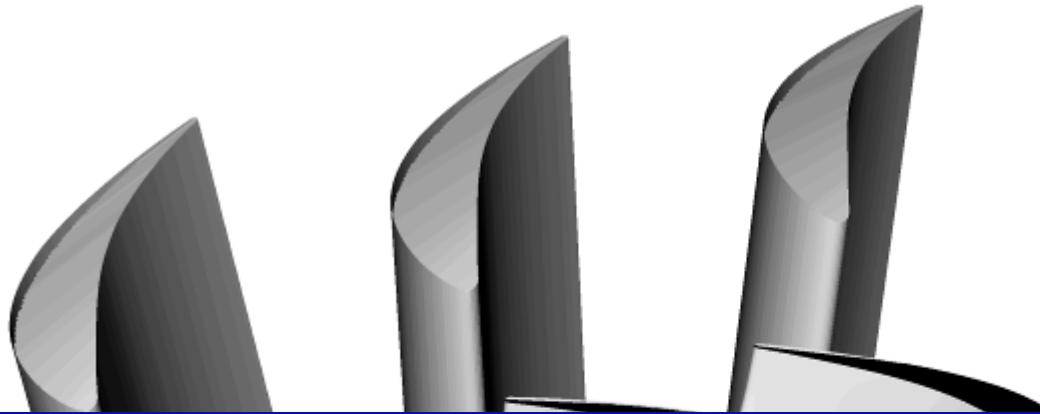




Gijón, 27 de Marzo 2008



# Investigaciones Aerodinámicas en el instituto von Karman for Fluid Dynamics

**Guillermo Paniagua**

von Karman Institute for Fluid Dynamics  
Chaussée de Waterloo, 72  
1640 Sint Genesius Rode, Belgium

[paniagua@vki.ac.be](mailto:paniagua@vki.ac.be)

# La investigación en el instituto von Karman

Centre Technique de l' Aéronautique Belge  
C.N.E.R.A

## Hélicoptère FLORINE II

1933 - record del Mundo de Vuelo



FUNDADO EN 1956 (celebración del 50 aniversario 10/2006)

von Karman  
Institute

*von Karman Institute*



# La investigación en el instituto von Karman

## ❖ Creación

- En 1956, por el Prof. Théodore von Karman



## ❖ Misión

- Enseñar la investigación a través de la investigación activa

## ❖ Status

- Asociación International sin ánimo de lucro, « PYME » para la CE

## ❖ Educación (cada año)

- Diploma Course (Research Master, Master after master) de 9 meses → 33 estudiantes
- Doctorado de 3 à 4 años (**PARA QUE SIRVE?**) → 38 candidatos
- Stagiaires (TFE) → 70 estudiantes

## ❖ Personal ≈ 96

➤ PROFESSEURS 13

## ❖ Instalaciones ≈ 45

➤ INGENIEROS 14

➤ TECHNICOS DE LABO. 20

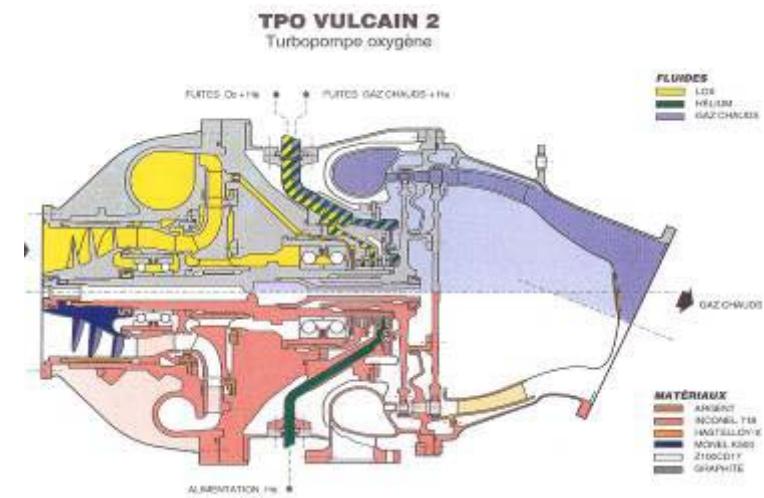
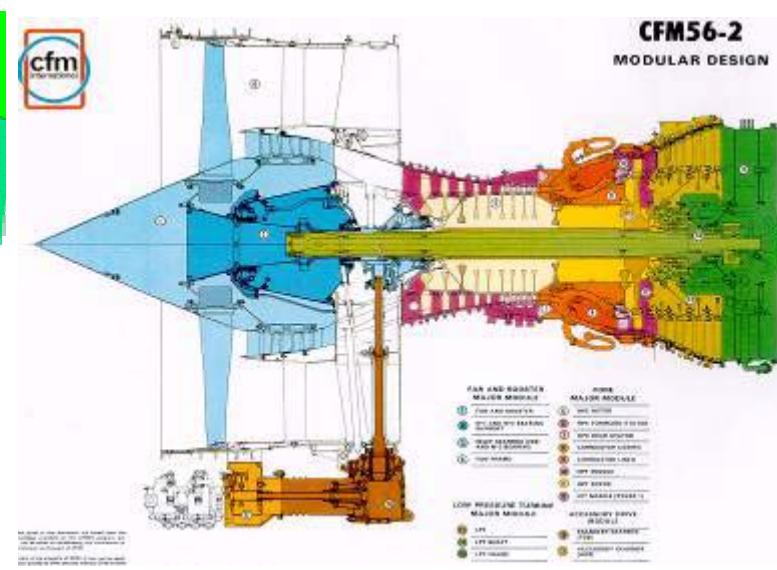
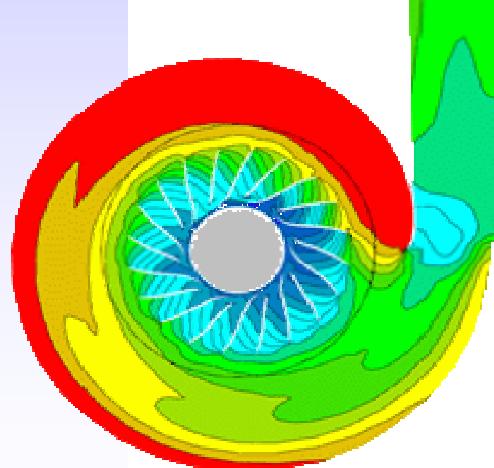
## ❖ Actividades

- AERONAUTICA & AEROESPACIAL
- MEDIO AMBIENTE & PROCESOS INDUSTRIALES
- TURBOMAQUINAS & PROPULSION

# La investigación en el instituto von Karman

## ❖ Compresores axiales y radiales, Turbinas y Bombas

- Aerodinámica estacionaria y no estacionaria
- Transferencia de calor externo & interno
- Método Inverso y optimización de diseño
- Instrumentación de respuesta rápida



# La investigación en el instituto von Karman

## Bancos de ensayo



- Compresor y turbina en cascadas lineales
- Canales de refrigeración en bancos fijos y en rotación
- Banco de etapas de turbina
- Túnel de etapas de compresor
- Tobera de calibración

## Útiles de simulación

- 3D Euler
- 3D Navier – Stokes
- Diseño inverso y algoritmos de optimización
- Estudios multidisciplinarios



# La investigación en el instituto von Karman

## Educación especializada

Stagiaire (Short training programme) / Diploma course

Doctorado (PhD)

## Organización de conferencias

Aeroengine design, from state of the art turbofans towards innovative architectures

**3-7 Mars 2008**

19<sup>th</sup> Symposium on Measurement Techniques

**7-8 Avril 2008**

Structural Design of Aircraft Engines - Key objectives and techniques

**13-16 mai 2008**

## Presentación de resultados en conferencias y revistas

ASME TurboExpo, ETC, ISABE, ISAIF, WSEAS, ISUUAT, AIAA, IAC...

# Tabla de Contenidos

**Motores de Turbinas de Gas**

**Áreas de Investigación**

**Flujo no Estacionario en Turbinas de Alta Presión**

**Diseño de Turbinas Contrarrotativas**

**Instituto von Karman → Programas de Formación**



# Motores de Turbinas de Gas

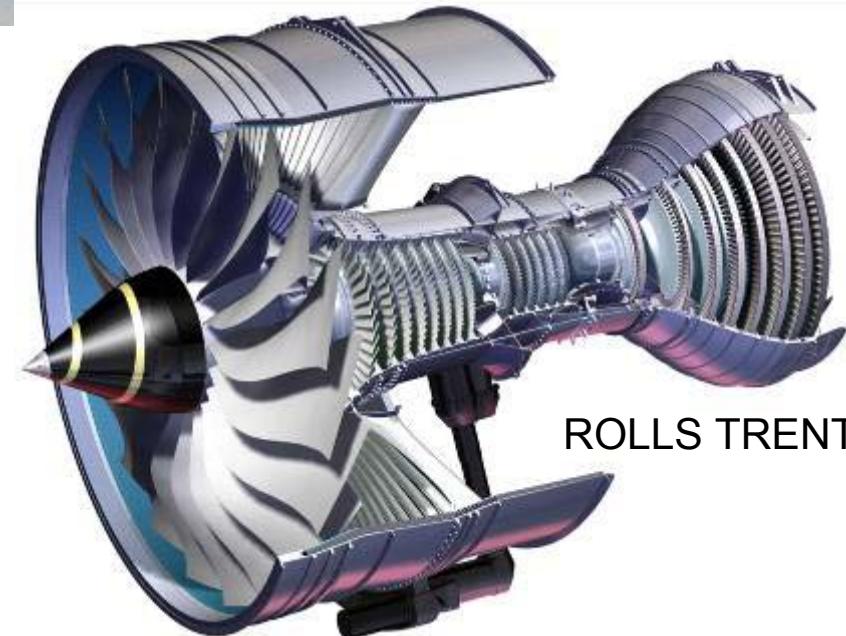
Porque utilizar turbinas de gas?

