

# Tunel kriogenikoak

Jon Otaolaurretzi

**Hegazkinek hegaldian izango duten portaera aurrez jakiteko, abioi-maketak tunel aerodinamikotan probatzen dira. Lortutako baldintzak ez dira ordea berdinak, tamainarekin batera emaitzak ere aldatu egiten direlako. Horregatik, tuneletan benetako emaitza zehatzak lor daitezten, aire izoztua erabili beharra dago.**

## Eskalaren arazoak

**F**orma bera mantenduz tamaina-aldaketak duen eraginaz konturatzeko, adibide batzuk ipiniko ditugu. Zuhaitz-puntatik kalardoa erortzen denean, lurrera heldutakoan ez du inolako kalterik jasaten. Katua erortzen bada ere ez, baina beste arazoi bategatik. Kontua ez da bataren gorputza bestearena baino elastikoagoa izatea; airearekiko erresistentzia handia eduki eta lurrera heltzean abiadura txikia edukitzea baizik. Hori da kakalardoari gertatzen zaiona. Katuari ez ordea.

Aire berdina dute biekin, baina katua astunagoa da daukan azalerarekiko konparatuta. Katua gutxi gorabehera harrira bezala eroriko da, eta zauririk ez badu oreka-sen harrigarria eta trebetasun ikaragarria dituelako da.

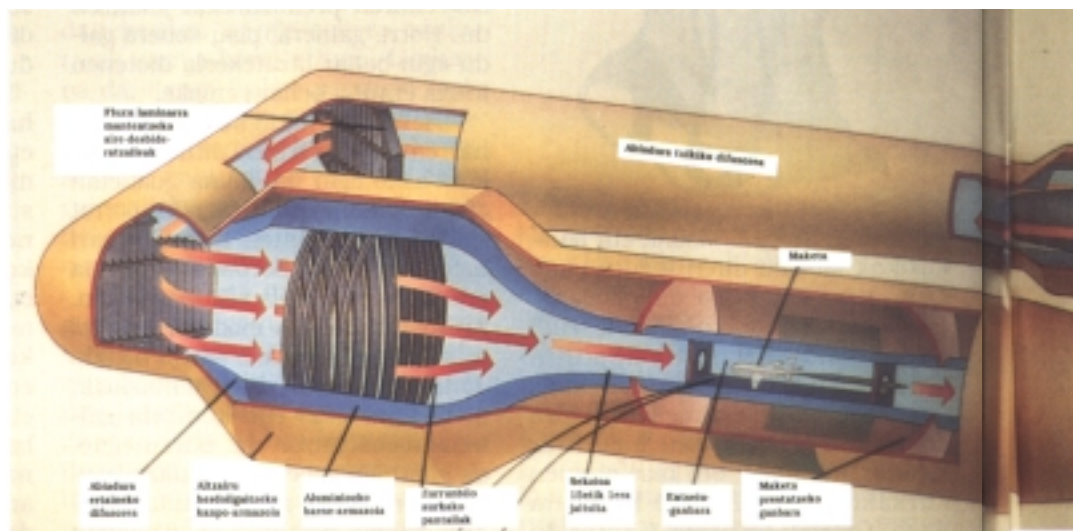
Hegazkinen make- tekin saiakuntzak egi- ten direnean ere, airea- rekiko erresistentziak arazo asko sortzen di- tu. Har dezagun hegaz- kin-eredu baten make- ta adibidez. Bi aldiz luzeago den maketa egiten badugu, airea

ukitzen duen azalera lau aldiz handiagoa da eta pisua zortzi aldiz handiagoa. Airean erorketa-abiadura ordea, azaleraren eta pisuaren arabera da eta oraintxe adierazi dugunez, bi faktore hauek maketan ez dira proportzio berdinez aldatzen. Maketa txiki batekin lortutako datuak ezin dira, beraz, benetako eredu handira estrapolatu, eta alderantziz.

Tunel aerodinamikoetan kontua ez da hegazkinaren erorketa aztertzea; bere hegaldia baizik, hau da, egiazko abioiak ibili behar duen abiadurako aireari maketak kontrajartzen dion erresistentzia. Dena dela, emandako adibideak garbi

erakusten du aeronautikan eredu txikiko datuak egiazko aparatu handietarako erabiltzeak bere zailtasunak dituela.

