7. KANPO FLUXUA: MURGILDUTAKO ERRESISTENTZI ETA EUSTE INDARRAK

1. ERRESISTENTZI INDARRA (F_D)
    1. ERRESISTENTZI INDARRA (F_D).
        1. ADIERAZPENA.
        2. FRIKZIOZKOA. ($F_{D,f}$).
        3. PRESIOZKOA. ($F_{D,p}$).
    2. PRESIOZKO/ FORMAKO ERRESISTENTZI INDARRA ($F_{D,p}$).
        1. MUGA GERUZAREN BANANTZEA.
        2. PRESIOZKO/ FORMAKO ERRESISTENTZI INDARRA.
    3. FRIKZIOZKO ETA PRESIOZKO INDARREN GARRANTZIA ERLATIBOA ERRESISTENTZI INDARRARI DAGOKIONEZ.
        1. OBJEKTUAREN ITXURA EDO FORMA
        2. MUGA GERUZAREN IZANA.
        3. REYNOLDSEN ZENBAKIA.
2. EUSTE INDARRA (F_L)
    1. ADIERAZPENA.
    2. ZERGAITIA.
    3. EUSTE INDARRA PROFIL AERODINAMIKOETAN (F_L(Hegoaren kurbatura, α)).
    4. ESFERETAN ETA ZILINDROETAN.
3. VON KARMAN ZURRUNBILOEN ERAKETA.

1. ERRESISTENTZI INDARRA (F_D).

1. ERRESISTENTZI INDARRAREN ADIERAZPENA.

$$F_D(\rho,\mu,\sqrt{A},U,\varepsilon) \Rightarrow f(F_D,\rho,\mu,\sqrt{A},U,\varepsilon)=0 \Rightarrow \begin{Bmatrix} n=6 \\ m=3 \end{Bmatrix} \Rightarrow \pi_i = 3$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A U^2 \; non \; C_D(\varepsilon/\sqrt{A},\mathrm{Re}).$$

$$F_D = \frac{1}{2} C_D(\varepsilon/\sqrt{A},\mathrm{Re})\,\rho A U^2 = \frac{1}{2}(C_{D,p}+C_{D,f})\rho A U^2 = F_{D,p}+F_{D,f}$$

FRIKZIOKOA: Biskositateak eragindako marruskaduraren ondoriozkoa.

PRESIOKOA: Muga geruzaren jaulkipenak eragindakoa, eta hortaz, gorputzak duen formaren araberakoa.

A (m^2):

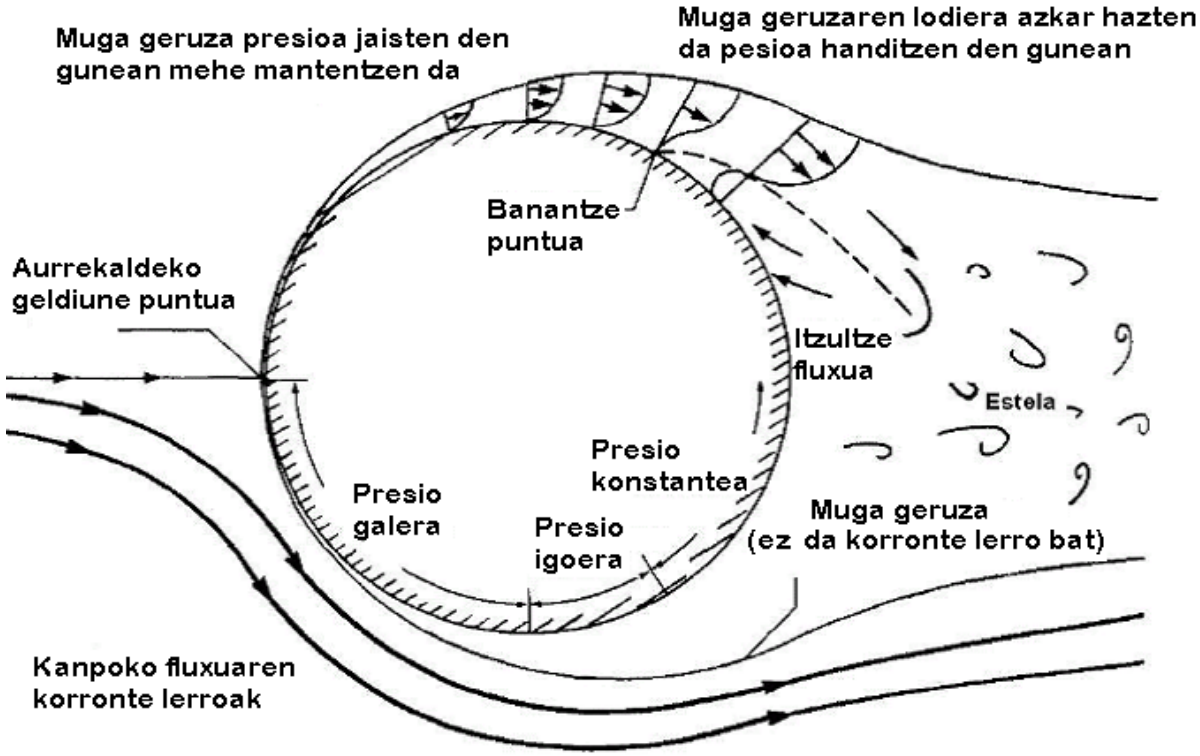
1. PROFIL AERODINAMIKOETAN (LODIERA TXIKIKO GORPUTZETAN (Adib: ABIOIEN HEGOAK)): GOIKALDEKO AZALERA.
2. BESTELAKOETAN: ALDEZ AURREKO AZALERA (HIGIDURAREKIKO ELKARTZUTA DENA).
3. FLOTATZEN DIREN GORPUTZETAN (ONTZI, …): BUSTITAKO AZALERA (PLANO HORIZONTALEAN PROJEKTATUTAKOA)

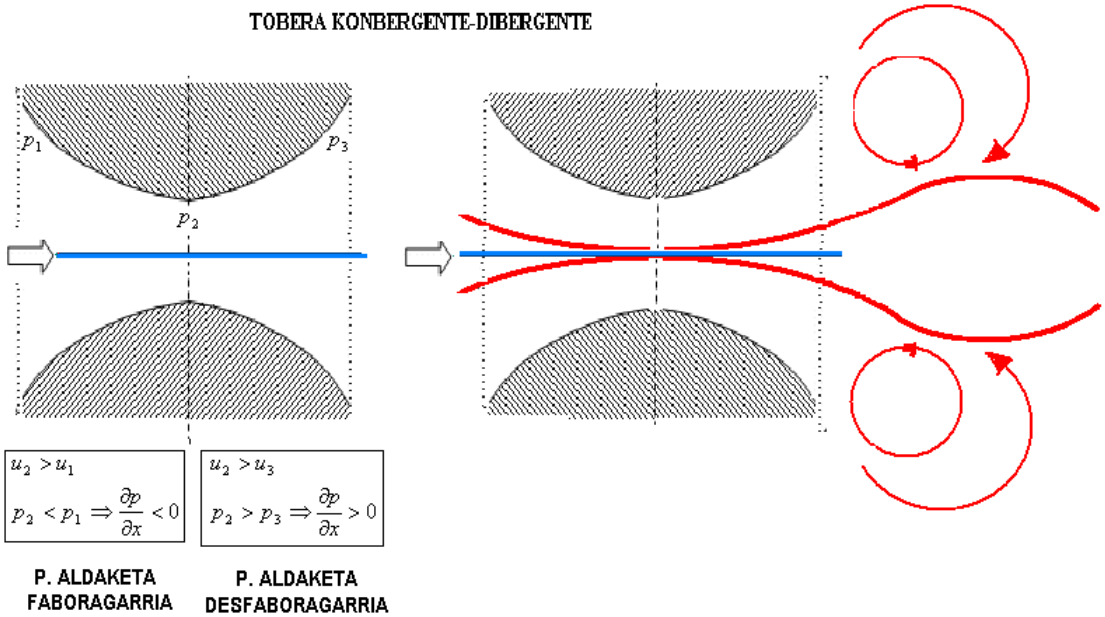
$$F_D = \frac{1}{2} C_D(\varepsilon/\sqrt{A},\mathrm{Re},Fr)\,\rho A U^2 = \frac{1}{2}(C_{D,p}+C_{D,f}+C_{D,o})\rho A U^2 = F_{D,p}+F_{D,f}+F_{D,o}$$

2. PRESIOZKO/ FORMAKO ERRESISTENTZI INDARRA ($F_{D,p}$).

1. MUGA GERUZAREN BANANTZEAREN ZERGAITIA

1. JARIAKINAREKIN KONTATUAN DAGOEN GORPUTZA EZ DA LAUA, NOLABAITEKO FORMA DAUKA:
   - AZALERA ALDAKETA DAGO JARIAKINAREN IBILBIDEAN.
   - ABIADURA ALDAKETA DAGO JARIAKINAREN IBILBIDEAN ZEHAR.
   - PRESIOA ALDAKETA DAGO JARIAKINAREN IBILBIDEAN ZEHAR.