BOEING 7E7 o 787

Longitud: 62 m  
Envergadura: 60 m  
Peso: 226800 kg



Empuje: 334 kN  
Peso: 5400 kg



ROLLS TRENT 1000

# Motores de Turbinas de Gas

A380 Longitud: 73 m  
Envergadura: 80 m  
Peso: 560000 kg

Rolls Trent 970 Empuje: 338 kN



Trent 900  
Testing | First Flight

In flight On time May 17th 2004



von Karman Institute

# Tabla de Contenidos

**Motores de Turbinas de Gas**

**Áreas de Investigación**

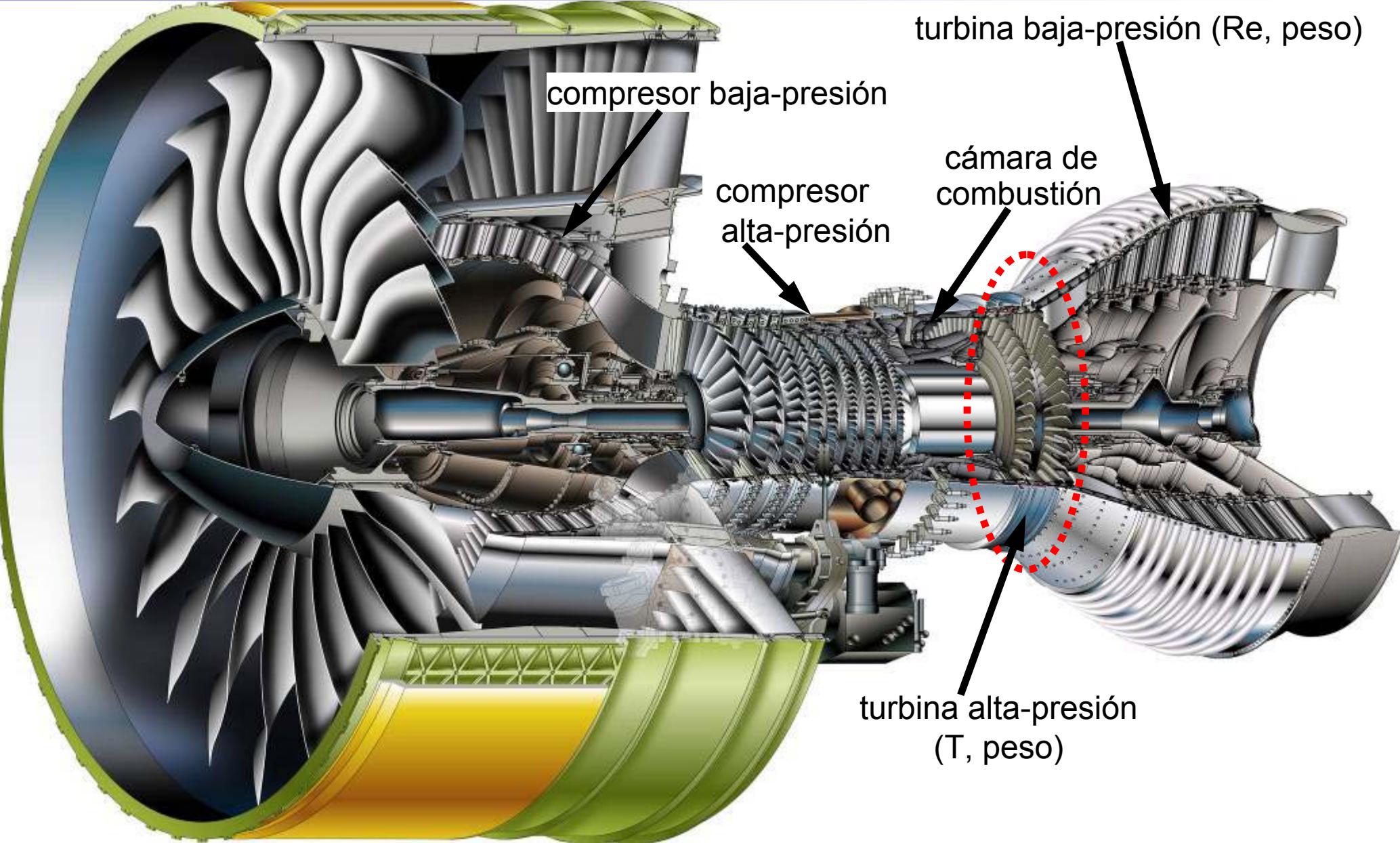
**Flujo no Estacionario en Turbinas de Alta Presión**

**Diseño de Turbinas Contrarrotativas**

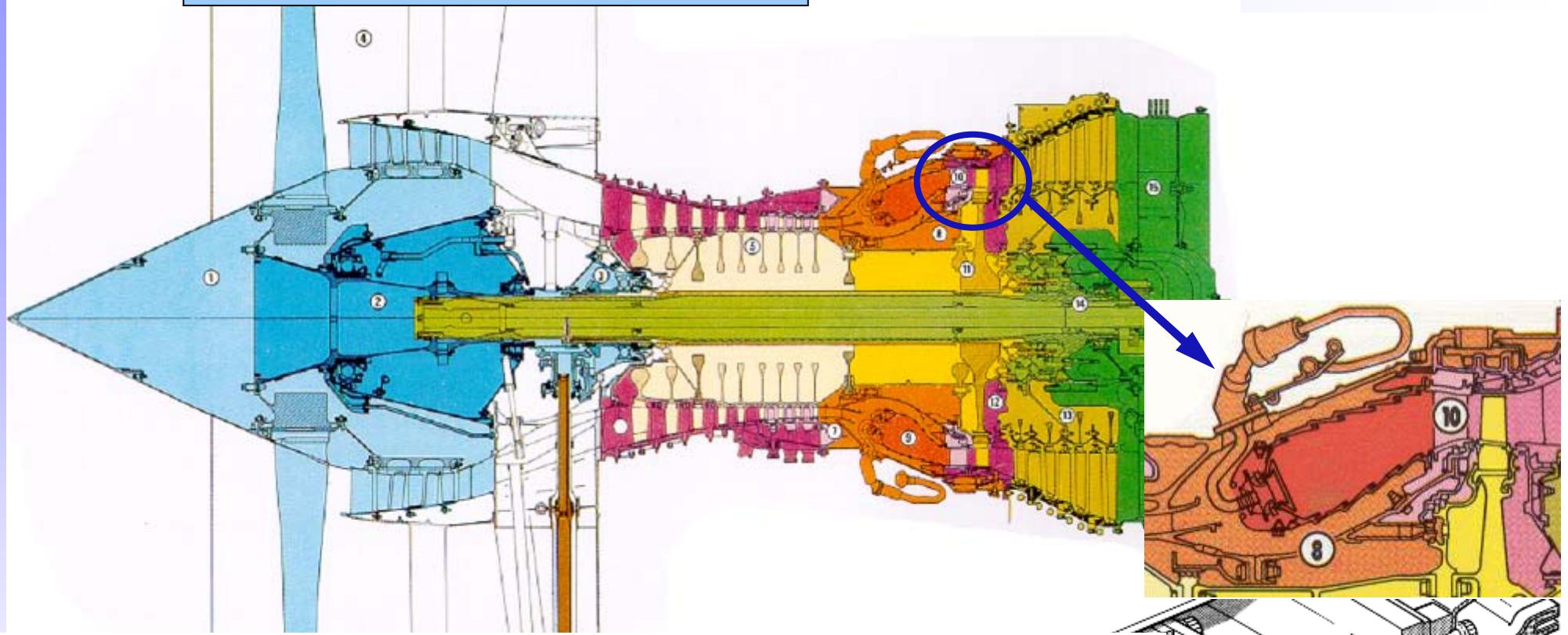
**Instituto von Karman → Programas de Formación**



# Áreas de Investigación



# Áreas de Investigación



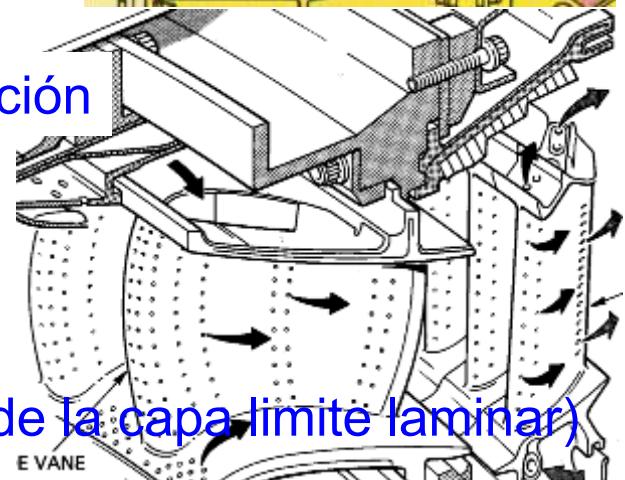
HP: aguas abajo de la cámara de combustión → refrigeración

