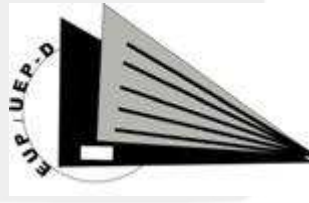
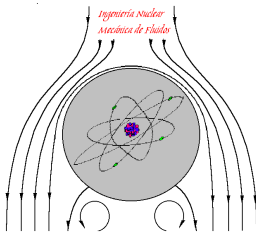


eman ta zabal zazu

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak.



Gorka Alberro Eguilegor
Joseba Aranburu Aierbe
Ganix Esnaola Aldanondo
Maddi Garmendia Antín
Estibalitz Goikoetxea Miranda

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

SARRERA

Fluidoaren zinematika fluidoaren mekanikaren parte bat da, zeinean fluidoaren higiduraren propietate geometrikoak aztertzen diren. Muga-gainazal baten barnean (hodi edo kanal baten barnean, adibidez) edo horren inguruan (itsasontzia, hegazkin-hegoa...) higitzen diren fluidoaren higiduraren azterketa da fluidoaren mekanikaren funtsezko problema.

Fluidoaren higiduran gertatzen diren fenomenoaren ebazpena oso garrantzitsua da aplikazio teknikoaren ikuspuntutik, obra eta proiektu handietan aplikatzen baita: oleoduktuak, uraren banaketarako sareak, aire-kanalizazioak, makinaren koipeztapena, zentral termikoen uraren eta lurrunaren fluxuak, hegazkin eta itsasontzien erresistentzia, ponpak, turbinak, makineria pneumatikoa, berogailuak eta abar.

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

SARRERA

Hauexek dira fluxuen analisirako oinarrizko teknikak:

- Eskala handiko analisi integrala, zeinean fluidoaren parte baten higidura aztertzen den (kontrol-bolumena).
- Eskala txikiko analisi diferentziala, zeinean fluidoaren partikula baten higidura aztertzen den.
- Analisi dimentsionala edo antzekotasunaren analisia.

Horrez gain, fluidoaren dinamika aztertzean, kontuan hartu beharko dira honako printzipio hauek:

- *Masaren kontserbazioaren printzipioa*, zeinaren bidez jarraitutasunaren ekuazioa lortuko dugun.
- *Energiaren kontserbazioaren printzipioa*, zeinaren bidez Bernouilli-ren ekuazioa lortuko dugun.
- *Higidura-kantitatearen kontserbazioaren printzipioa*, zeinaren bidez momentu linealaren edo momentu angeluarraren ekuazioak lortuko ditugun.

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Fluidoaren higidurari **fluxua** deritzo. Fluidoaren idealtzat hartzen den hurbilketa teorikoan ($\mu=0$, $\rho=cte$), zeinean ez igurtzidurarik ez biskositaterik ez duela kontsideratzen den, mota hauetako fluxuak kontsidera daitezke:

Fluxuaren abiaduraren osagaiak kontuan hartuta:

Fluxu unidimentsionala: arbuia egiten dira fluxuaren norabide perpendikularrean gertatzen diren abiaduraren, presioaren eta abarren aldakuntzak. Konduktuaren sekzio zuzenean fluidoaren puntu guztiek abiadura berbera dutenean gertatzen da. Adib: hodi batean zeharreko fluxua.

Fluxu bidimentsionala: suposatzen da partikula guztiek ibilbide identikoak dituztela plano paraleloetan. Ez dago fluxuaren aldagaien aldakuntzarik plano norabide perpendikularrean. Fluxu hauek bi dimentsiotan aztertzen dira. Adib: isurbideen eta uhateen azterketa.

Fluxu tridimentsionala: Fluxurik orokorra da, zeinean abiadurak hiru norabide perpendikularretan dituen osagaiak espazioaren eta denboraren funtzioak diren. Adib: hodi kurbatuak, ukondoak, ponpa eta turbinetako fluxua.

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Biskositate-indarrak kontuan hartuta:

Fluxu errotazionala. Biskositate-indarren eraginez, fluidoa biraka ari da. Adibideak: biraka ari diren biltegien barneko likido biskosoak, urakanak, fluido biskosoak hodietan.

Fluxu irrotazionala. Ez dago fluidoa birarazten duen ebakidura-esfortzurik. Fluido idealei dagokiena da, horietan biskositatea nulua baita ($\mu = 0$), eta ondorioz ezin baitute indar-parerik transmititu. Fluidoaren elementuek abiadura angeluar nulua dute beren masa-zentroaren inguruan.