Izan ere airea ez da materiarik gabeko fluido jarraia; hareazko du- nak bezala milioika molekulaz osatutako gasa baizik. Hondarraren kasuan, badakigu alearen tamai- nak eta gainean ibili behar duen ibilgailuaren tamainak zerikusia badutela. Pneumatiko zabalak di- tuen hondeagailua erraz ibiliko da hondarretan, gurpilen tamainare- kin konparatuta harea material jarraia delako. Hondeagailu horre- xen maketa txikia ordea, oso gaizki ibiliko litzateke hondarretan hon-





**Tunel kriogenikoa.** NASA-k Langley-n duen tunel kriogenikoan espaziuntziaren maketa ari dira probatzen. Airearen ordez nitrogenoa erabiltzen da. Lehenbizi aire konprimatu lehorraz inguruneke hezetasuna eta oxigenoa txikiagotu egiten dira. Helburua gas bakarra edukitzea da batetik, horrela kalkuluak asko sinplifikatzen direlako, eta izotz-kristalak ez eratzea bestetik, maketan kalteak sor ditzaketelako. Giro-tenperaturan izan ere 50 kg ur-lurrin egon daitezke eta 100 g-raino jaisteak komeni da.

dar-aleak gurpil inguruan pilotuko litzaizkiokelako. Hondarra liskatsua bada berriz, arazoa are eta gehiago konplikatzeko da.

Kontutan hartu beharra dago baina, aire-molekulak hain zuzen "liskatsuak" direla eta euri-tantak leihoko beirari bezala edozein gainazali itsasten zaizkiola.

Eskalaren arazoa berriz erakustearren, itsaste-fenomenoa beiraren tamainarekiko proportzionala dela esango dugu. Jostailuzko automobilaren aurreko beira osoa

estaltzeko adibidez, nahikoa da euri-tanta bat, benetako automobilarari inolako oztoporik eragiten ez dion bitartean.

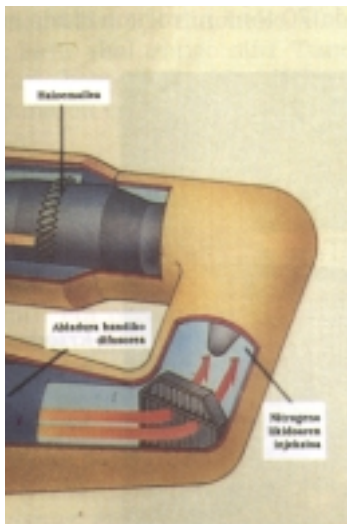
## **G** Reynolds-en zenbakia

atozen ordea, molekula liskatsu artean desplazatu behar duen hegazkinaren kasura. Efectuak ez dira hegoen neurriekiko proportzional bakarrik izango. Eskala-arazo honetan Reynolds-en

**Tunel aerodinamiko klasikoan, haizemaile potente batek airea zirkuitu itxian zirkularazten du.**

**Ukondotan dauden aire-desbideratzaileei esker zurrumbiloak txikiagotu egiten dituzte, aire-fluxua erregular eta tenperatura konstante mantenduz.**

**Saiakuntz ganbara baino aurrerago dagoen tutu estu batetik pasatzen da airea, abiadura handiagotzearen. Tuneleko airea hoztearen gainera, irudian ikusten den bezala nitrogeno likidoa injektatzen da. Tunelaren saiakuntz baldintzak ordenadoren gobernatzeko dira.**



zenbakiak garrantzi ikaragarria du, 2.000tik behera erregimena laminarra eta hortik gora turbulenta delako. Hegazkina hegan ari den bitartean, hegoen gainazalean eragiten den presioak airean mantentzeko indarra eragiten du batetik eta aurrera joateko aireari erresistentzia kontrajartzen dio bestetik. Gainazaleko presioan dena den, hegoak ukituz dagoen airegeruza mehearen erregimenak zerikusi handia da. Erregimena laminarra denean, geruza hegora itsatsiz hegazkina airean mantentzeko indarra eragiten da. Erregimena turbulenta bada berriz, airegeruza hori zurrumbiloka hasten da eta gainazaletik aldentu egiten da. Hegazkinak orduan aurrera joateko erresistentzia handiagoa kontrajartzen dio aireari eta errekin gehiago gastatzen du. Hegaletan zurrumbilo asko sortzen bada gainera, hegazkina erori egin daiteke.