HP: altas velocidades de giro ~450m/s

HP: Num. de Reynolds por encima de  $10^6$

LP: Velocidad periférica limitada por el fan

LP: Reynolds inferior a  $10^5$  → riesgo de desprendimiento de la capa límite laminar)

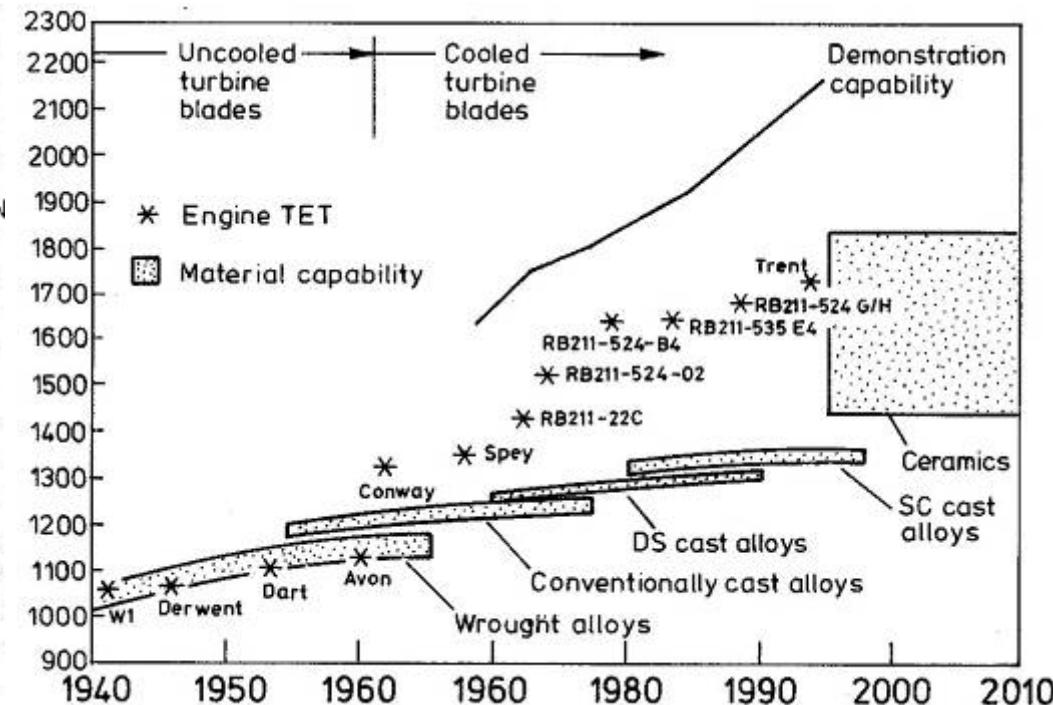
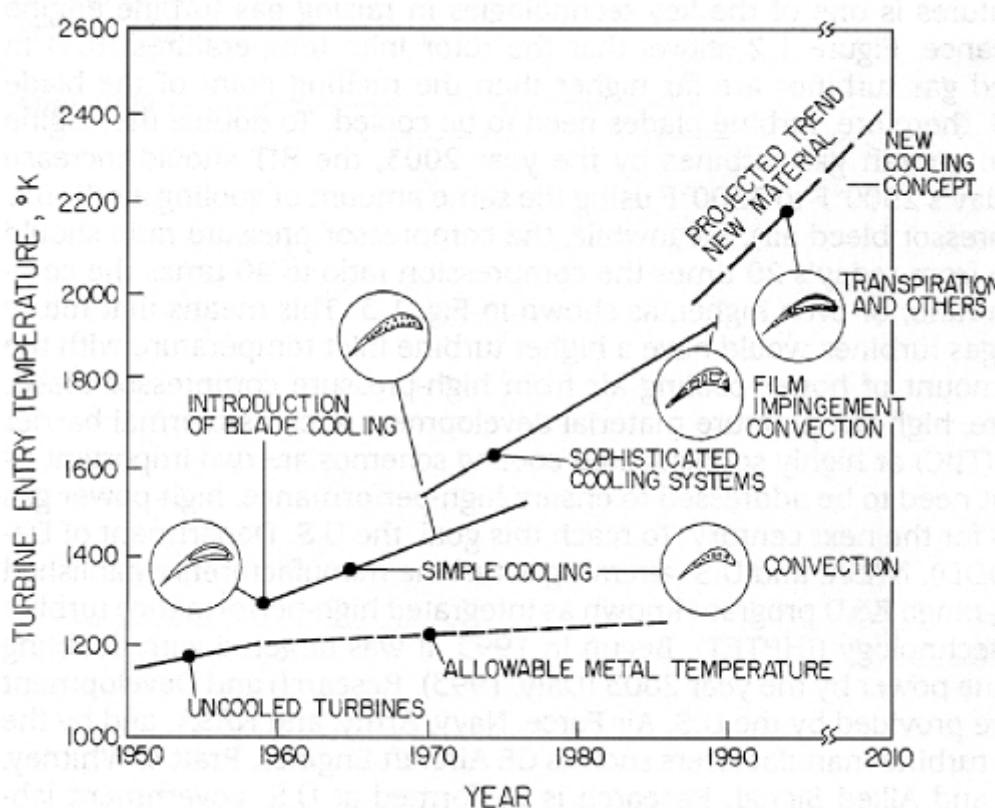


# Áreas de Investigación

Temperatura de salida de la cámara de combustión

Eficiencia y empuje aumentan con la temperatura

Diseño del sistema de refrigeración requiere conocer la transferencia de calor



## Áreas de Investigación

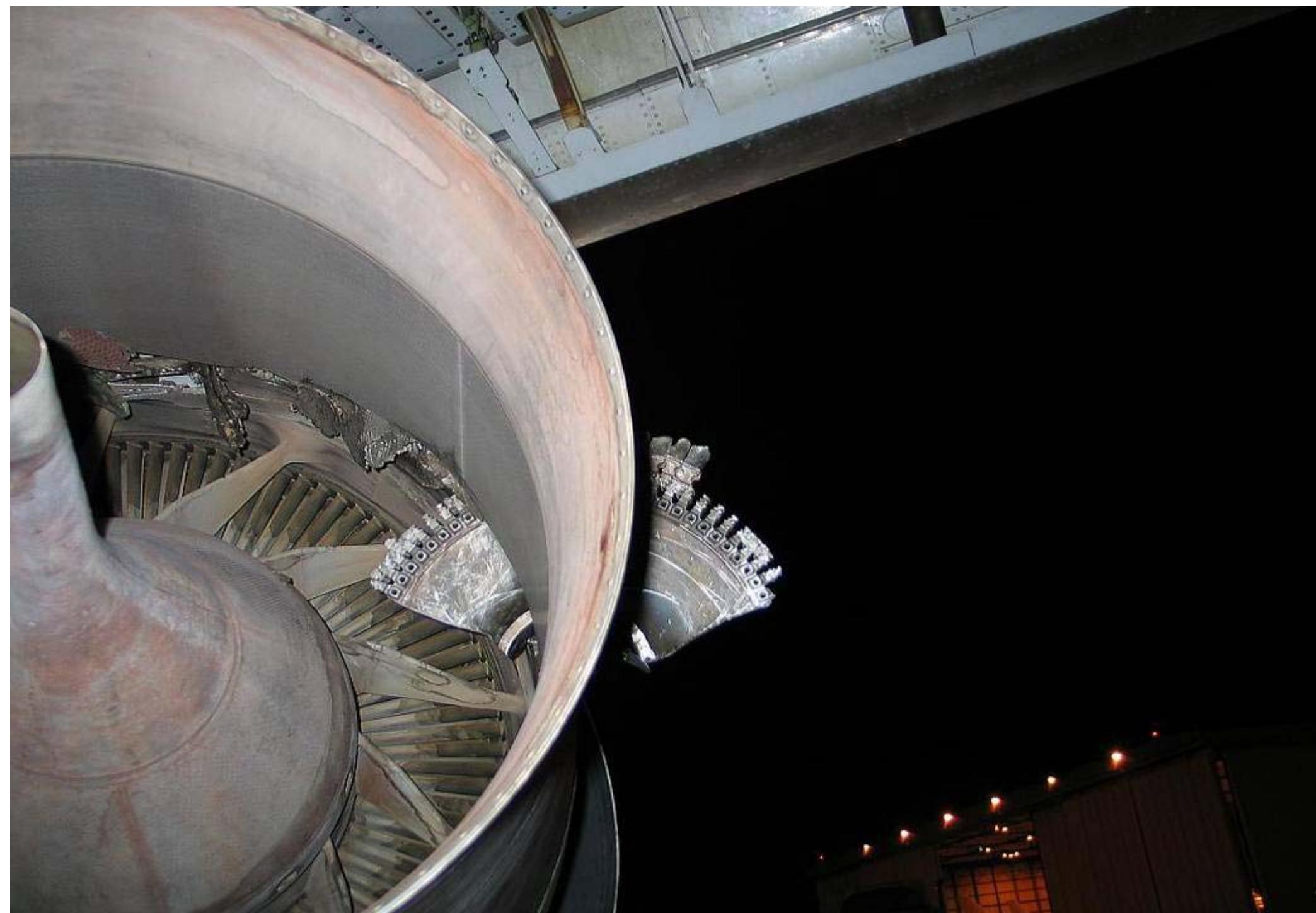
La vida del motor tiene que estar garantizada → riesgo 0