Molekulen arteko higidura-kantitatearen trukea kontuan hartuta :

Fluxu laminarra: Fluidoaren partikulak ibilbide lauetan higitzen dira geruza edo laminatan, geruza bakoitza albokoaren gainean irristatuz, higidura-kantitatearen trukerik gabe eta Newton-en biskositatearen legea betez:

$$\tau = \mu \cdot \frac{dv}{dy}$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Fluxu hori ez da egonkorra izaten biskositate txikia, abiadura handia eta fluxuaren kantitate handiak batera gertatzen direnean.

Fluxu turbulentua: Hauxe da aplikazio praktikoetan maizen gertatzen dena. Fluidoaren partikulek ibilbide irregularrak dituzte, fluidoaren parte batetik bestera higidura-kantitatearen trukea egonik. Higidura-kantitate horren trukearen ondoriozko ebakidura-esfortzuen legea ezar daiteke, biskositatearen kasuaren antzera, zeinari eddy biskositatea edo zurrunbilo-biskositatea deritzon. Forma hau du:

$$\tau = \eta \cdot \frac{dv}{dy}$$

Ebakidura-esfortzu horiek itzulezintasunak eta galerak sorrarazten dituzte.

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Fluxuaren itzulezintasuna kontuan hartuta:

Fluxu itzulgarria. Fluxu horren noranzkoa alderantzikatu egin daiteke energiaren gasturik gabe.

Fluxu itzulezina. Fluxu honetan energiaren gastua behar da fluxuaren higidura alderantzikatzeko. Kasu honetako problema nagusia energiaren galera kalkulatzeko da.

Fluxuaren abiaduraren aldakuntza kontuan hartuta:

Fluxu uniformea: Puntu guztietako abiadura bektoreak identikoak (magnituz eta norabidez) direnean edozein aldiunetan. Adib: sekzio konstanteko hodi batetik jariatzen ari den likidoa.

$$\frac{\partial v}{\partial s} = 0 = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{\partial v}{\partial z}$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Fluxu ez-uniformea: Aldiune jakin batean abiadura bektorea aldatu egiten da puntu batetik bestera pasatzean. Adib: sekzio aldakorreko hodi batetik jariatzen ari den likidoa, edo hodi kurbatu batetik pasatzen dena.

$$\frac{\partial v}{\partial s} \neq 0$$

Fluxu iraunkorra: Edozein punturen abiadura konstantea da denbora pasatzean. Puntu beretik pasatzen diren ondoz ondoko partikulen abiadura beti da berbera. Puntu batean denbora pasatzean dagoen jarraitutasun hori puntu horretan fluidoak duen egoera definitzen duten gainerako aldagai guztiei ere aplika dakieke. Adib: uraren ponpaketa kaudal edo emari konstanteko hodi batetik:

$$\frac{\partial v}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial T}{\partial t} = 0 \quad \frac{\partial p}{\partial t} = 0$$

Fluxu ez-iraunkorra edo aldakorra: Puntu bakoitzeko baldintzak aldatu egiten dira denbora pasatzean. Adib: uraren ponpaketa emari hazkorreko hodi batetik.

$$\frac{\partial v}{\partial t} \neq 0$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXUA. FLUXU MOTAK

Fluidoaren konprimagarritasuna kontuan hartuta:

Fluxu konprimaezina, zeinean dentsitatearen aldakuntzak arbuiagarriak diren.

Fluxu konprimagarria, zeinean dentsitatearen aldakuntzak kontuan hartzeko modukoak diren; esate baterako, gasen kasuan soinuarena baino abiadura askoz txikiagoekin gertatzen diren fluxuak, edota talka-uhinen eraginpean dauden likidoen kasuan gertatzen direnak.

Beste irizpide batzuk:

Fluxu adiabatikoa. Kasu honetan ez dago bero-transferentziarik fluidoaren eta kanpoaldeko ingurunearen artean.

Fluxu isoentropikoa. Adiabatikoa eta itzulgarria da aldi berean.

LAGRANGE-REN ETA EULER-EN METODOAK FLUIDOEN HIGIDURA DESKRIBATZEKO

Higitzen ari den fluido baten parteek abiadura eta azelerazio desberdinak dituzte. Orduan, higidura-eremua partikulen abiadura eta azelerazioa adieraziz deskribatu beharko da. Bi metodo daude partikula multzo batek ingurune jarraituan duen higidura deskribatzeko: **Lagrange**-rena eta **Euler**-ena.