Forma berdineko eta tamaina desberdineko hegoetan (bata egiazkoa eta bestea maketa denean), abiadura berdinean beren airearekiko erresistentzia eta airean mantentzeko indarra ez dira dimentsioekiko proportzionalak. Horregatik aerodinamikan funtsezkoa da forma geometriko bereko eta tamaina desberdineko maketetan espektro aerodinamikoak egiten jakitea (espektroa, solido inguruan fluidoak duen bidea markatzen duen lerro-multzoa da).

XIX. mendean Osborn Reynolds ingelesak erregimen laminarretik turbulenta pasatzeko zein magnitudek parte hartzen duten ikertu zuen, eta eskalaren arazoari irtenbidea eman zion bere antzekotasun-legea plazaratu zuenean. Legeak dioenez, antzera orientatutako antzeko bi gorputzen espektro aerodinamikoak antzekoak dira zurrumbiloekiko erresistentziaren eta marruskadura laminarrarekiko erresistentziaren arteko erlazioa berdina denean. Antzekotasun-lege hau ondoko formulaz adierazten da:  $\rho \cdot v \cdot d / \mu = R = \text{konstantea}$  ( $R$  Reynolds-en zenbakia da,  $d$  gorputzaren tamainari dagokion luzera,  $v$  gorputzaren desplazamendu-abiadura,  $\rho$  fluidoaren masa espezifikoa eta  $\mu$  fluidoaren biskositatea).

Gure adibidera itzuliz, egiazko hegazkinak eta bere maketak Reynolds-en zenbaki bera eduki behar dute datuak estrapolagarriak izan daitezken. Maketaren  $d_m$  di-

mentsioa egiazko hegazkinaren  $d_h$  baino askoz ere txikiagoa da, noski, eta era berean maketaren Reynoldszen zenbakia ere bai.

Aerodinamikan aspalditik eza-gutzen dira eredu txikitik handira datuak iragateko faktore zuzentzaileak, baina ez dira oso zehatzak eta % 2 edo 3ko akatsa ezin da oraingoz baztertu. Horrek beraz, hegazkina kalkulatuakoa baino polikiago ibiliko dela eta gehiago erreko duela esan nahi du.

Oraintxe ikusi dugunez ordea, Reynoldszen zenbakia berdin mantentzeko  $d$  txikiagotzen bada  $\rho$  handiagotu behar da edo bestela  $e$  txikiagotu (abiadura ez dugu aldatuko, hegazkin bakoitzari saiakuntzarako abiadura jakin bat ezartzen zaiolako).

$\rho$  handiagotzeko bidea, tunel aerodinamikoan aireari presio handiagoa ematea da. Horretarako haizemaile potenteagoa behar da ordea, eta kostuak gora joaten dira.

Reynoldszen zenbakia igotzeko eta simulazioaren emaitzak errealak izan daitezen badugu oraindik beste parametro bat: tuneleko airearen biskositatea aldatzea. Reynoldszen formularen  $e$  txikiagotzen bada  $R$  handiagotu egiten da eta airearen biskositatea txikiagotzearen airea  $-173\text{ }^\circ\text{C}$ -raino (100 kelvineraino) hozten dute tunel kriogenikoetan. Estatu Batuetan NASA-k Langley-n duen ikerketa-zentruan frogatu dutenez, tenperatura 100 K-eraino jaitsita zirkulazio-gasaren biskositatea sei aldiz txikiagoa da. Beraz, Reynoldszen zenbakia sei aldiz handiagoa dugu. Airearen presioarekin eta tenperaturarekin jotuz, Reynoldszen zenbakia ahalik eta merkeen mantentzea lortzen da.

**Estatu Batuetako tunel kriogenikoa 1984.ean estreinatu zenez gero, maketa askoren probak egin dira bertan; Boeing 757rena ere bai.**



### Alemaniko tunel kriogenikoa

**E**uropako lehen tunel aerodinamiko kriogenikoa KKK izenekoa da (Kryo-Kanal Köln) eta 9 milioiko Reynoldszen zenbakia lor dezake. Coloniaatik gertu dago DLR ikerketa-zentru aerospazialean. Abiadura txikiko probak egiteko (400 km/h-rainokoak) egiteko tunel hau asko aldatu da oso tenperatura baxuetan lan egin dezan.