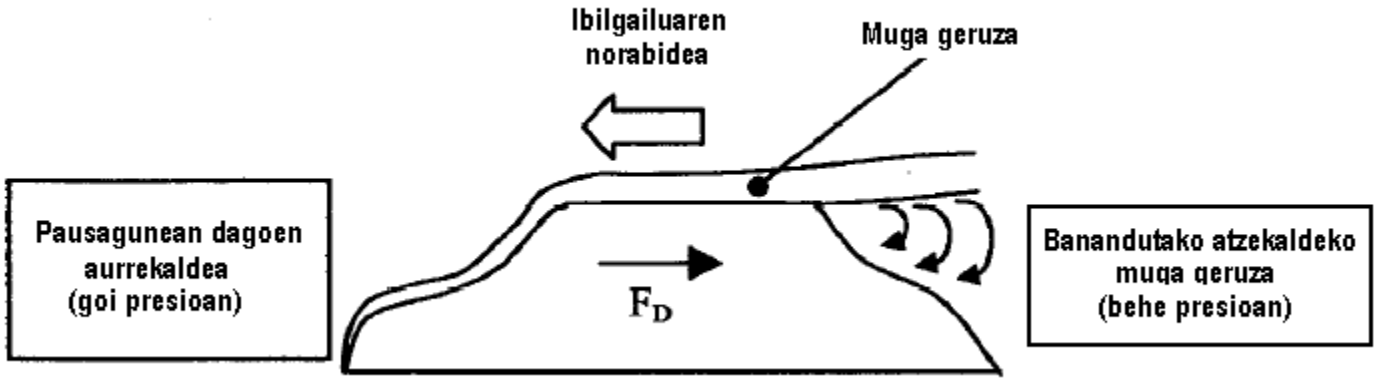


2. GERTATZEN DEN PRESIO ALDAKETAREN ETA BISKOSITATERAEN ERAGINA:

   1. $\Delta p<O \rightarrow$ JARIAKINA AZELERATUKO DA BISKOSITATEAREN DESAZELERAZIOA KONPENTSATUZ ETA ONDORIOZ, MUGA GERUZAREN LODIERA TXIKITZEN DA.
   2. $\Delta p>O \rightarrow$ PRESIO ALDAKETA JARIAKINAREN BEREZKO DESAZELERAKETA ERAGITEN DU. HONEK, BISKOSITATEAK ERAGITEN DUEN DESAZELERAZIOAREKIN BATERA, M. Gren BANANTZEA ERAKARRI DEZAKE:

      U galera honekin minimo bat lortzen da → ITZULTZE FLUXUA: M.G. BANANTZEA
   3. $\Delta p<O \rightarrow$ PRESIO ALDAKETA FABORAGARRIA.
   4. $\Delta p>O \rightarrow$ PRESIO ALDAKETA DESFABORAGARRIA.

3. FLUXUAREN IRTEERAN GERTATZEN DEN PRESIO GRADIENTE DESFABORAGARRIA DA M.G. BANANTZEA DAKARRENA.



2. MUGA GERUZAREN BANANTZEAREN ONDORIOAK

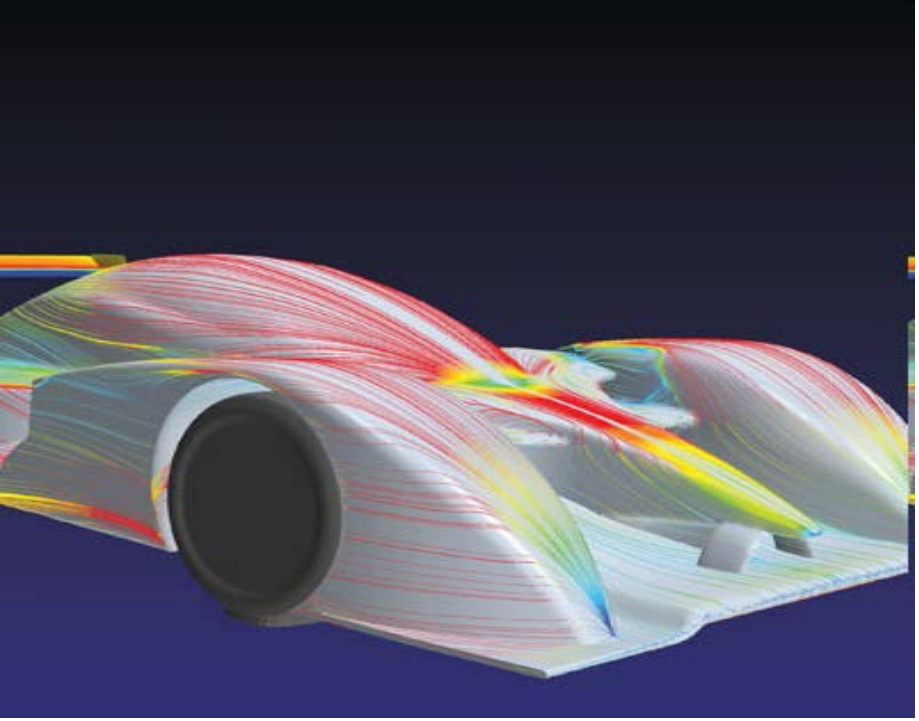
1. **ESTELA:**
   1. HIGIKARIAREN ATZEKALDEAN ERATUTAKO M.G. BANANDUAK ERATZEN DU.
   2. AURREKALDEKO ESKUALDEAREKIN ALDERATUTA, p TXIKIKO ETA TURBULENTZIA HANDIKO TOKIA DA.
2. **GERTATZEN DEN ESKUALDEEN ARTEKO PRESIO EZBERDINTASUNAK HIGIKARIAREN MUGIMENDUARI OPOSATZEN ZAION INDARRA ERAGITEN DU:**

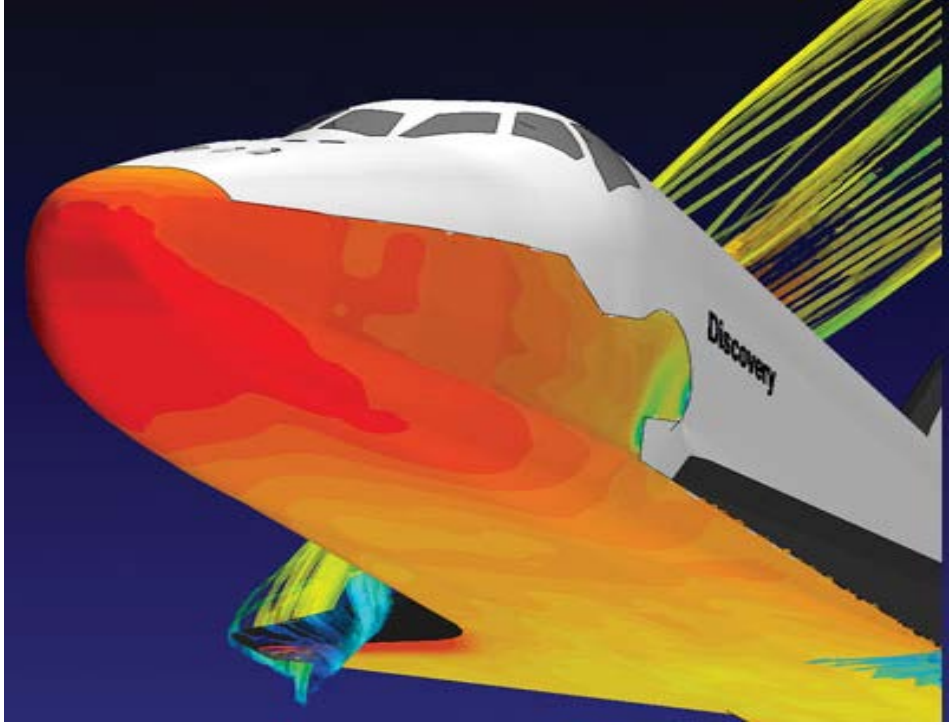
   FORMA EDO PRESIOZKO ERRESISTENTZIA INDARRA→$F_{D,P}$.

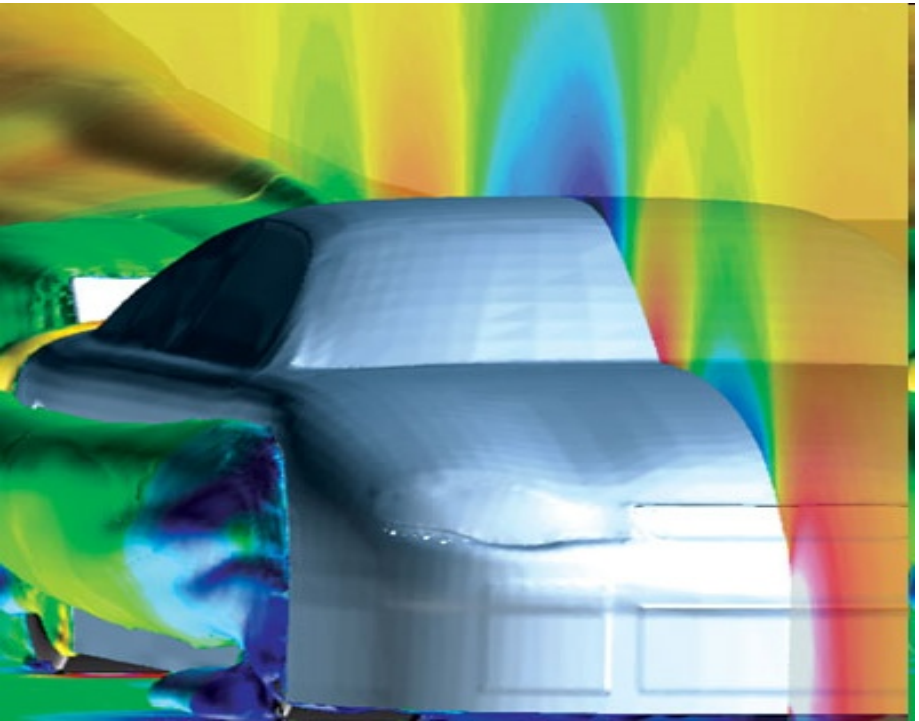
   Estelan, atzekaldean, presioa p∞ hurbiltzen da, aurrekaldean berriz, presioa geldiune presioa da: presio ezberdintasun honek gorputzean erresistentzi indar bat eratuko du:

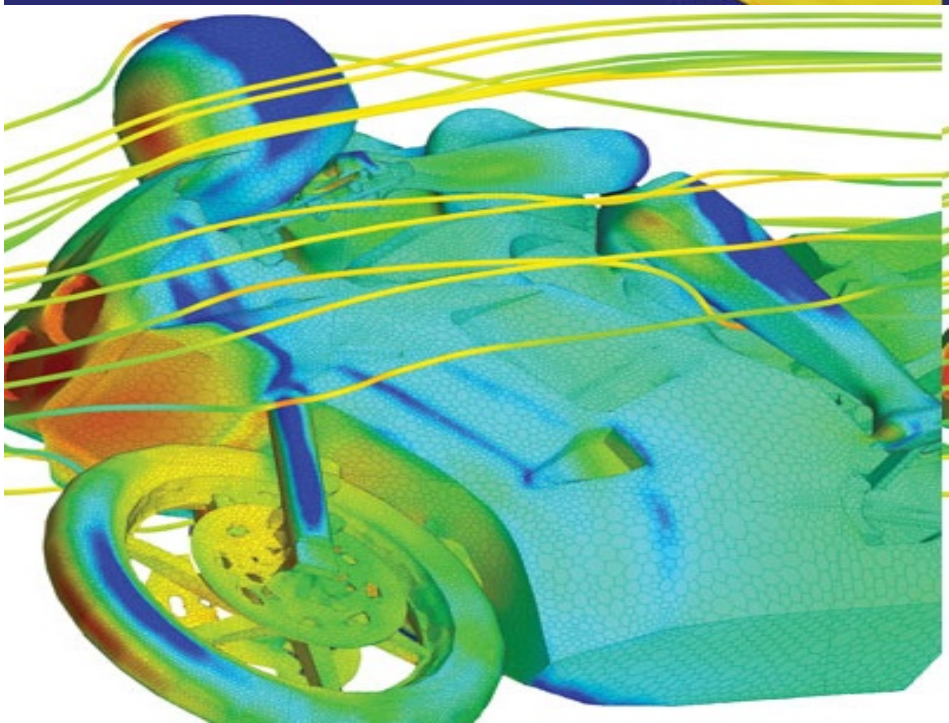
$$F_{D,p} = \frac{1}{2}\rho A U^2 C_{D,p},\ A = zeharkako\ azalera\ da.$$