Evitar problemas de fatiga de alto numero de ciclos

American Airlines B767-223ER  
N330AA

Fallo catastrófico en el Aeropuerto de los Ángeles  
02/06/2006





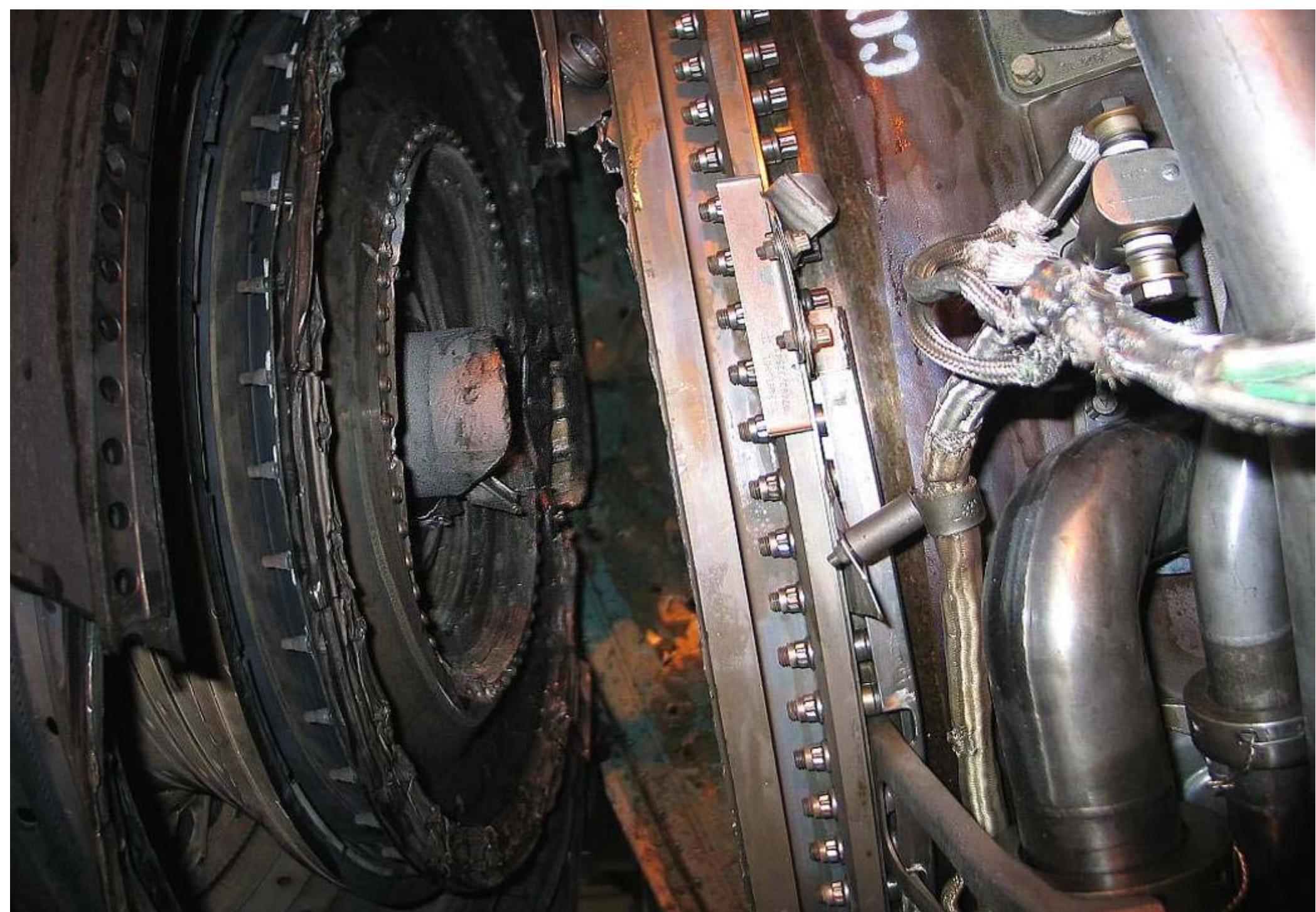


SUMP DRAIN  
AUX TANK

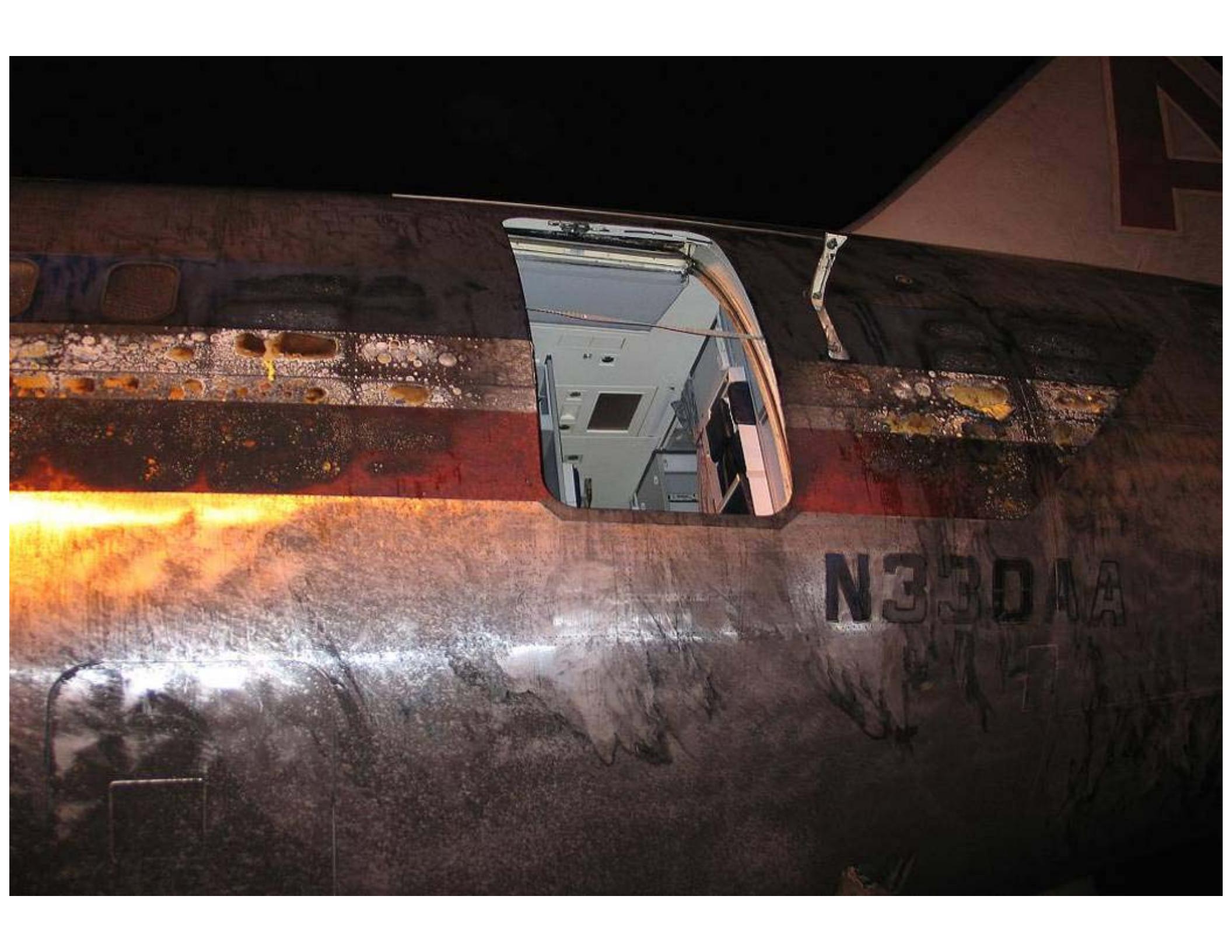
SUMP DRAIN  
AUX TANK

STEP DOWN IS NOT  
PERMITTED UNLESS  
WORKING IN ENCLOSED  
PROTECTIVE AREA









N3301A







# Áreas de Investigación

Coste del desarrollo de un motor ~1000 millones de Euros

