que la Reologia és una ciència interdisciplinària que té per objecte l'estudi de la deformació i / o característiques de flux de la matèria, degudes a l'acció de forces mecàniques externes.

Des d'un punt de vista històric, l'orige de la Reologia es remunta a la segona meitat del segle XVII, època en què Robert Hooke (1678) estableix els fonaments de la teoria del sòlid elàstic ideal, i Isaac Newton (1687) exposa la idea bàsica de fluid viscos ideal, introduint el concepte que actualment anomenem viscositat.



Robert Hooke



Isaac Newton

A la segona meitat del segle XIX, diversos investigadors descriuen fenòmens que no poden ser explicats fent ús de les lleis de Hooke i de Newton. Així, Wilhelm Weber (1835) treballant amb fibres de seda i Friedrich Kohlrausch (1863) utilitzant vidres, posen de manifest que, en experiències de deformació la resposta de certs materials considerats com sòlids està clarament associada a un comportament fluid.

D'altra banda, James Clerk Maxwell, en un famós article publicat el 1867, proposa un model matemàtic per a un fluid a qui li són atribuïbles propietats elàstiques. Els materials d'aquesta naturalesa es coneixen amb el nom de viscoelàstics i la Reologia està especialment vinculada a ells. És a dir, la Reologia estudia el comportament de materials viscoelàstics, els quals, durant un assaig de deformació, exhibeixen al mateix temps propietats viscloses i elàstiques.



James Clerk Maxwell

Cal esperar fins el període que abasta la segona Guerra Mundial perquè la Reologia emergeixca amb força. Això es deu al fet que molts dels materials usats durant aquells anys eren viscoelàstics, la qual cosa generava una investigació intensiva de les seves propietats reològiques. Amb l'aparició de les indústries de plàstics i fibres sintètiques, l'interès per la Reologia creix encara més. I més encara quan sorgeixen materials reològics complexos, com pastes, lubricants, cremes, suspensions, emulsions,

etc, els quals constitueixen la matèria prima de les indústries farmacèutica, cosmètica, agroalimentària, ceràmica, de pintures, de vernissos i altres. Evidentment, els materials i les indústries esmentats il·lustren la substancial rellevància de la Reologia en la vida quotidiana durant la segona meitat del segle XX.

La Reologia és una ciència interdisciplinària, desenvolupada, des de la indústria o la investigació, per matemàtics, físics, fisicoquímics, enginyers de diverses especialitats, biòlegs, etc.

Això dóna lloc a diferents mètodes i enfocaments en resoldre els problemes reològics. Així doncs, és difícil fer una classificació dins de la Reologia, però, es podrien distingir quatre branques principalment, que respondrien a les principals adreces en la investigació actual en Reologia.

Reologia fenomenològica, o macroreologia:

Describeix els fenòmens macroscòpics que ocorren durant la deformació dels materials de manera que s'ignora la naturalesa molecular de la matèria i s'aprofita el concepte de continu. A causa d'aquest enfocament, les equacions que descriuen els fenòmens observats contenen coeficients (paràmetres reològics) que han de ser determinats experimentalment.

Dins d'aquesta branca de la Reologia s'ha desenvolupat la teoria matemàtica del continu, ja que són necessàries teories que puguin explicar els complicats fenòmens que ocorren en la deformació dels cossos reals, així com formular les equacions reològiques d'estat, o equacions constitutives, de caràcter tensorial. L'enfocament d'aquests problemes és completament axiomàtic, amb el risc de considerar "cossos hipotètics" que permeten obtenir solucions matemàtiques, sense preocupar-se de l'aplicació pràctica dels resultats.

Paral·lelament, els representants de les ciències aplicades proposen un enfocament molt més pràctic, per obtenir eines senzilles i útils que puguin ser aplicades a problemes reals.

Reologia estructural o microreologia:

S'ocupa de la relació entre l'estructura microscòpica real del material i les seves propietats reològiques. En aquest sentit s'ha fet un esforç especialment intens, amb més

o menys èxit, per predir les propietats de compostos macromoleculars a partir de models matemàtics d'estructura i dinàmica de llargues cadenes de polímers.

Reometría:

S'ocupa de la determinació quantitativa de les propietats reològiques del sistema investigat de forma experimental. En Reometría s'investiguen els materials en fluxos simples, amb l'esperança que el comportament observat en situacions industrials pugui ser correlacionat amb alguna funció reomètrica fàcilment mesurable. Per això, resulta de gran importància en control de processos i control de qualitat, així com a l'hora de comprovar la utilitat de qualsevol model constitutiu proposat.

Reologia aplicada:

Tracta problemes de deformació i flux de substàncies reològiques complexes amb geometries d'interès pràctic (per exemple en enginyeria química), que han de ser estudiats utilitzant mètodes numèrics. La complexitat en el flux sorgeix normalment de la coexistència de components de cisallament i extensionals.