3. **FORMA EDO PRESIOZKO $F_{D,p}$ ERRESISTENTZI INDAR HONEK $F_{D,f}$ FRIKZIOZKO ERRESISTENTZI INDARRA BAINO GARRANTZITSUAGOA IZAN DAITEKE.**




Discovery





BI INDARREN ERAGINA EZ DA BETI BERDINA IZANGO:

1. PROFIL AERODINAMIKOETAN:

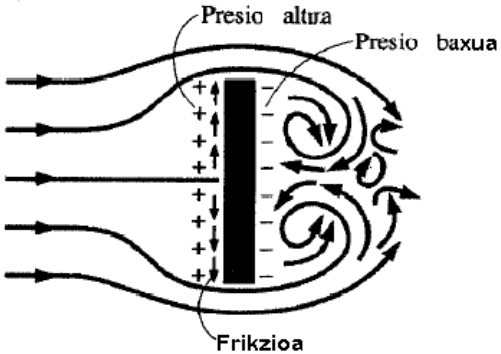
Gorputz aerodinamikoetan $F_{D,p} \downarrow$, eta ondorioz: $F_D \approx F_{D,f.}$

$F_{D,f}(U, A)\downarrow\rightarrow$ Hegaldietan, abioien hegoak murrizten dira.

$$\Rightarrow F_{D,f} = \frac{1}{2} C_{D,f} \rho A U^2$$

Biskositatearen ondorioa (ν, A(jariakinarekin kontaktuan dagoen azalera))

2. GORPUTZ ROMOETAN :



Gorputz romoetan $F_{D,p} \uparrow$, eta ondorioz: $F_D \approx F_{D,p.}$

$$\Rightarrow F_{D,p} = \frac{1}{2} C_{D,p} \rho A U^2$$

Muga geruzaren banantzearen ondorioa.

3. FRIKZIOZKO ETA PRESIOZKO INDARREN GARRANTZIA ERLATIBOA ERRESISTENTZI INDARRARI DAGOKIONEZ.

1. OBJEKTUAREN ITXURA EDO FORMA.

2. MUGA GERUZAREN IZAERA (ZIMURTASUNAREN ARABERAZKOA).

3. REYNOLDSEN ZENBAKIA.

1. OBJEKTUAREN ITXURA EDO FORMA.

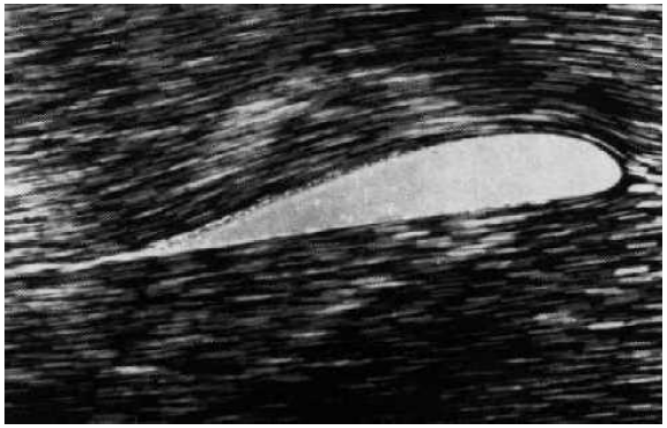
GORPUTZ KURRENTILINEOETAN (Abioak, karrera kotxeak, etabar)

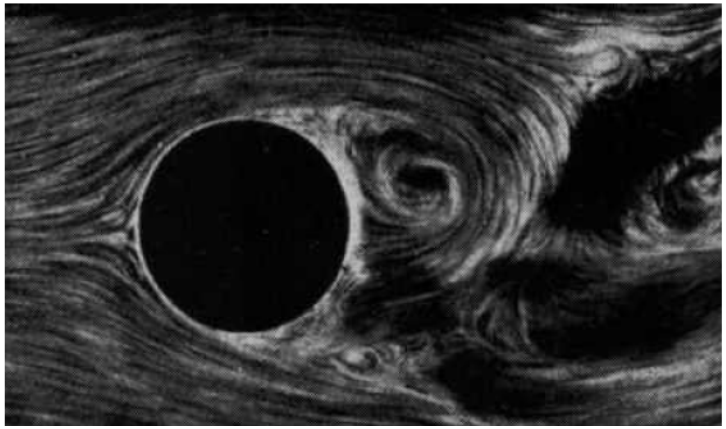
$\rightarrow F_{D,f} >>> F_{D,p} \rightarrow F_D \approx F_{D,f}$

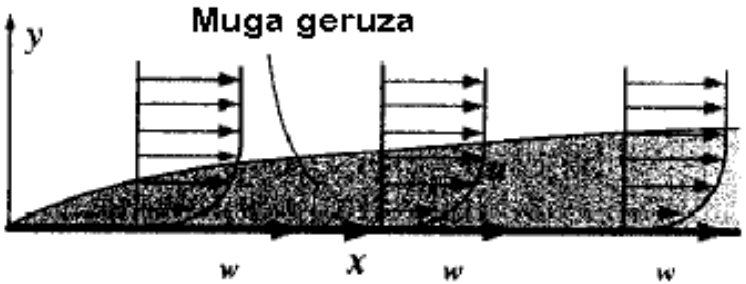
Hauetan F_D ahal bezain txikia izatea bilatzen da

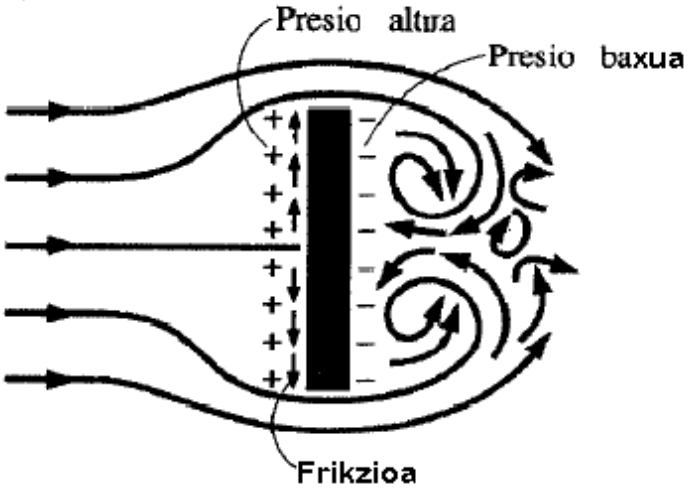
GORPUTZ ROMOETAN (Pelotak, etxebizitzak, etabar)

$\rightarrow LF_{D,p} \uparrow \rightarrow F_{D,p} >>> F_{D,f} \rightarrow F_D \approx F_{D,p}$









$$F_{D,f}\Big|_{\max} = \textit{higidurarekiko paraleloa den gainazal lauan}$$

$$F_{D,f}\Big|_{\min} = \textit{higidurarekiko elkartzuta den gainazal lauan}$$

2. MUGA GERUZAREN IZAERA.

1. M. G. LAMINARRA:

2. FRIKZIOA M.G. TURBULENTOAN BAINO TXIKIAGOA DA.
3. M.G. BANANTZEA LEHENAGO GERTATZEN DA ETA ERATZEN DEN ESTELA p ↓ ESTELA HANDIA DA → $F_{D,p}$ ↑↑↑
   ESTELA HAU DESEGONKORRA DA ETA OBJETUAK HIGIDURA ERRATIKOA AURKEZTU DEZALA ERAGITEN DU.

2. M. G. TURBULENTOA:

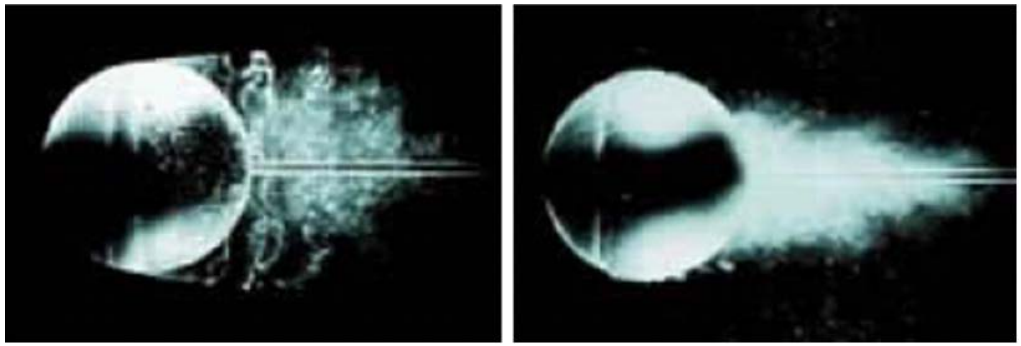
M.G. BANANTZEA BERANDUAGO GERTATZEN DA Δp DESFABORAGARRIARI HOBETO EUSTEN DIOLAKO, GAINERA ERATZEN DEN ESTELA TXIKIAGOA ETA EGONKORRAGOA DA (NORABIDE ZEHATZAGOA), BERE PRESIOA LAMINARREAN BAINO HANDIAGOA DELARIK.

ONDORIOZ → $C_{D,MGL} > C_{D,MGT}$ → $F_{D,MGL} > F_{D,MGT}$

M.G. TURBULENTOAREN AGERPENA BILATUKO DA F_D TXIKITZEKO.