Mejora de un 0.2 - 0.4% eficiencia en la turbina → nuevo desarrollo

El 'generador de gas' de un motor se usa en varios

SNECMA M56

GE

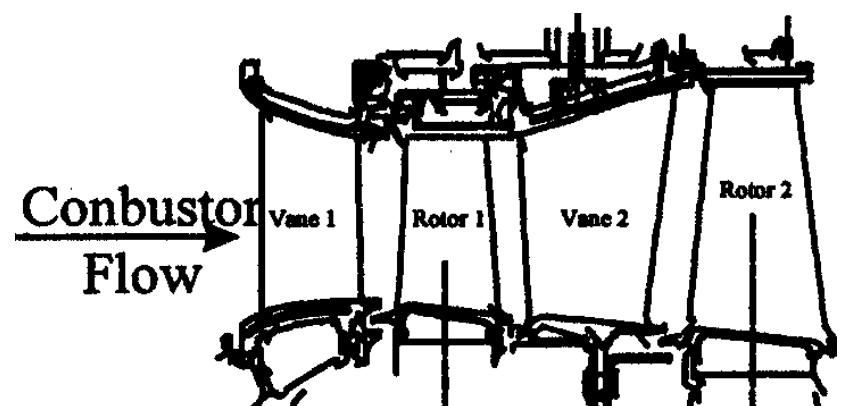
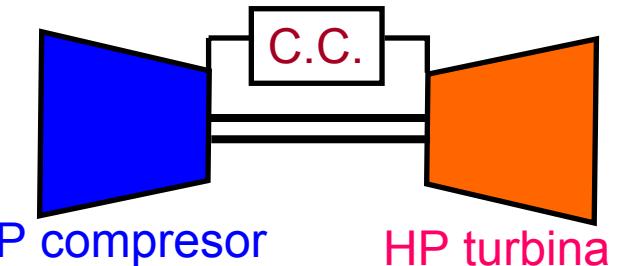
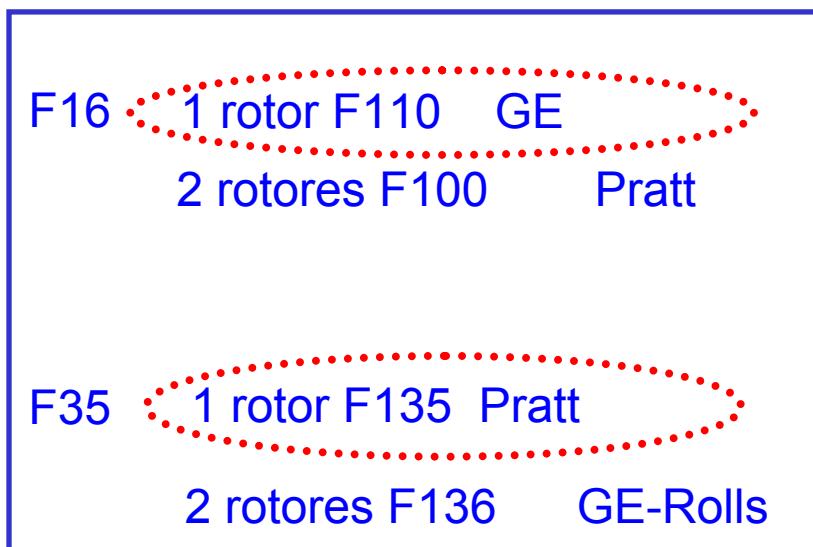
GE13



CFM56

→ F101 (B-1)

F110 (F-16, F-14)



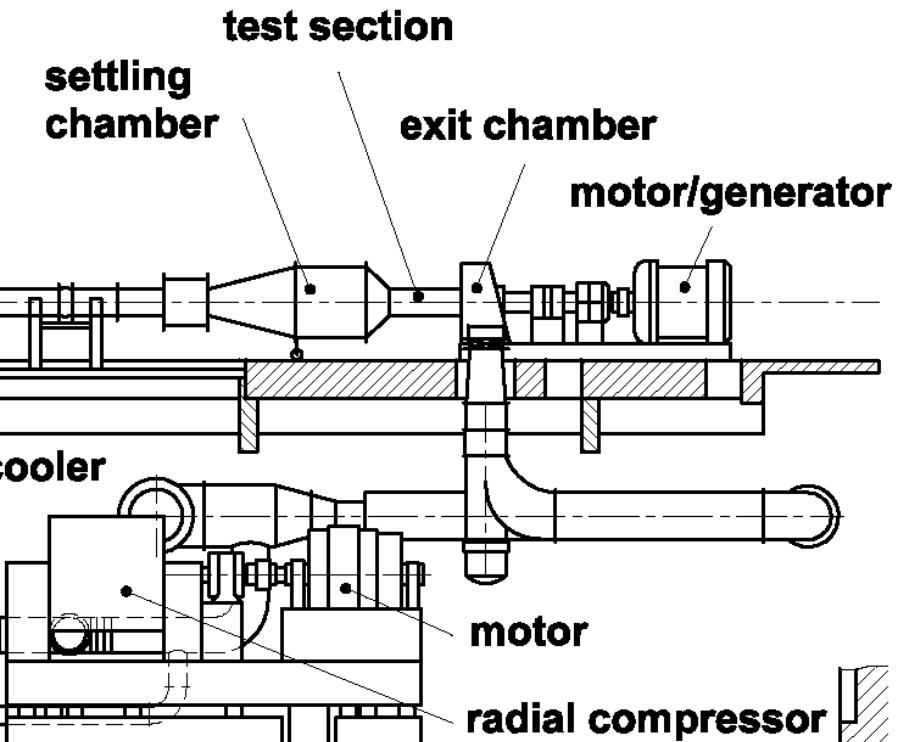
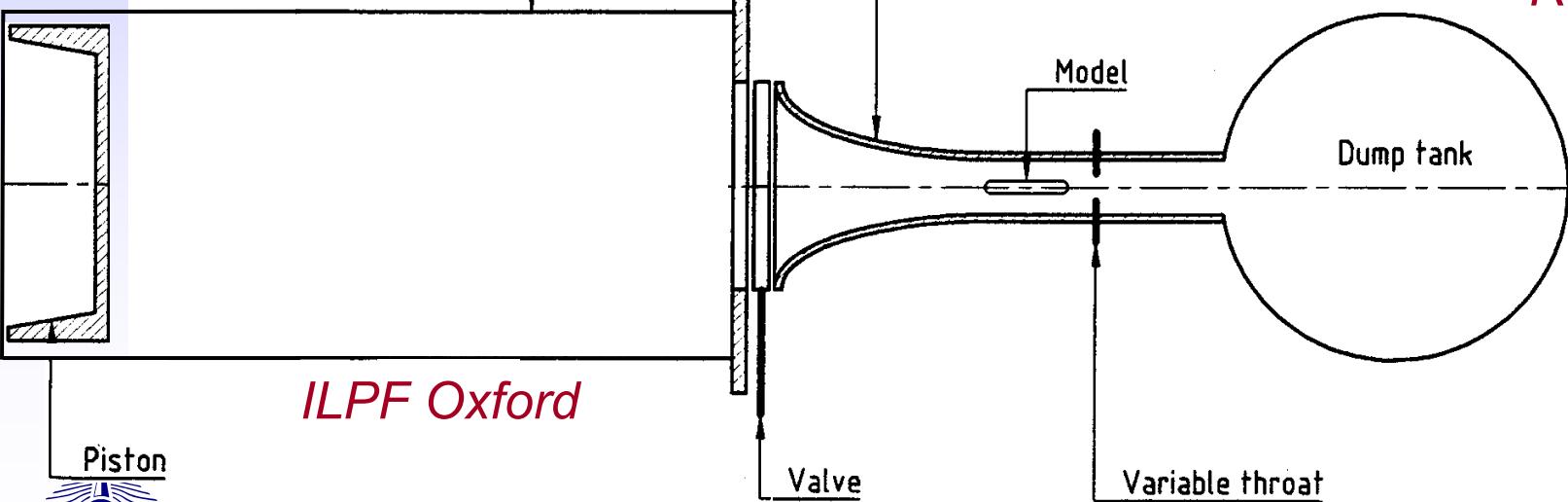
# Áreas de Investigación