Comportament elàstic, viscos i viscoelàstic

Des del punt de vista reològic, la conducta més elemental correspon, d'una banda, l'anomenat comportament elàstic i, de l'altra, al comportament viscos. El comportament elàstic és característic dels sòlids, els quals es deformen sota l'acció de "petites" forces externes, de manera que aquestes deformacions s'inverteixen espontàniament quan s'eliminen les forces.

En el cas més senzill, les propietats reològiques d'aquests materials es poden descriure mitjançant la llei de Hooke, la qual estableix que la força aplicada és directament proporcional a la deformació, i independent de la velocitat a la que té lloc aquesta última. No obstant això, també hi ha materials elàstics que no obeeixen a la llei de Hooke i per tant exhibeixen una dependència no lineal entre força i deformació.

El comportament viscos és característic dels fluids. Quan se'ls aplica una força externa es deformen (flueixen) i la deformació continua mentre la força segueixi

present, cessant (sense invertir) quan la força es suprimeix. En el cas més simple, les propietats reològiques dels fluids poden descriure mitjançant la llei de Newton, la qual expressa que la força aplicada és directament proporcional a la velocitat de deformació.

No obstant això, també hi ha fluids viscosos que no obeeixen a la llei de Newton i que per tant, exhibeixen una dependència no lineal entre la força i la velocitat de deformació. Aquest tipus de fluids es coneixen amb el nom de fluids no newtonians.

Entre el comportament elàstic i el viscos hi ha una infinitat de comportaments intermedis. L'exemple més simple és el dels materials caracteritzats per una força llindar. Sempre que la força aplicada es trobe per sota de cert límit, el material es deforma com un sòlid elàstic. Si la força aplicada excedeix el valor llindar, el material es comporta com un fluid viscos (per exemple un tub de pasta de dents, sols flueix la pasta si apreteu amb certa força). El cas més important per a la Reologia moderna és el relatiu a materials complexos que exhibeixen propietats elàstiques i viscoses simultàniament: són les anomenades substàncies viscoelàstiques (és a dir, sòlids elàstics que durant la deformació exhibeixen certs aspectes viscosos) o fluids elàstic-viscosos (és a dir, fluids viscosos que presenten certs comportaments elàstics). Assenyalem, però, que no hi ha una distinció clara entre aquestes dues classes de materials i que la terminologia usada tampoc és consistent.

El tipus de resposta d'un material depèn de l'escala de temps involucrada en l'experiment. Això vol dir que en dos assaigs diferents de deformació, el mateix material pot exhibir en un cas comportament viscos i en un altre elàstic. Així, el quitrà es comporta com un sòlid elàstic si és copejat, però flueix si l'abandona a la seva sort sobre un pendent. Anàlogament, una bola de silicona rebotja quan xoca contra una superfície dura, però flueix si es deforma lentament. En general quan més ràpida siga la deformació més propera estarà la resposta d'una de tipus elàstic, i quan més lenta siga la primera, més propera estarà la segona d'una de tipus viscos. Per descomptat, els termes "ràpida" i "lenta" només tenen sentit si el temps de resposta es compara amb algun temps característic del material.



Markus Reiner

D'acord amb Markus Reiner [Reiner, 1964], la naturalesa de la resposta d'un material depèn del quocient entre el temps de relaxació i el temps d'experimentació. Aquest quocient s'anomena nombre de Débora (De) i es defineix com:

$$De = \text{temps de relaxació} / \text{temps d'experimentació}$$

Ja que Débora era una profetessa de l'Antic Testament que cantava:

Senyor, a la teva sortida de Seïr,

quan caminaves pels camps d'Edom,

tremolaven el cel i les terres

i els núvols destil·laren aigua.

Les muntanyes, fins i tot el Sinaí, van fluir

davant el Senyor, Déu d'Israel

El temps de relaxació per a l'aigua en estat líquid és típicament de 10^{-22} s, mentre que per a certs olis lubricants és de l'ordre de 10^{-6} s. Per polímers a les temperatures habituals del processament de plàstics val uns pocs segons. Però per materials sòlids assoleix valors extraordinàriament grans. Per tot això, es considera que per a un sòlid elàstic ideal el temps de relaxació és infinit i zero per a un fluid viscos newtonià. Per tant, quan nombre de Débora (De) siga molt gran, el material es comportarà com un sòlid i posseirà propietats elàstiques; quan De siga molt petit, fluirà com un líquid. És a dir, no té sentit parlar d'un sòlid o d'un líquid en si mateixos, ja que el nombre de Débora es defineix com un quocient de temps.

Una muntanya no flueix en l'escala de temps humana (en la qual és sòlida) però sí flueix en l'escala de temps de Déu.