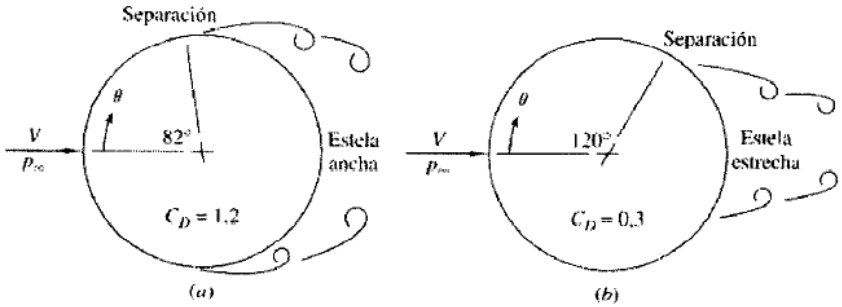
M.G. TURBULENTOA ERATZEKO:

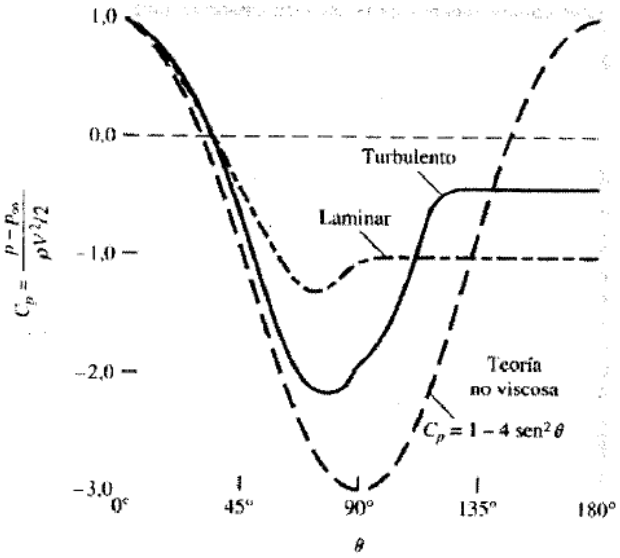
1. ZIMURTASUNA (ε) ↑ (Adib: Golf pelotak).
2. U↑↑↑ (Re ↑↑↑)



a) M.G.LAMINARRA

b) M.G.TURBULENTOA





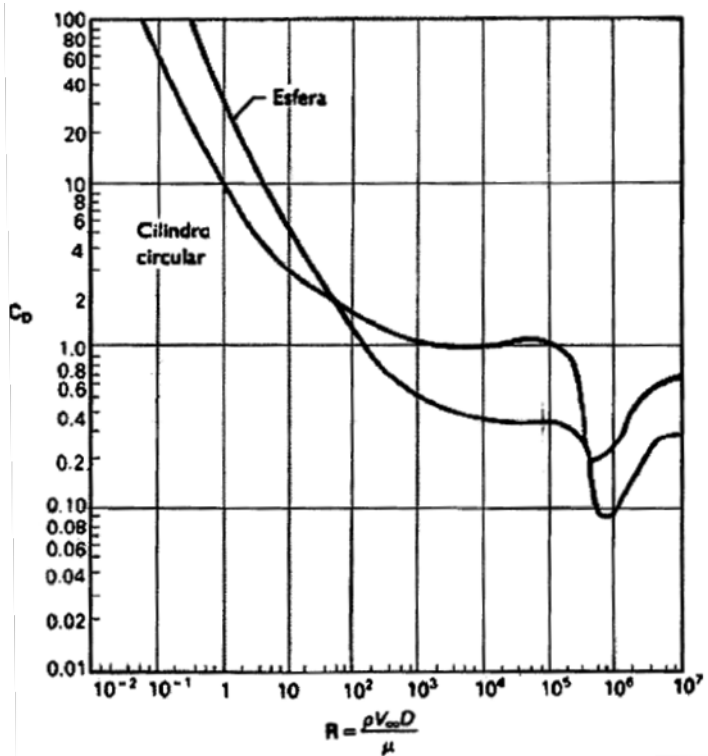
(c)

3. REYNOLDSEN ZENBAKIA:

Adib: Re zenbakiaren arabera, leunak diren eta guztiz murgilduta dauden esfera/pelotek aurkezten duten $C_D = f(Re)$.

Jariakinaren abiadurarekin muga geruza turbulentua agerrarazten da ere.

$$\mathrm{Re} < 1 \Rightarrow C_D = k/\mathrm{Re} \Rightarrow \textit{Esferaren kasurako} \Rightarrow C_D = 24/\mathrm{Re} \Rightarrow F_D = 6\pi R\mu U \ (\textit{Stokes}) \Rightarrow F_{D,f} >>> F_{D,p}$$
$$1 < \mathrm{Re} < 1000 \Rightarrow F_{D,f} + F_{D,p}$$
$$1000 < \mathrm{Re} < 2\cdot 10^5 \Rightarrow F_{D,p} >>> F_{D,f} \Rightarrow C_D \approx kte$$
$$\mathrm{Re} > 2\cdot 10^5 \Rightarrow M.G.\ Turbulentoa\ da \Rightarrow C_D \downarrow\downarrow\downarrow$$



ZER DA PRAKTIKAN BILATZEN DUGUNA:

1. MG BANANTZEAREN EDO JAULKIPENAREN ERAGOZPENA.
2. M.G. BANANTZEA GERTATZEKOTAN, HAU, AHALIK ETA URETAN BEHEREN GERTATU DADIN BILATUKO DA:
   1. HONEGATIK PROFIL AERODINAMIKOAEN ITXURA:

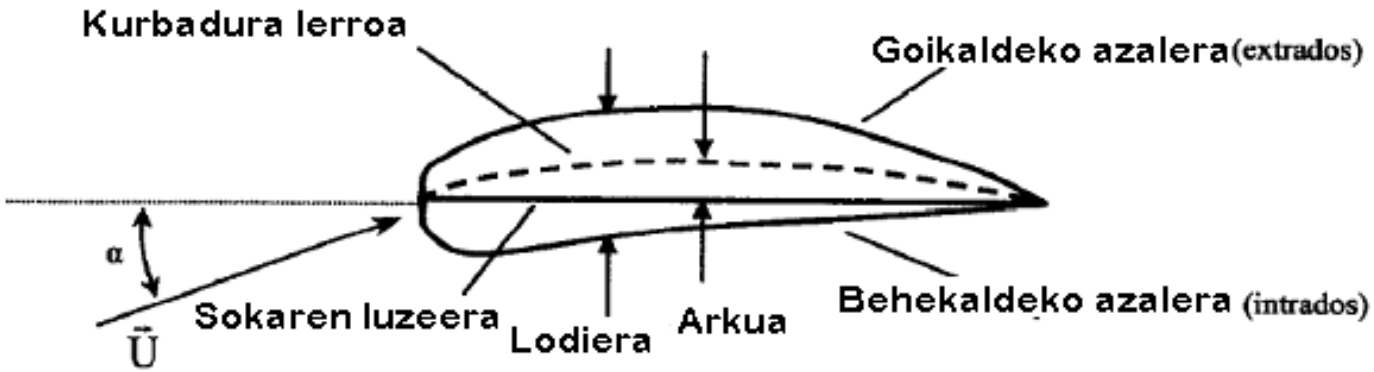
      HAUETAN GERTATZEN DEN Δp DESFABORAGARRIA TXIKIA DENEZ, IZAERA LAMINARRA DUEN M.G. GEHIAGO EUTSI DIEZAIOKE Δp DESFABORAGARRI HONI ETA ONDORIOZ M.G. BANANTZEARI:
      1. FORMA HONEK M.G. JAULKIPENA GUZTIZ ERAGOTZI DEZAKE.
      2. JAULKIPEN HONI AURRE EGITEKO, URETAN BEHERA M.G. TURBULENTOAREN AGERPENA ERAGINGO DA.

2. EUSTE INDARRA (F_L)

1. ADIERAZPENA

$$F_L(\rho,\mu,\sqrt{A},U,\alpha) \Rightarrow f(F_L,\rho,\mu,\sqrt{A},U,\alpha)=0 \Rightarrow \begin{Bmatrix} n=6 \\ m=3 \end{Bmatrix} \Rightarrow \pi_i = 3$$

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A U^2,\ C_L(\alpha, \mathrm{Re})$$



α = Eraso angelua: Sokaren luzeerak eta fluxuaren abiadurak eratzen duten angelua

2. ZERGAITIA:

1. GOIKO ETA BEHEKO GAINAZALEN ARTEKO PRESIO ALDAKETAK ERAGITEN DUEN INDARRAREN ONDORIO DA.

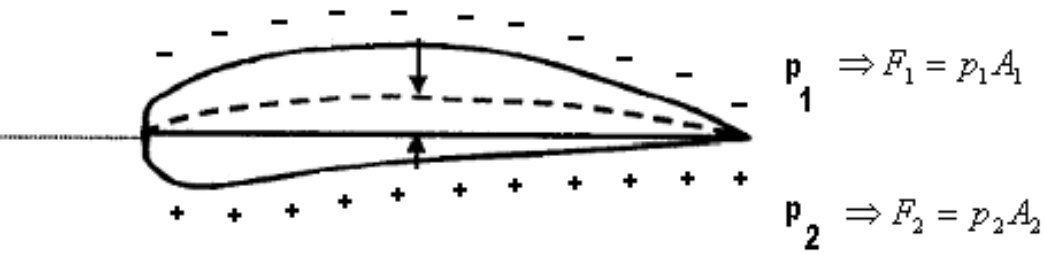
   $F_L \leftrightarrow U_{GOIKALDETIK} > U_{BEHEKALDETIK}$

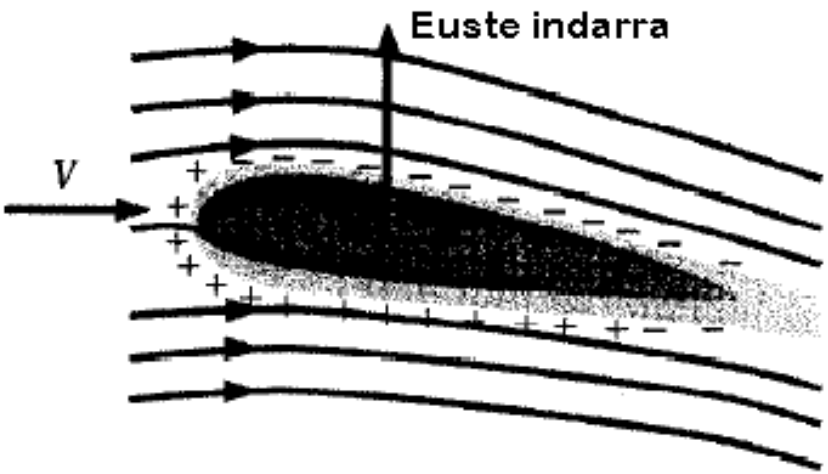
   Euste indarra flotaziozko indar bat da.