Es necesario comprender la física

Hay dos tipos de bancos de ensayo

operación continua

corta duración



# Tabla de Contenidos

**Motores de Turbinas de Gas**

**Áreas de Investigación**

**Interacción Stator-Rotor**

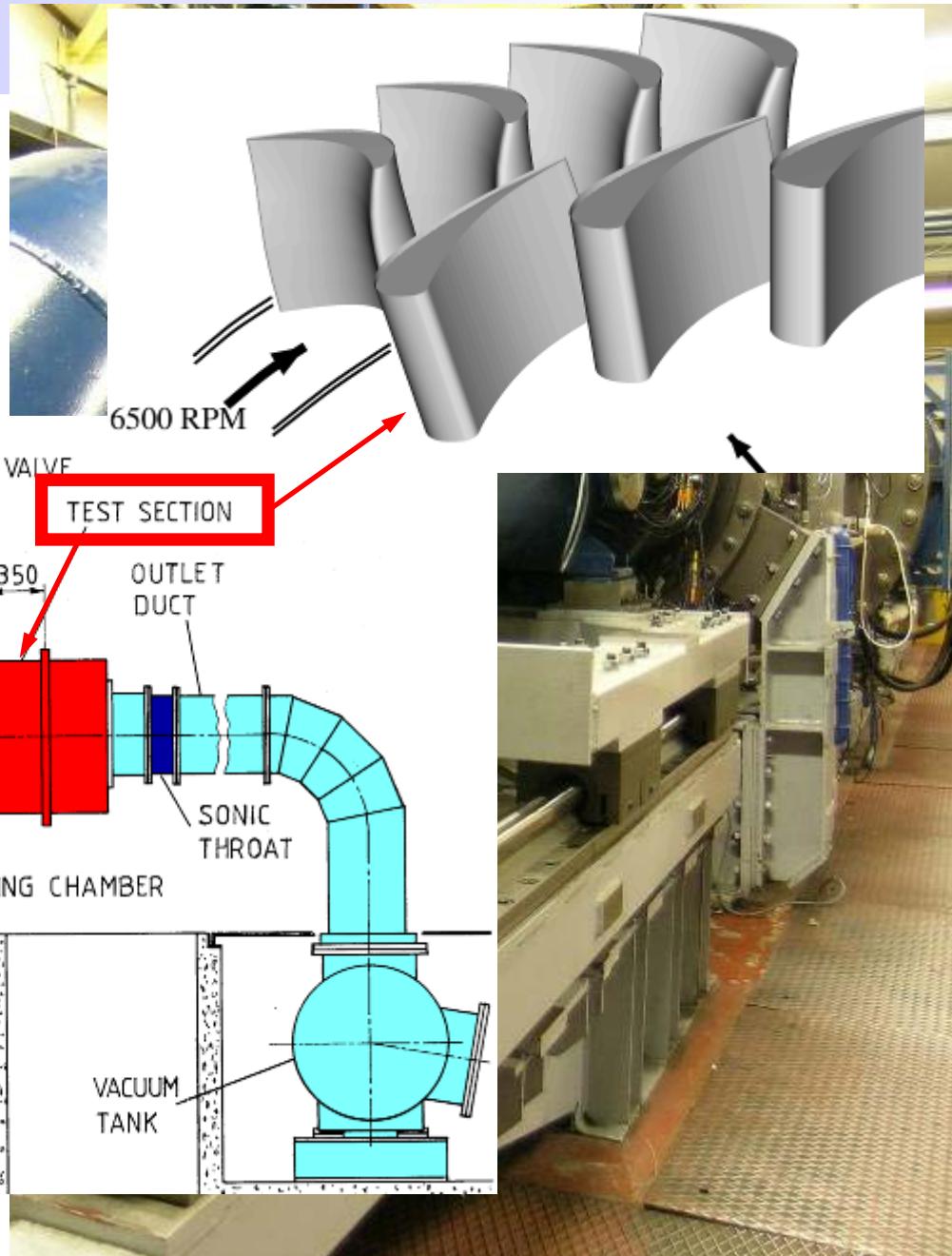
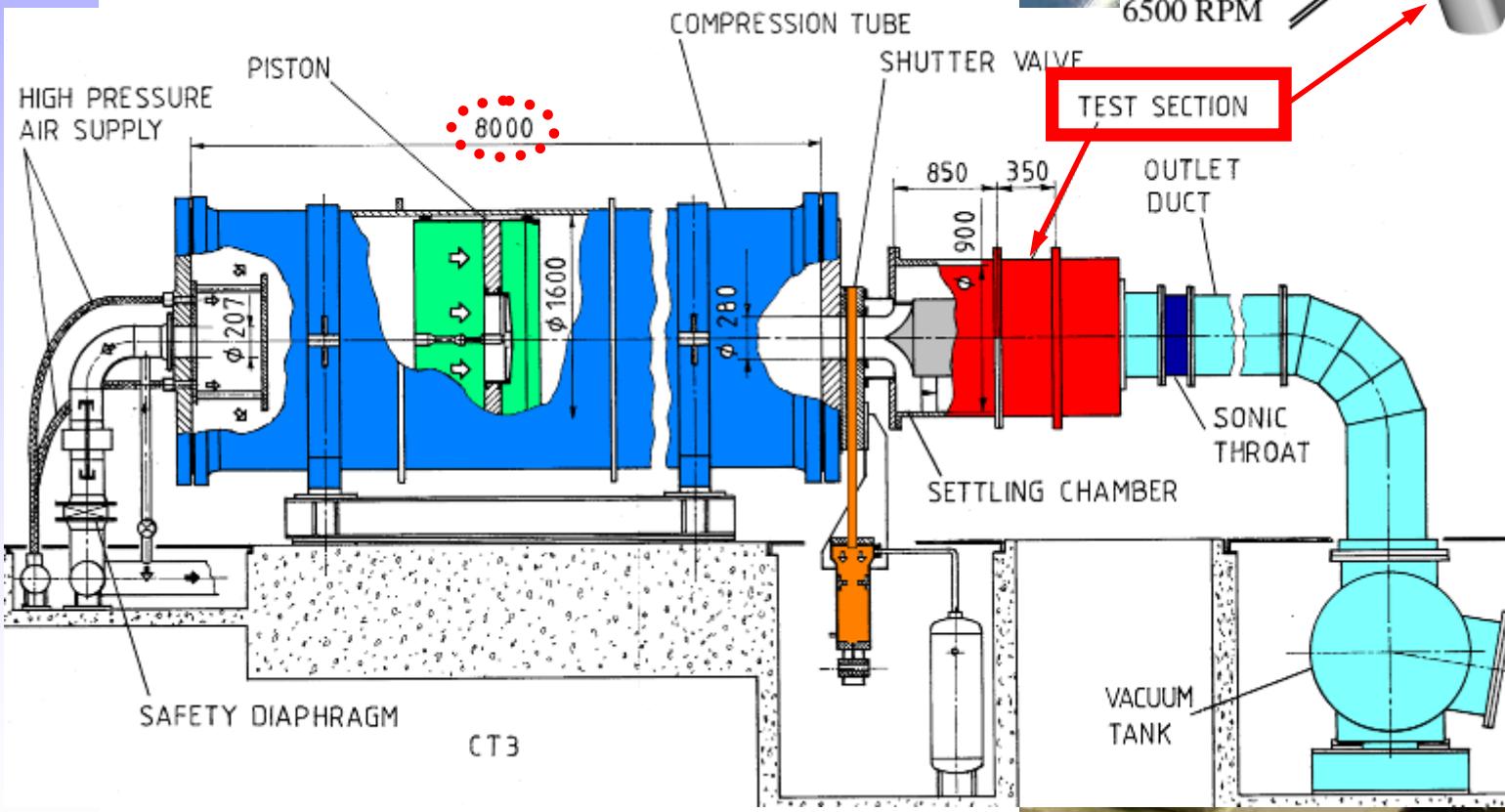
**Diseño de Turbinas Contrarrotativas**

**Instituto von Karman → Programas de Formación**



# Interacción Stator-Rotor

El mayor banco del mundo

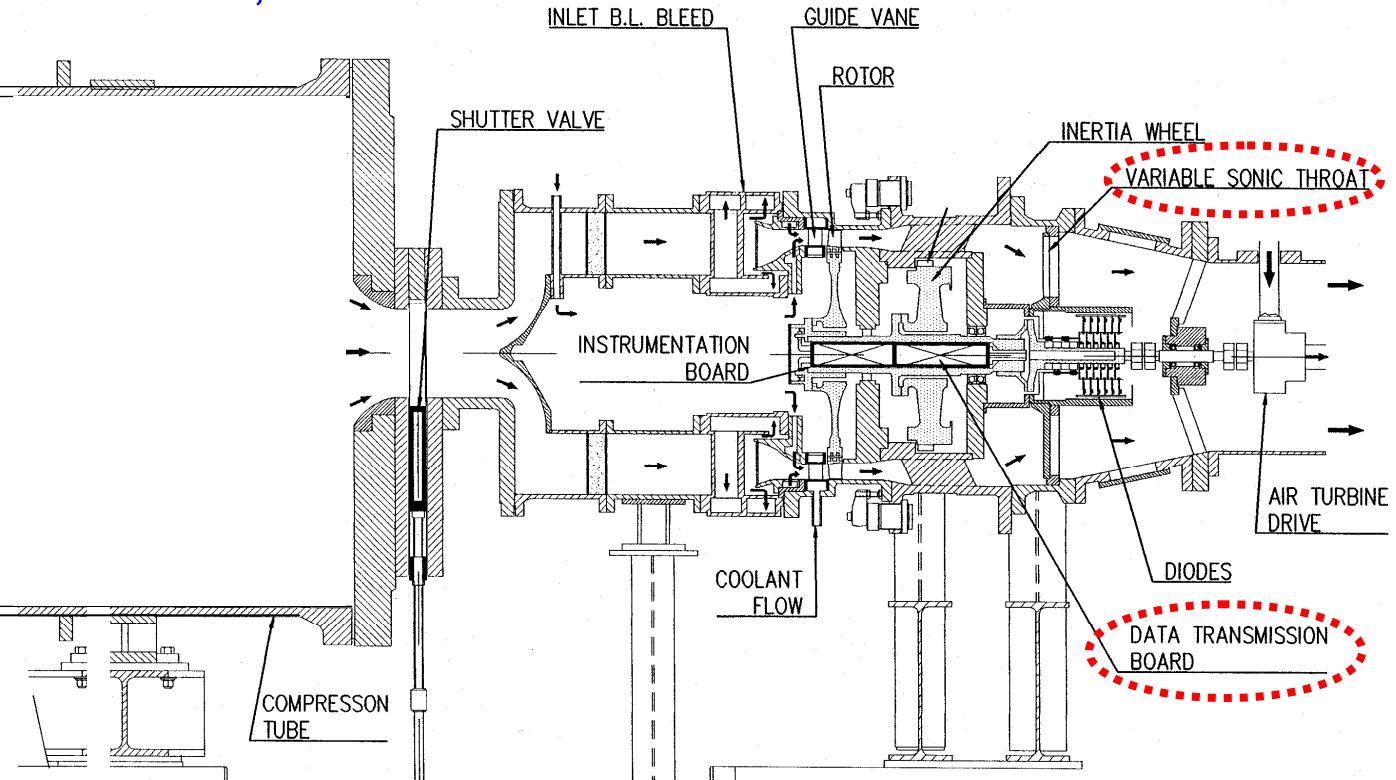


# Interacción Stator-Rotor

# Túnel de Compresión Isentrópica

Similaridad con el motor real:  $Re$ ,  $M$ ,  $T_{gas}/T_{wall}$ ,  $T_{gas}/T_{cooling}$