Lagrange-ren metodoan higitzen ari diren partikulen koordenatuak denboraren funtzioan adierazten dira. Funtsean, fluidoaren partikula bakoitzaren higidura segitzen da, solido zurrunaren mekanikan egiten den antzera. Metodo honetan, masa fluidoaren M puntuaren koordenatuak denboraren eta hasierako posizioaren funtzioak dira:

$$x = f_x(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$y = f_y(x_0, y_0, z_0, t)$$

$$z = f_z(x_0, y_0, z_0, t)$$

LAGRANGE-REN ETA EULER-EN METODOAK FLUIDOEN HIGIDURA DESKRIBATZEKO

Ingurune jarraitu baten partikulak kontsideratzen ditugunean, enfoke lagrangearra guztiz ezerosoa da, zeren fluxuaren deskribapenak aurreko ekuazioetan erabilitakoak baino hiru aldiz parametro gehiago erabiltzea eskatzen baitu. Gainera, ingurune fluidoaren izaera deformagarria dela eta, oro har, ez zaigu interesatzen partikula bakoitzaren historia ezagutzea; aitzitik, fluxuaren propietateen arteko erlazioak ezagutzea interesatzen zaigu eremuko puntu jakinetan.

Euler-en metodoan espazioko puntu finko bat kontsideratzen da, eta denbora pasatzean puntu horretan gertatzen dena aztertzen da. Horrela, puntu horretatik elkarren segidan pasatzen diren partikula fluidoaren abiadura denboraren funtzioan determinatuko da. Abiadura hori bere hiru osagaien bidez adieraziko da:

$$u = f_u(x, y, z, t)$$

$$v = f_v(x, y, z, t)$$

$$w = f_w(x, y, z, t)$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

LAGRANGE-REN ETA EULER-EN METODOAK

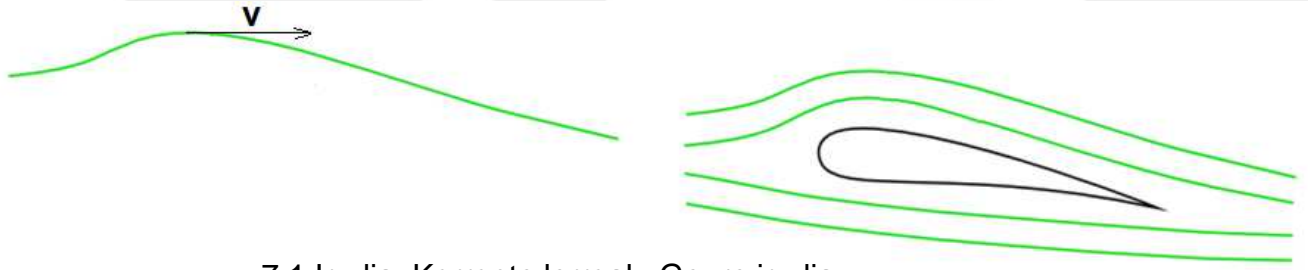
FLUIDOEN HIGIDURA DESKRIBATZEKO

Bi metodoen arteko desberdintasuna honetan datza:

Lagrange-ren metodoan partikulen koordenatuak adierazten dira denboraren funtzioan; Euler-en metodoan, ordea, puntu bakoitzean partikulek duten abiadura da denboraren funtzioan adierazten dena. Oro har, ingeniariak Euler-en analisiak eskaintako informazioa behar du; izan ere, informazio horren bidez lortzen baitira “**kontrol-bolumena**” deritzonaren higiduraren ekuazio integralak.

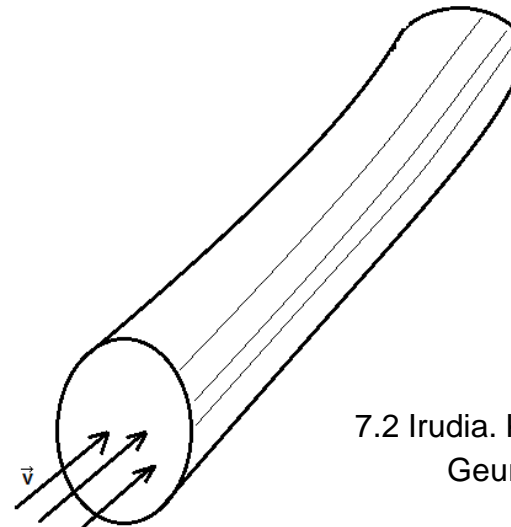
KORRONTE-LERROAK, KORRONTE-HODIAK ETA KORRONTE-SAREAK. IBILBIDEA

Korronte-lerroa puntu bakoitzean fluidoaren abiadura bektoreen ukitzailea den kurba da, eta fluxuaren erregimen iraunkorrean kointzidentea da fluidoaren partikulak egiten duen bidearekin, zeinari fluidoaren partikularen **ibilbidea** deritzo.



7.1 Irudia. Korronte lerroak. Geure irudia.

Korronte-hodia hodi irudikari edo erreala da, zeinaren albo-horma korronte-lerroez osatuta dagoen. Korronte-hodien adibidea hodi arrunt bat da, zeren hodiaren horma barrutik pasatzen den fluxuaren abiaduraren ukitzailea baita puntu guztietan.