2. GORPUTZ SIMETRIKOETAN ETA $\alpha=0 \rightarrow F_L=0$

   GORPUTZ SIMETRIKOETAN ETA $\alpha\neq0 \rightarrow F_L \neq 0$

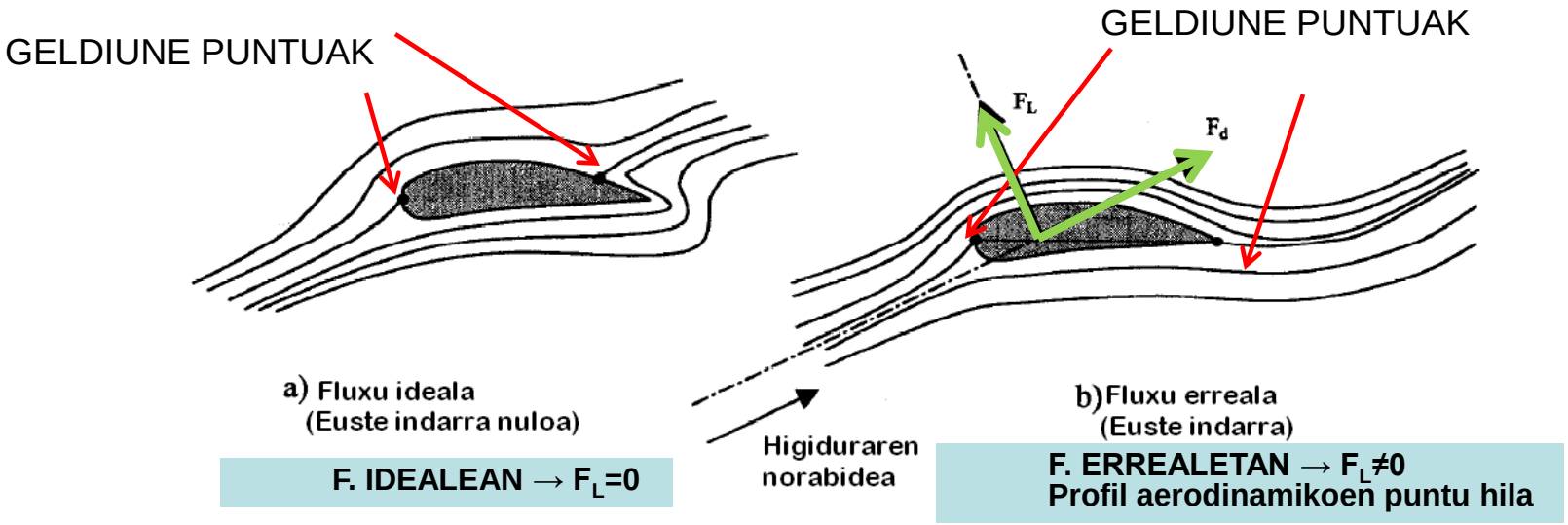
3. GORPUTZ ASIMETRIKOETAN $F_L \neq 0$



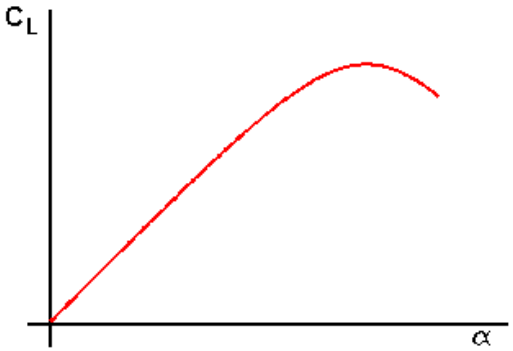


3. EUSTE INDARRA PROFIL AERODINAMIKOETAN (F_L(Hegoaren kurbatura, α))

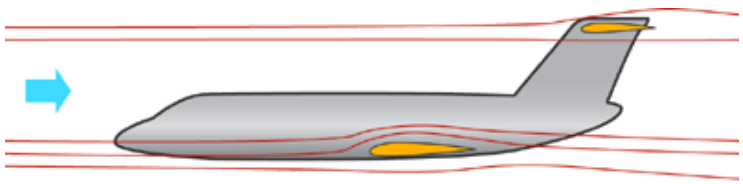
1. PROFIL AERODINAMIKOEKIN F_L↑↑ ETA Fd↓↓ IZATEA BILATZEN DA.



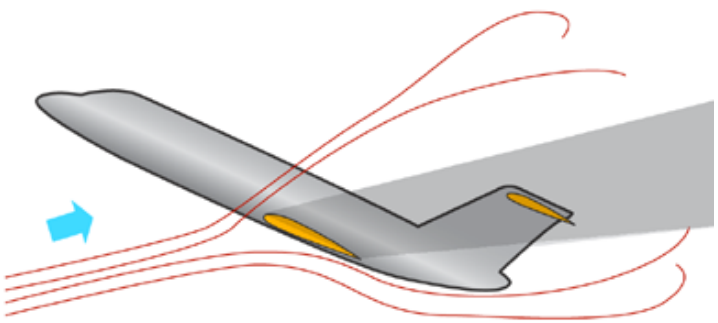
2. F_L EUSTE INDARRA IZATEKO, JARIAKINAK PROFILAREN ITZURA JARRAITU BEHARKO DU→ M.G.LAMINARRA
3. M.G. LAMINARRAREN ARRISKUA → M.G. BANANTZEA.
4. M.G. LAMINARRAREN LUZAPENA BILATUKO DA, M.G. TURBULENTOAREN ERAKETA M.G. BANANTZE ARRISKUA DAGOENEAN EGINGO DELARIK.



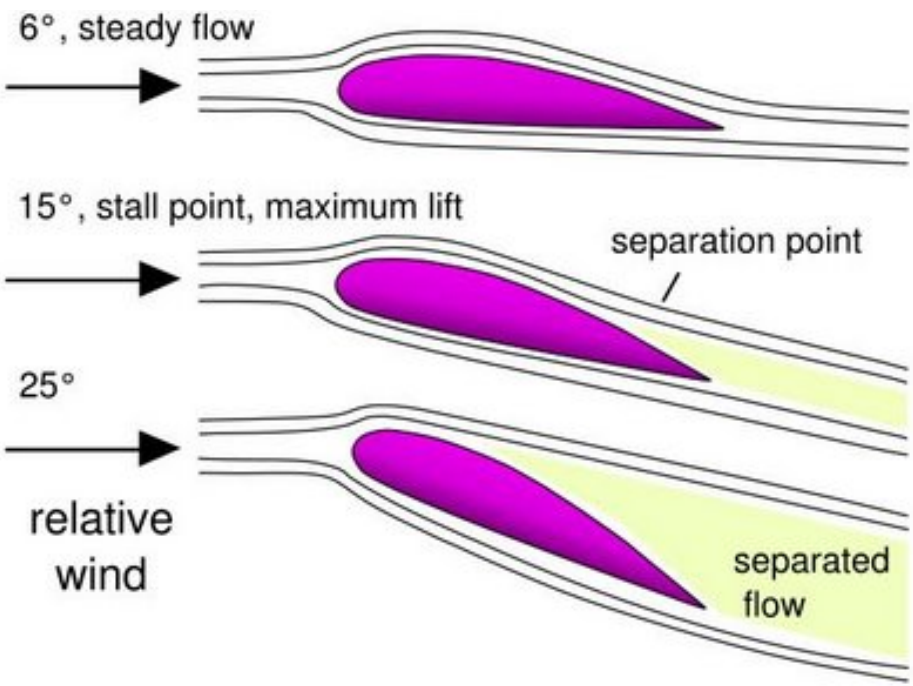
5. F_L (KURBATURA, α)
    1. KURBATURA ↑ →F_L↑
    2. α:
        1. α ↑→ C_L↑ → F_L↑ Behintzat α≈15º → $F_{L,\ MAX}$
        2. α >15º→F_L↓↓↓ eta Fd↑↑↑ → PUNTU HILA