Corta duración: Coste reducido, medición de la transferencia de calor



Muy instrumentado

No hay freno, la potencia se convierte en aceleración

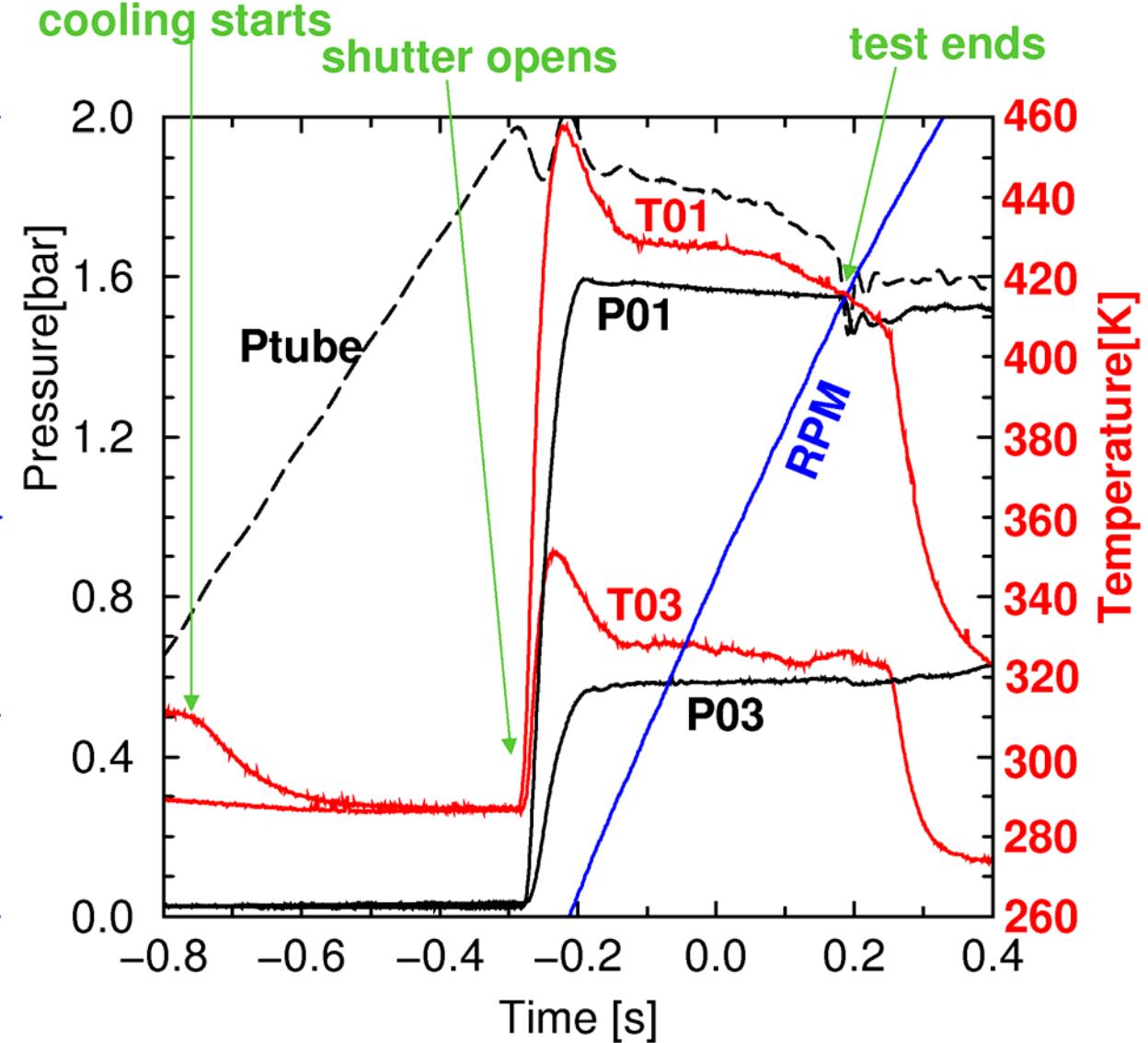
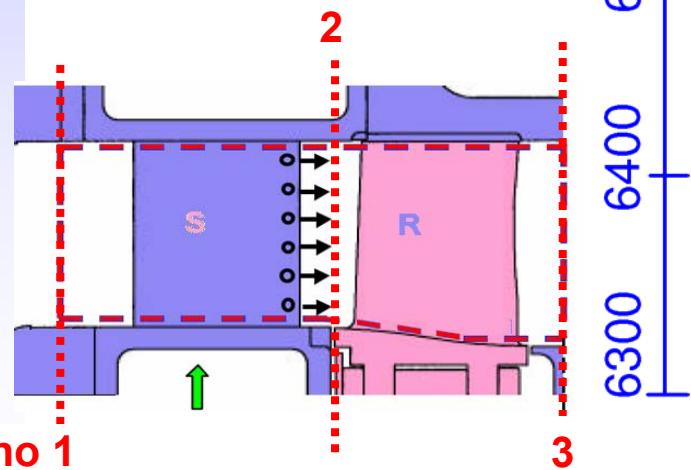
Sistema de transmisión Opto-electrónico



# Interacción Stator-Rotor

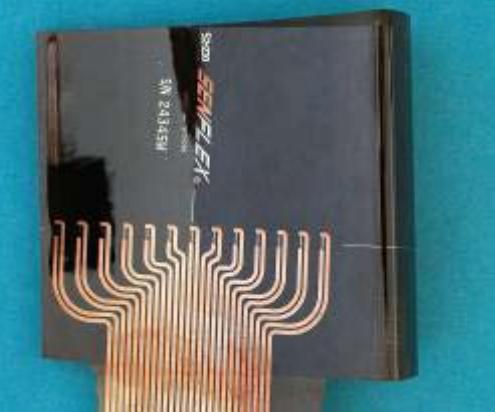
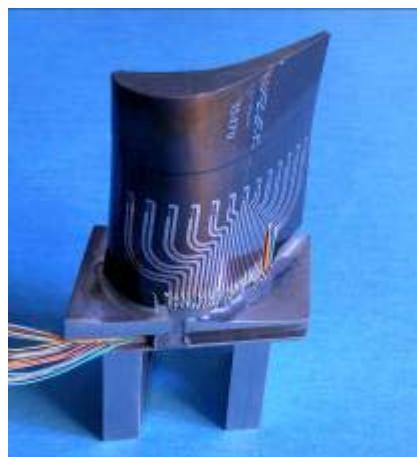
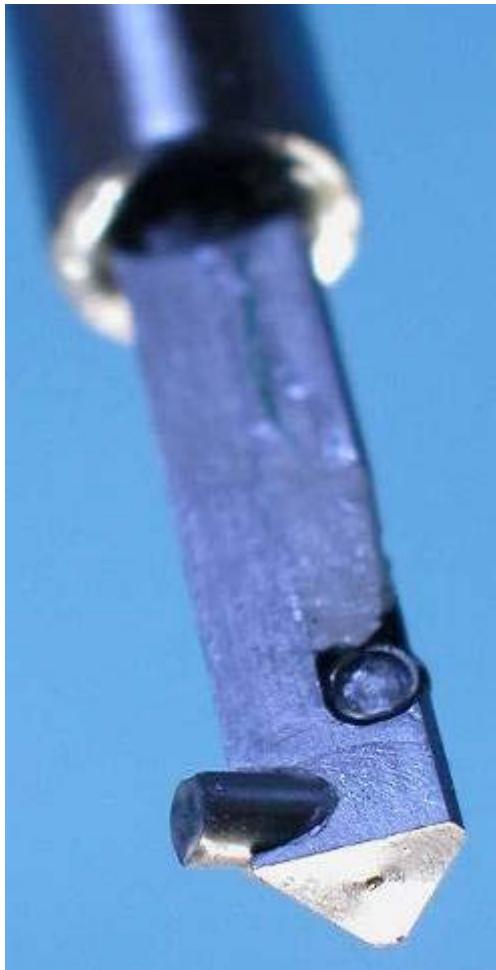
Transitorio de temperatura