7.2 Irudia. Korronte hodia.
Geure irudia.

PARTIKULA FLUIDOAREN AZELERAZIOA. AZELERAZIO LOKALA ETA KONBEKTIBOA

Demagun fluido ideal bat kondukzio edo hodi batetik zirkulatzen ari dela, eta kontsidera dezagun fluidoaren korrante-lerro bat eta bertan $A(x,y,z)$ puntua. Puntu horren abiadura-osagaiak honelaxe adieraziko ditugu:

$$\vec{v} = v_x \cdot \vec{i} + v_y \cdot \vec{j} + v_z \cdot \vec{k}$$

$$v_x = f_1(x, y, z, t)$$

$$v_y = f_2(x, y, z, t)$$

$$v_z = f_3(x, y, z, t)$$

Edonolako t aldiunean, ekuazio horiek fluidoaren abiadura adierazten dute espazioko puntu bakoitzean. Puntu bakoitzean abiadura adierazten duten funtzioak eta funtzio horien deribatuak jarraituak direla suposatuz:

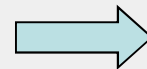
Azelerazio lokala

Azelerazio konbektiboa

$$dv_x = \frac{\partial v_x}{\partial t} dt + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx + \frac{\partial v_x}{\partial y} dy + \frac{\partial v_x}{\partial z} dz$$

$$dv_y = \frac{\partial v_y}{\partial t} dt + \frac{\partial v_y}{\partial x} dx + \frac{\partial v_y}{\partial y} dy + \frac{\partial v_y}{\partial z} dz$$

$$dv_z = \frac{\partial v_z}{\partial t} dt + \frac{\partial v_z}{\partial x} dx + \frac{\partial v_z}{\partial y} dy + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz$$



$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial t} + \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial t} + \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{\partial v_z}{\partial t} + \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z$$



7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

PARTIKULA FLUIDOAREN AZELERAZIOA. AZELERAZIO LOKALA ETA KONBEKTIBOA

zeren honako hauek betetzen baitira:

$$\frac{\partial x}{\partial t} = v_x \quad \frac{\partial y}{\partial t} = v_y \quad \frac{\partial z}{\partial t} = v_z$$

Ekuazio horiek partikula fluidoaren azelerazioaren osagaiak adierazten dituzte puntu bakoitzean eta aldiune bakoitzean.

Erregimen iraunkorraren kasuan, zeinean abiaduraren osagaien denborarekiko deribatuak nuluak diren, honelaxe geratzen zaigu:

$$\frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z$$

$$\frac{dv_z}{dt} = \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

PARTIKULA FLUIDOAREN AZELERAZIOA. AZELERAZIO LOKALA ETA KONBEKTIBOA

Azelerazio lokala: partikula baten denborarekiko abiaduraren aldakuntza da, partikularen egoera-aldakuntza kontutan hartu gabe.

Azelerazio konbektiboa: egoera aldakuntzaren ondoriozko azelerazioa da, abiadurak eremuko puntu desberdinetan aldakuntzak jasango dituelarik momentu desberdinen artean.

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

FLUXU BOLUMETRIKOA ETA FLUXU MASIKOA.

Lehen esan bezala, fluidoaren higidurari **fluxua** deritzo

- *Fluxu bolumetrikoa*: denbora-unitatean sekzio jakin bat zeharkatzen duen fluidoaren bolumena (emaria edo kaudala ere esaten zaio, Q).
- *Fluxu masikoa*: denbora-unitatean sekzio jakin bat zeharkatzen duen fluidoaren masa (sinboloaz adierazten da). (\dot{m}).

$$\dot{m} = \rho \cdot v \cdot A = \rho \cdot Q$$

7. Gaia: Fluidoaren higiduraren oinarriak

SISTEMA KONTZEPTUA ETA KONTROL-BOLUMENA

Fluidoaren higiduraren azterketan **sistema** kontzeptua aipatzen dugunean, materialaren masa jakin bati buruz ari gara, bere inguruan dagoen gainerako materiak ongi bereizita dagoena. Sistema baten mugek gainazal itxia osatzen dute, zeina aldakorra izan baitaiteke denboran zehar, baina beti ere barnean masa berbera kontserbatuz. Masaren kontserbazioaren lege hori honelaxe adieraz daiteke sistema osoari dagokionez:

$$\left. \frac{dm}{dt} \right]_{S_c} = 0$$

Kontrol-bolumena deritzon kontzeptua espazioko eskualde bat da, oso baliagarria dena espazio horretatik kanpo eta espazio horren barruan fluxua gertatzen den egoeren analisirako. Kontrol-bolumenaren mugari **kontrol-gainazala** deritzo.

$$\frac{dV_c}{dt} = 0$$