Normal flight

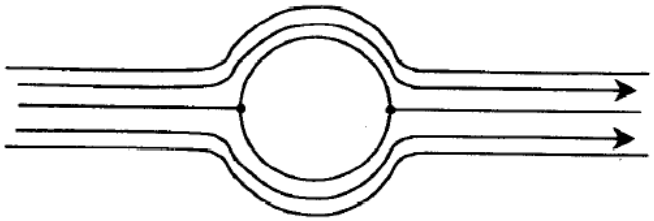


Deep Stall condition - T-tail in "shadow" of wing

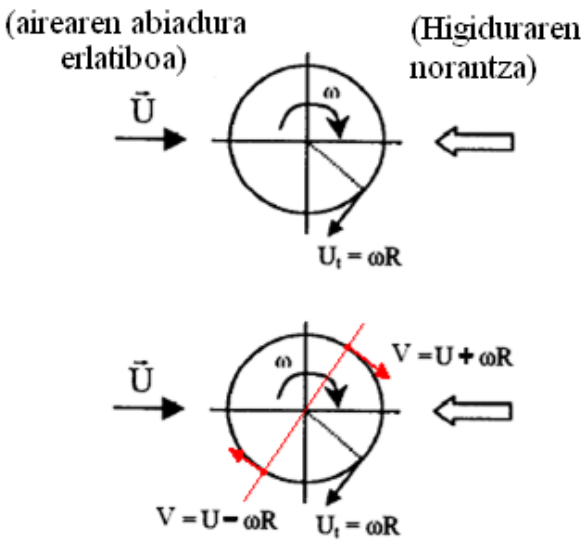


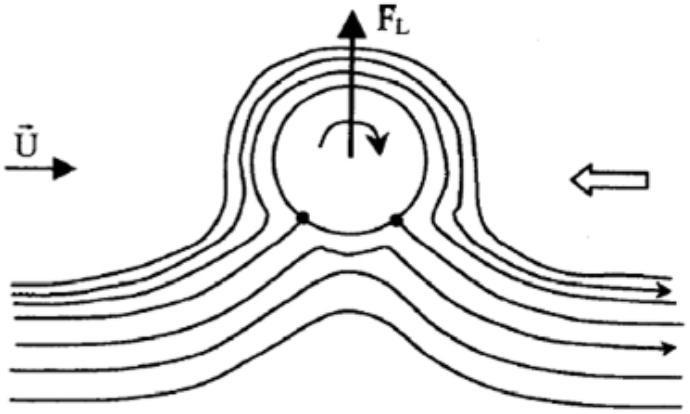
4. ESFERETAN/ ZILINDROETAN

1. PAUSAGUNEAN DAGOENEAN → $F_L=0$

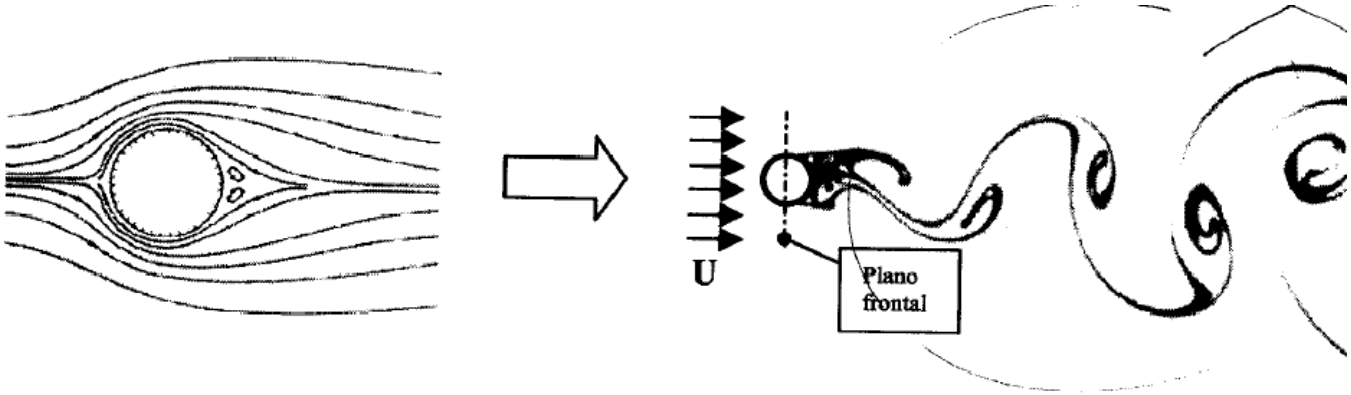


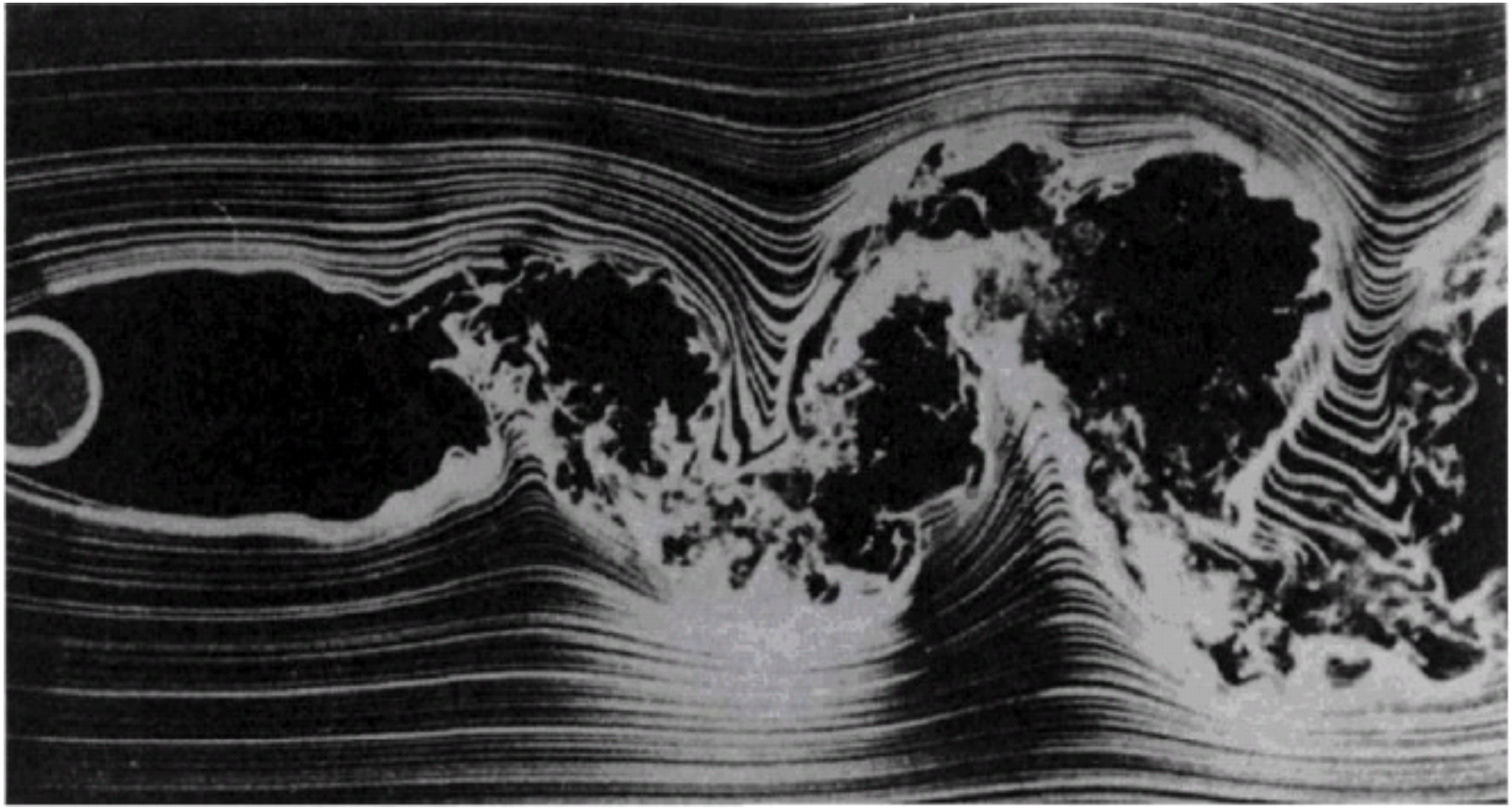
2. BIRAKA DAGOENEAN → $F_L \neq 0$ → "MAGNUSEN EFEKTOA"