Besteak beste isolamendu termiko berria ezarri zaio eta nitrogeno likidoa injektatzeko sistema ere bai, kontrol-sistemarekin batera.

100 K-eko ( $-173\text{ }^\circ\text{C}$ -ko) tenperaturak lortzearen, 65etik 90 tonaraino nitrogeno likido erabiltzen dira. Lau ordutan 50 K hozten da orduko eta gero hogeitun ordutan 10 K orduko. 100 K 24 ordutan mantentzeak beste 58 tona nitrogeno likido eskatzen ditu. Megawatt bateko haizemaile du eta ustiapen-kos-

tua eguneko 1.700.000 pezeta ingurukoa da.

### Estatu Batuetako tunel kriogenikoa

**L**angley-n NASA-k duena izango da seguru asko munduko tunel kriogeniko handiena. Lehengo tunel aerodinamiko zegoen lekuan eraiki da, horretan 10.000 milioi pezeta inguru gastatu dituztelarik. Lehengo 90 megawatteko haizemaile du, bederatzi atmosferako presioak lor daitezkeelarik. 124 K-erainoko ( $-149\text{ }^\circ\text{C}$ -rainoko) tenperaturak lortzen ditu eta 1,2 macheko abiadurak.

Lor daitekeen Reynoldszen zenbakia 100 milioikoa da (benetan lortu da 1,0 macheko abiaduran egindako saiakuntza batean) eta hori da lurreko ezein instalaziotan lortutako handiena.

Airea hoztea lau ordutan lortzen da 70 tona nitrogeno likido erabiliz.




**Europako tunel kriogenikoan, besteak beste, Airbus hegazkinaren ereduak probatu nahi dira.**



1984.ean estreinatu zenez gero maketa askoren probak egin dira bertan; Boeing 757rena eta beste zenbait abioi militarrena, adibidez. NASA-k ere erabiltzen du bere espaziuntzien maketak probatzeko.

### **Europako tunel kriogenikoa**

**A**lemaniko tunelak airea konprimatzen ez duenez gero, ETW (European Transonic Windtunnel) izeneko tunela egiten ari dira bestearen ondoan. Frantzia, Alemania, Britainia Haundia eta Holanda elkartu dira proiektu hau finantzatzeko. 50 milioiko Reynolds-en zenbakia izango du, 0,9 macheko abiadura. Tenperaturak berriz, 90 K eta 120 K bitartekoak (-150 eta -183 bitartekoak) izango dira eta presioa gehienez 4,5 barrekoa. Haizemaileak bere 50 megawatteko potentziarekin 1,3 macheko abiadurak lortu ahal izango ditu. Tunel honetan, besteak beste, "Airbus" hegazkinaren ereduak probatu nahi dira.

Hegazkinen maketak tunel aerodinamikotan probatzea teknika garestia da, baina badirudi oraindik ere denbora luze erabiliko direla. Informatikak aurrerapen handiak egin ditu eta ordenadoretan simulazioak egin daitezke. Simulazio horiek ordea, bi dimentsiotan egiten dira, eta ez hiru dimentsiotan eta baldintza kritikoetan. Gainera garestiak direla ere ikusi ahal izan da. Tunel aerodinamiko kriogenikoak badu, beraz, etorkizunik. 

## **SEXU-HEZKUNTZA**

***Sexu-hezkuntzarako baliabide berri eta balioetsua. Nola jaiotzen dira haurrak? Nola sortzen dira? Pubertarioan zer gertatzen da? Aurkezten dugun Sexu-hezkuntza programak, erantzun garbi eta egoikiak ematen dizkie gure garapeneko uneren batean kezkatu gaituzten galderari.***

***Programa honek norberaren gorputza eta sexualitatea hobeto ezagutzeko balio dezake, horrela garapen egoki eta orekatuari lagunduz. Baliabide malgua da eta adin guztietan helburu desberdinez erabil daiteke.***

*Eskaerak eta informazioa:*

#### **Elhuyar Kultur Elkarte**

Asteasuain poligonoa. 14. pabilioia  
Telf. (943) 363040/363041  
20170 Usurbil