3. VON KARMAN ZURRUNBILOEN ERAKETA

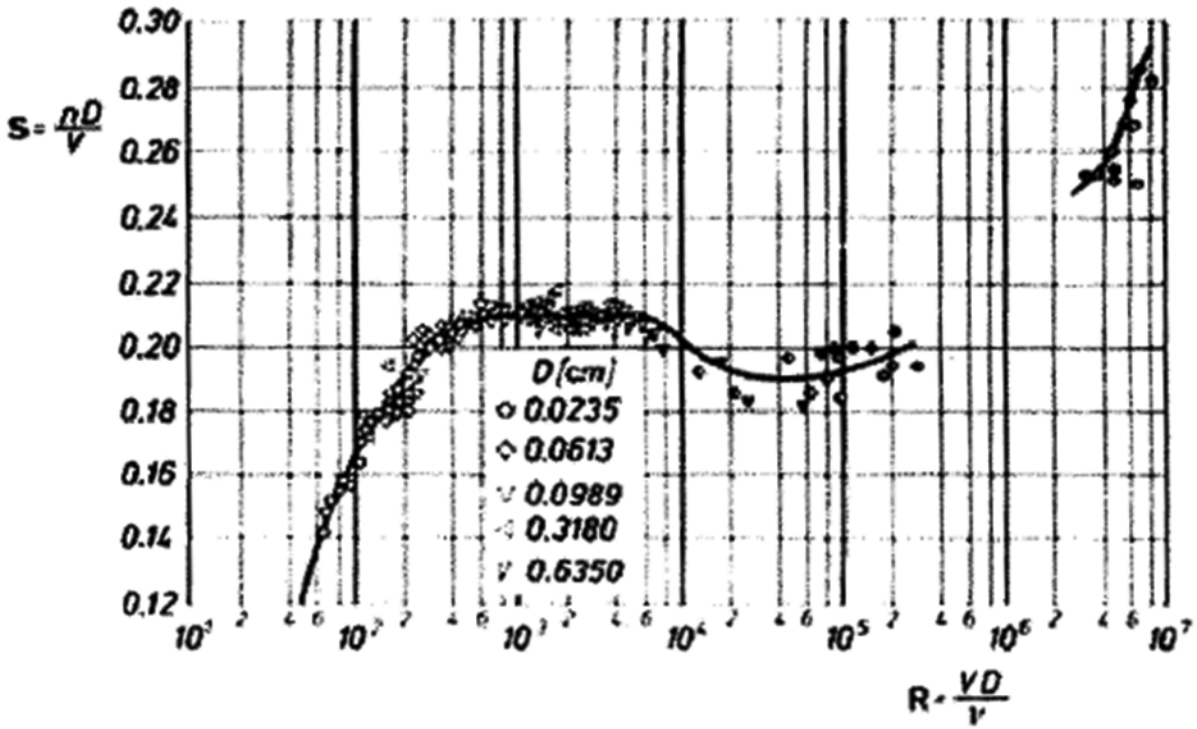


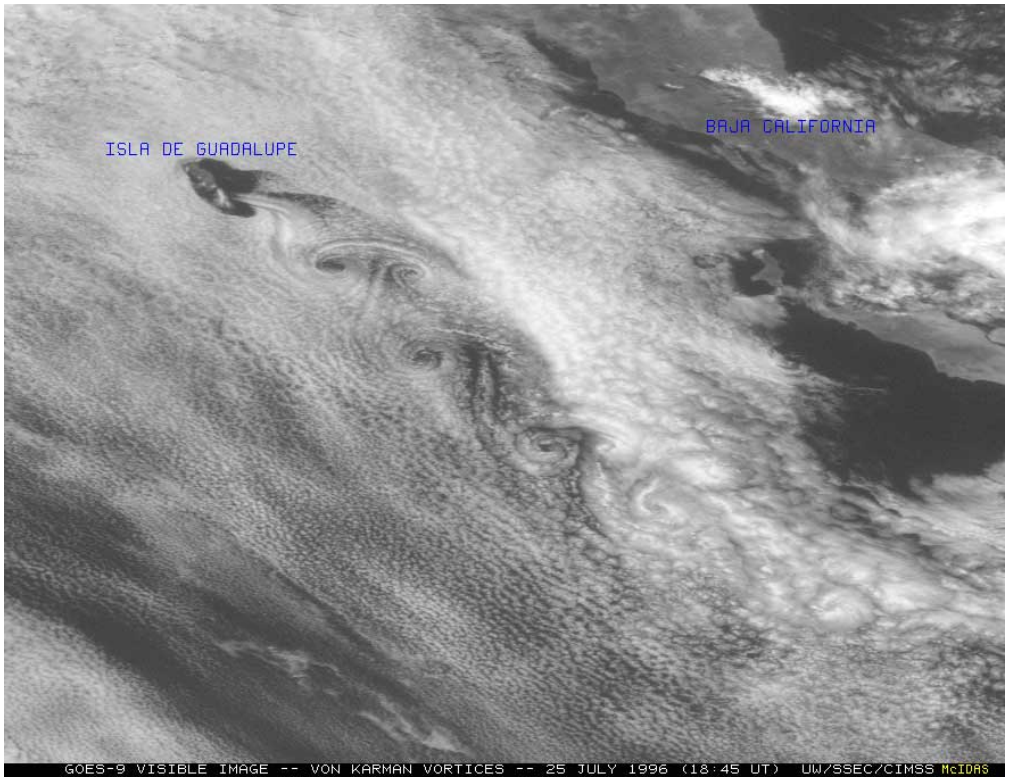


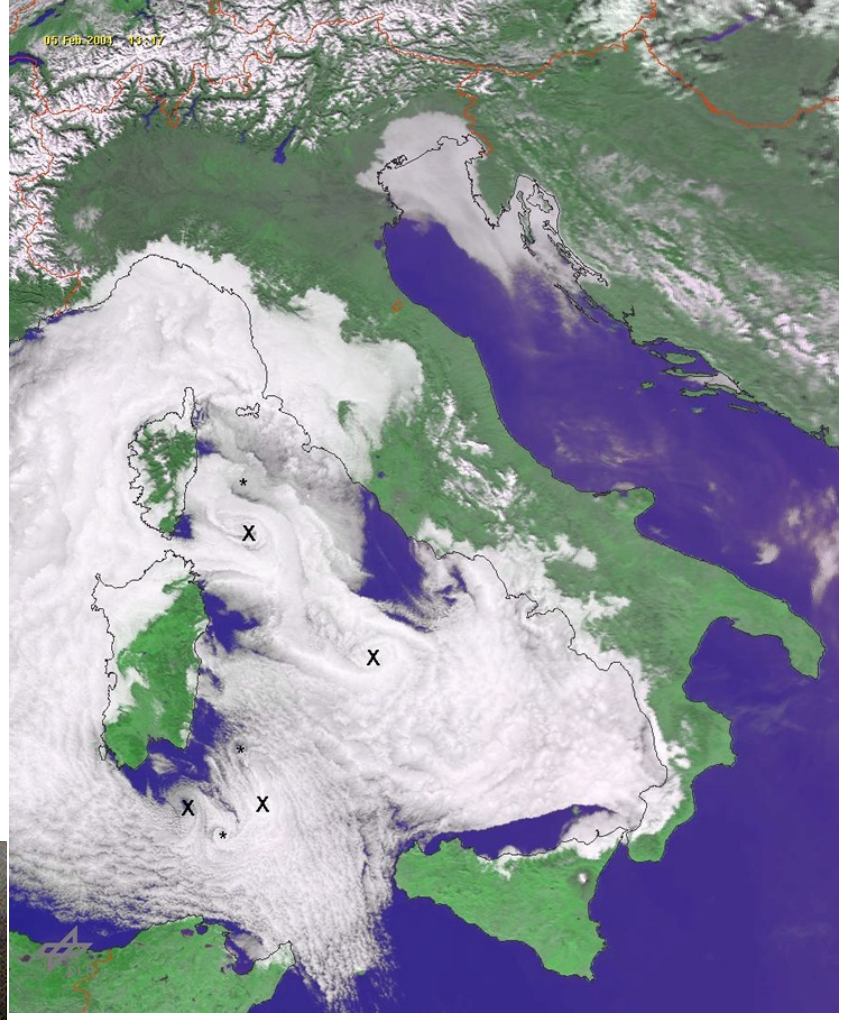
$n = n\,(U, D, \mu, \rho)$

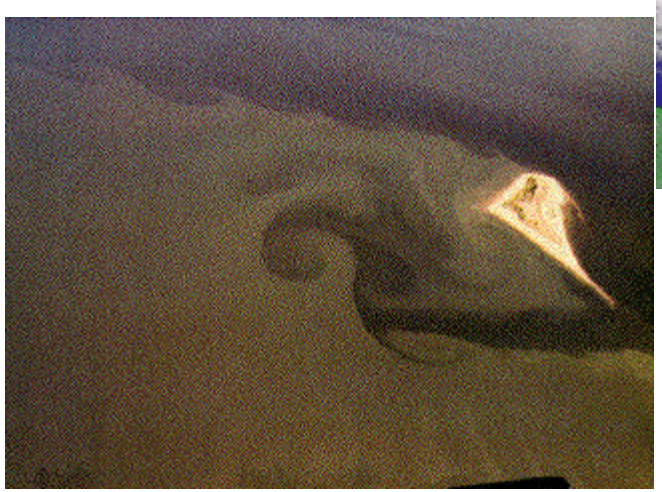
$\Pi \rightarrow \pi_1 = S = \text{Strouhal} = nD/U$

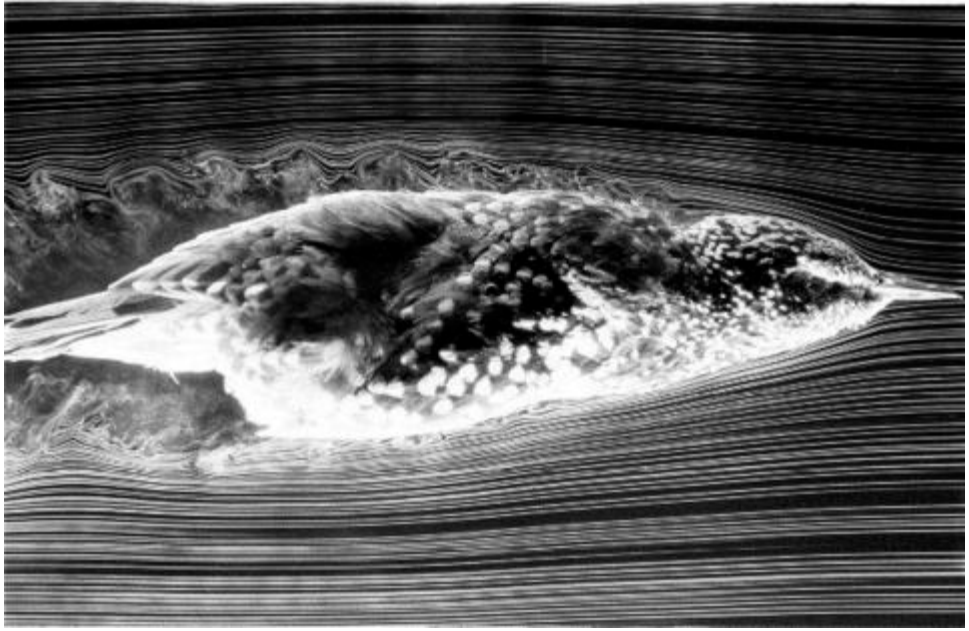
$\pi_2 = Re = UD\rho/\mu$

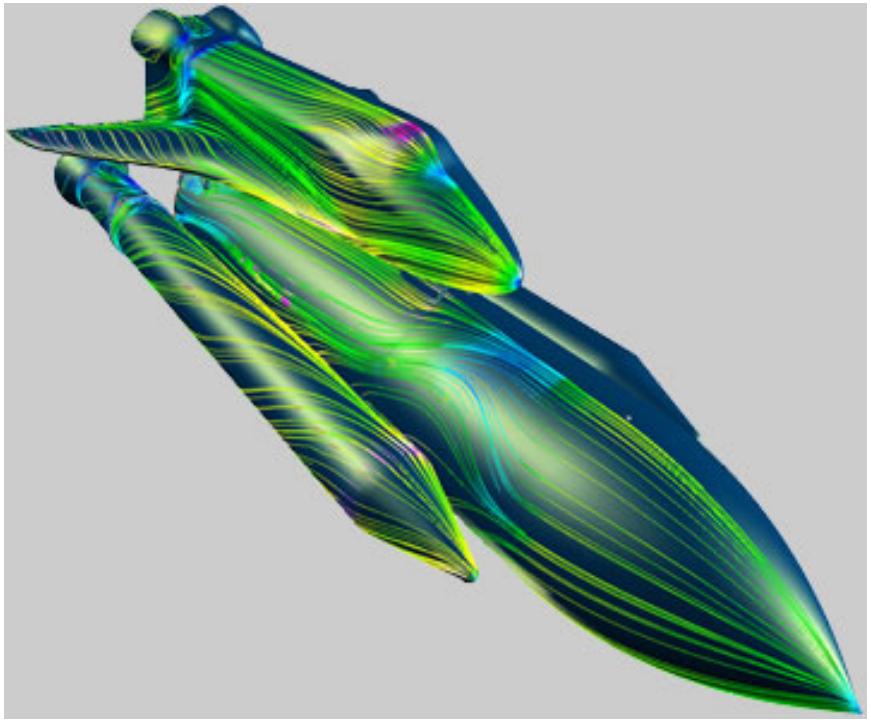


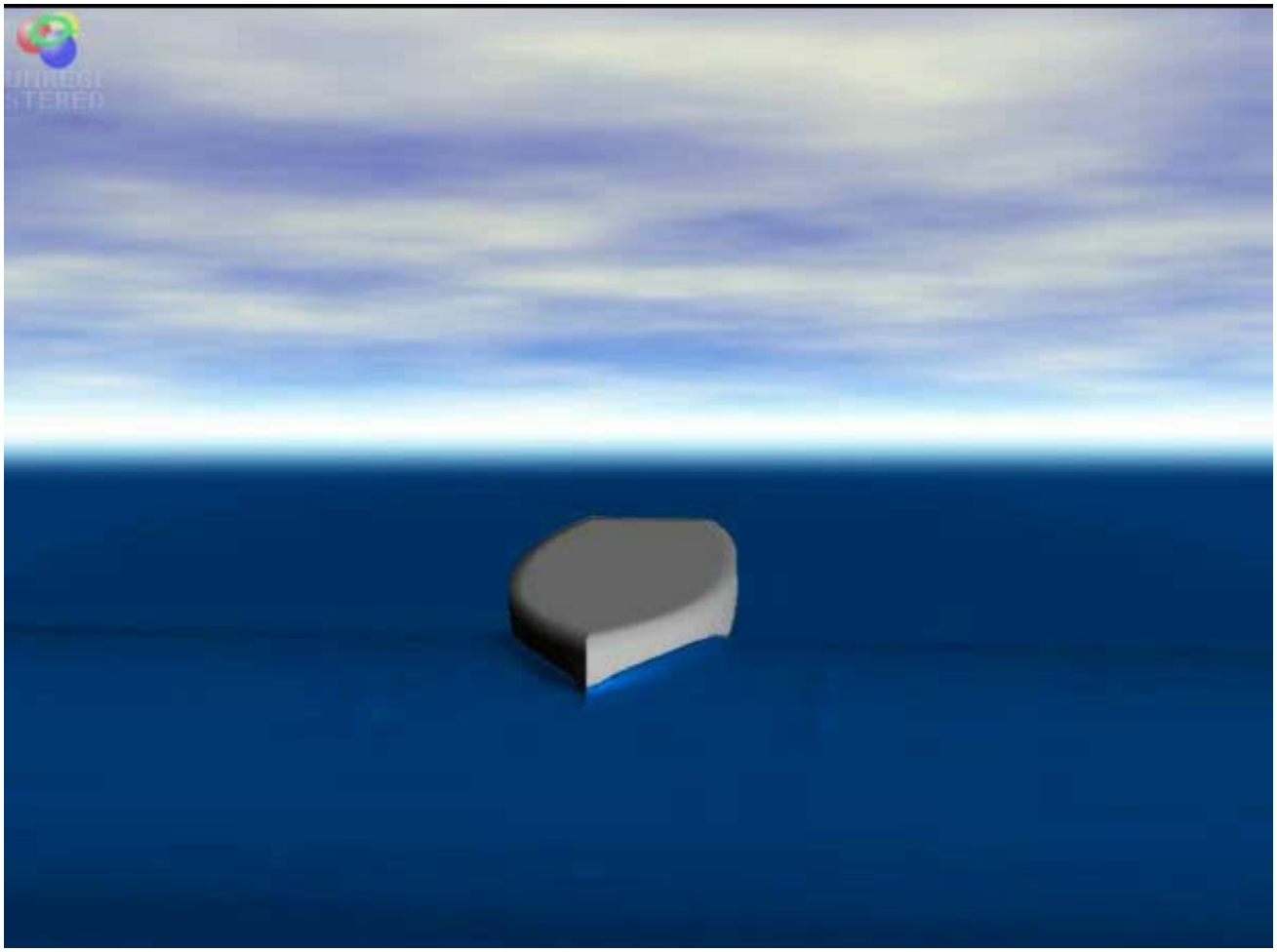

ISLA DE GUADALUPE
BAJA CALIFORNIA
GOES-9 VISIBLE IMAGE -- VON KARMAN VORTICES -- 25 JULY 1996 (18:45 UT) UW/SSEC/CIMSS McIDAS

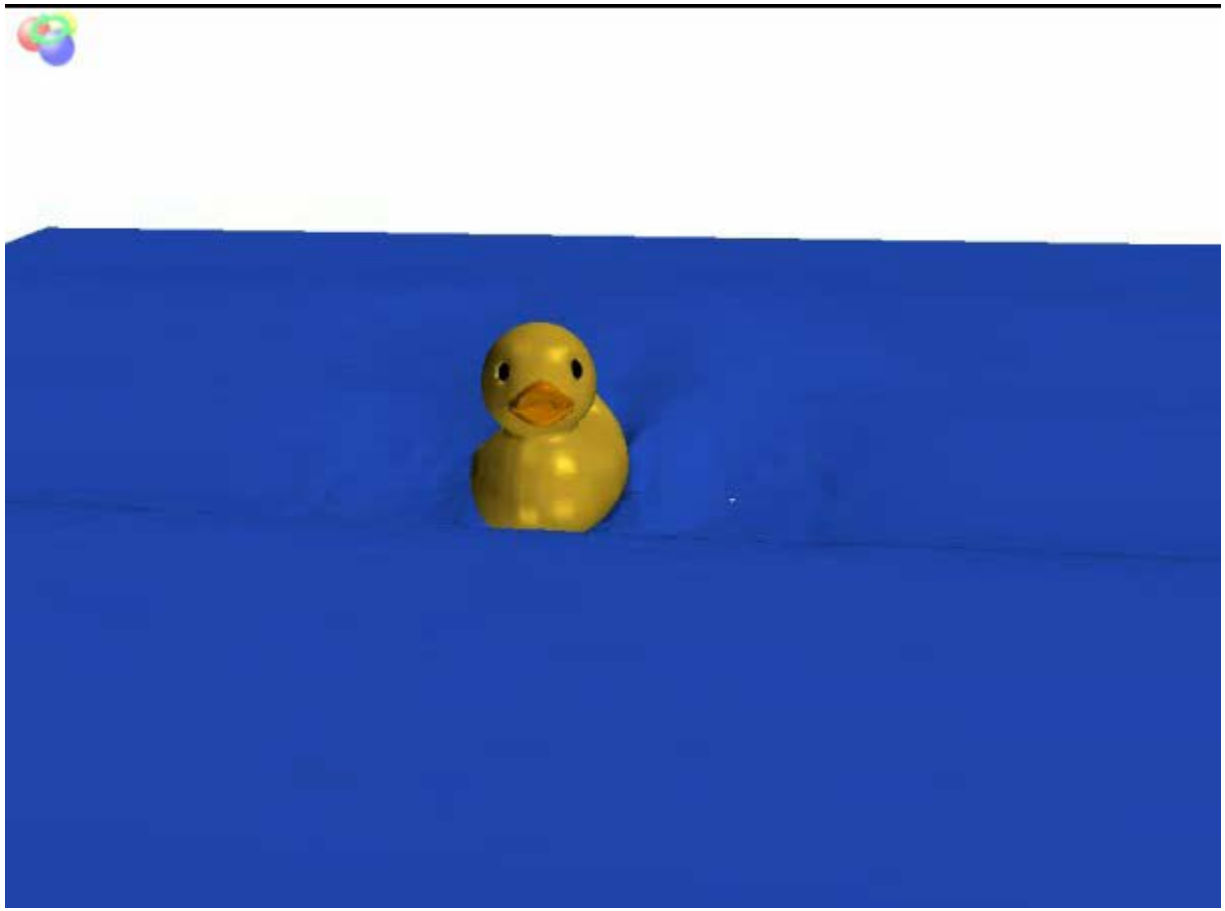
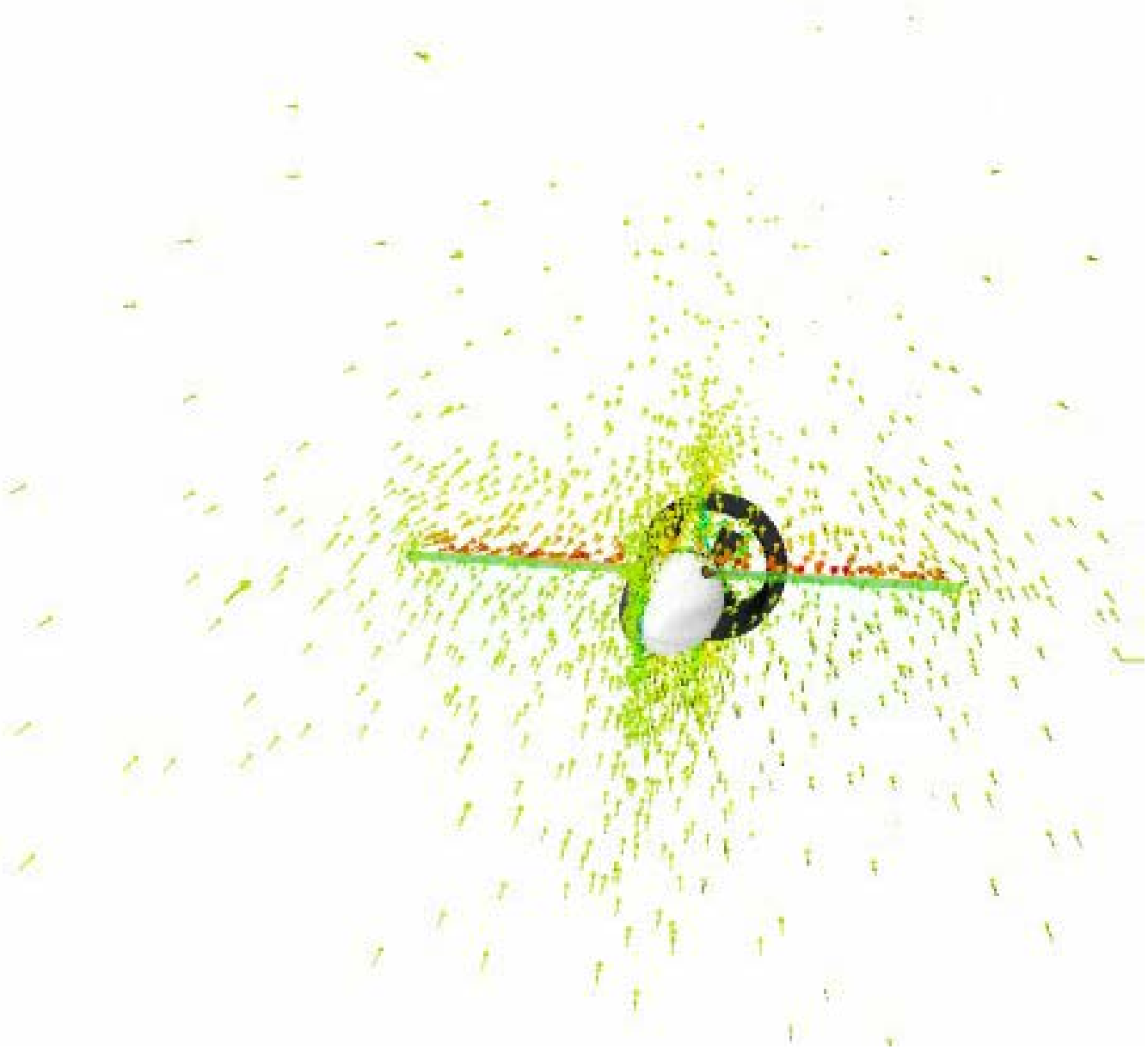












STAR-CCM+