Duration : 0.5 s

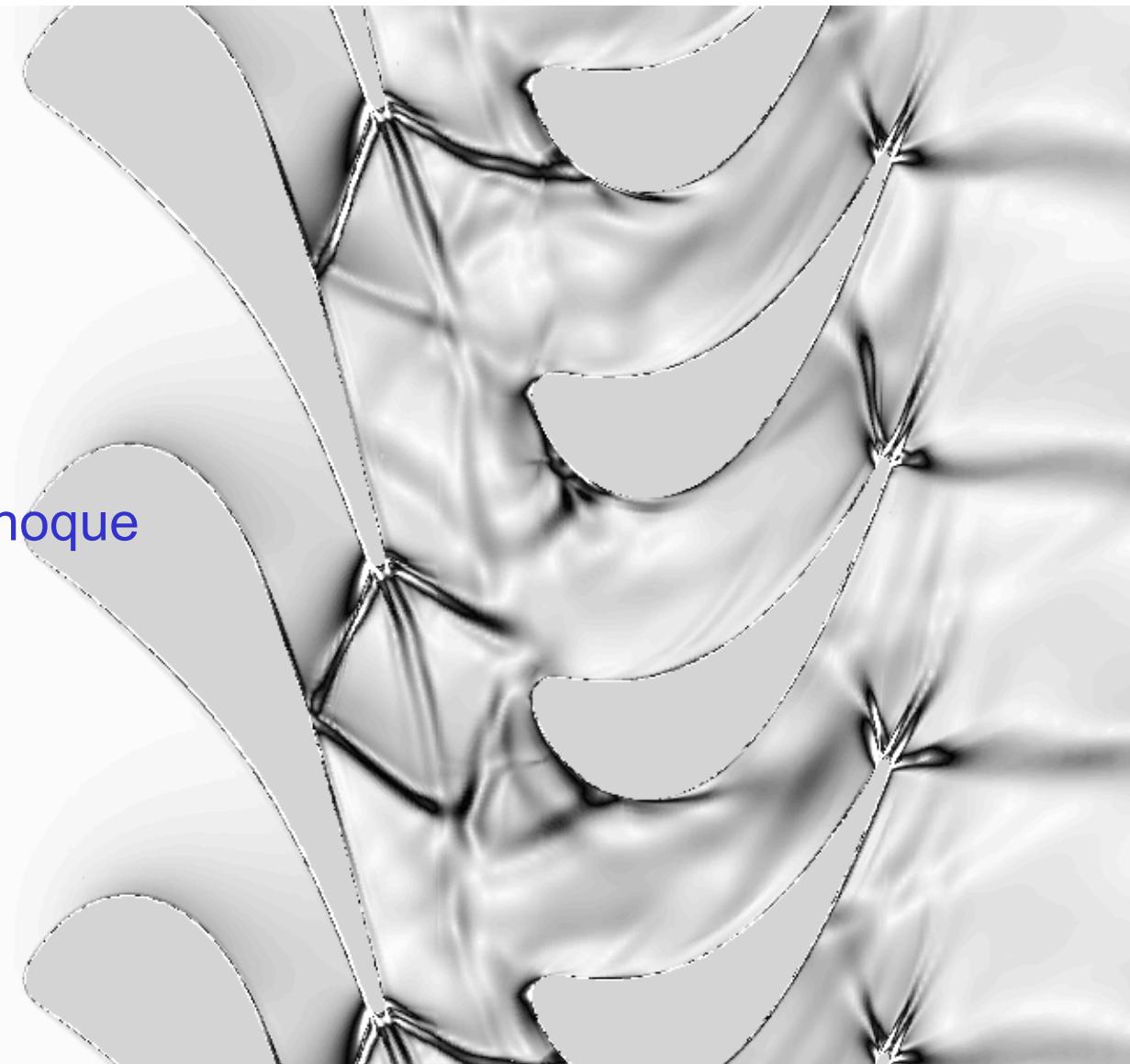


# Interacción Stator-Rotor

## Instrumentación



- $\|\nabla \rho\| / \rho$  reconstrucción
- $H/H_0 = 25\%$
- Interacciones de ondas de choque  
muy complejas

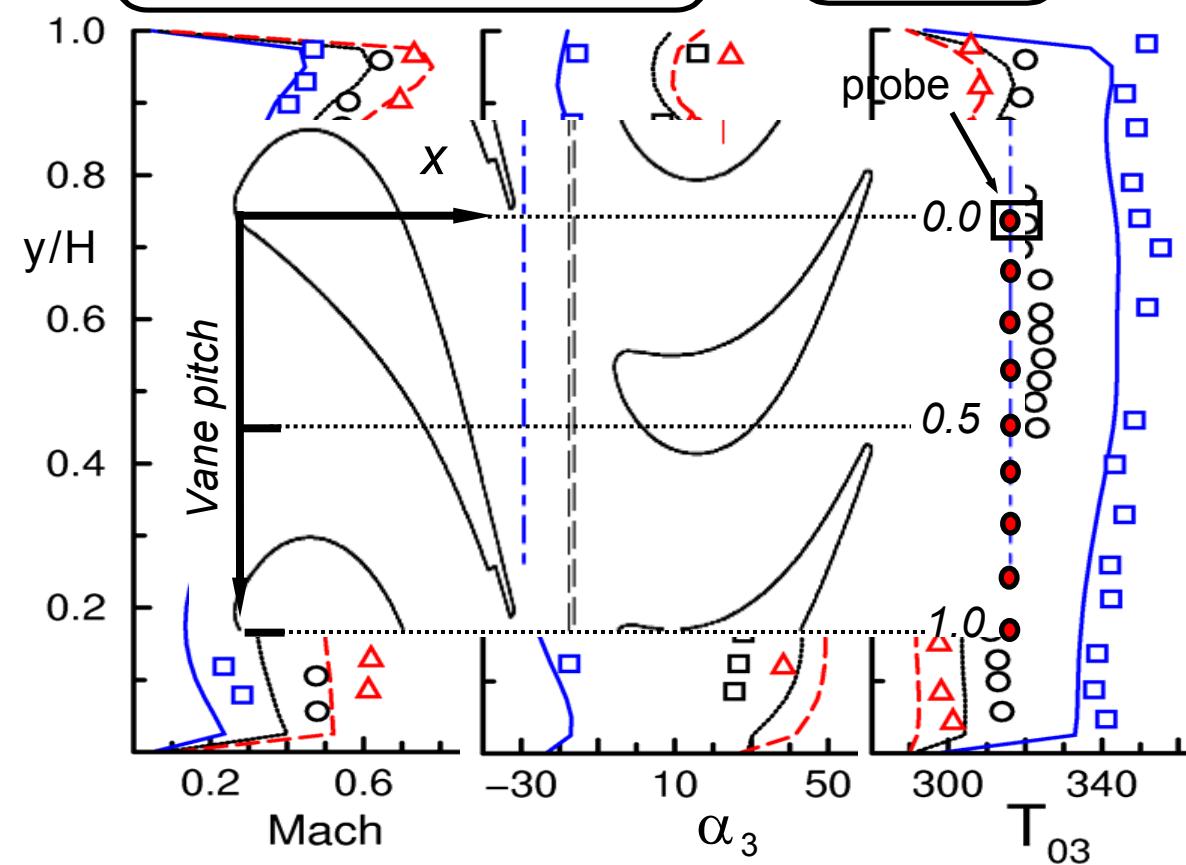


### EXPERIMENTS

- Low ( $P_{01}/P_{S3}=2.42$ )
- Nom ( $P_{01}/P_{S3}=3.86$ )
- △ High ( $P_{01}/P_{S3}=5.12$ )

### CFD

- ..... Low
- Nom
- High



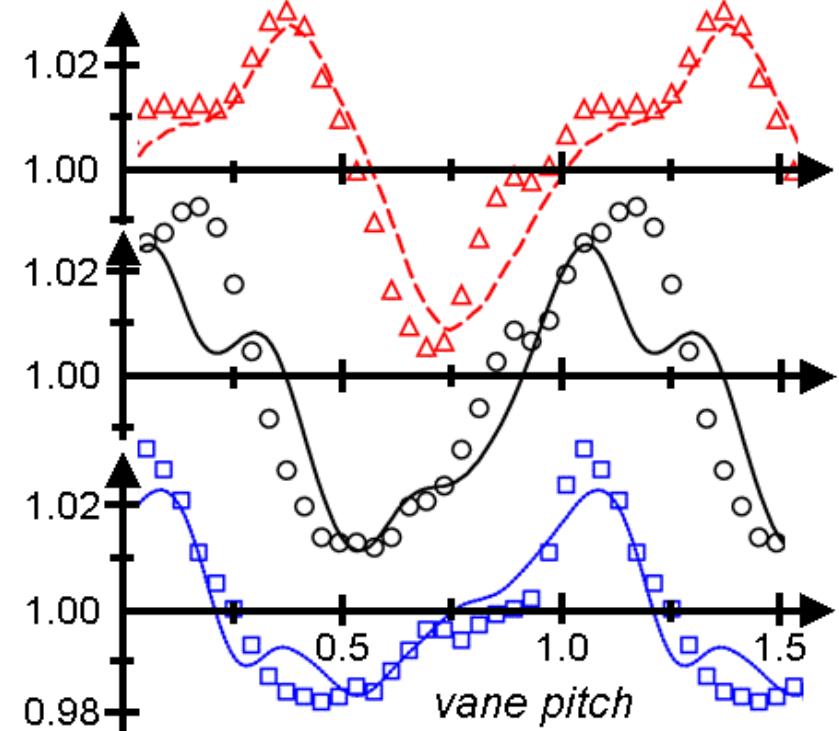
### $P_{03}/P_{S3}$ mid pitch

### EXPERIMENTS

- 15% span ( $P_{01}/P_{S3}=3.86$ )
- 50% span ( $P_{01}/P_{S3}=3.86$ )
- △ 85% span ( $P_{01}/P_{S3}=3.86$ )

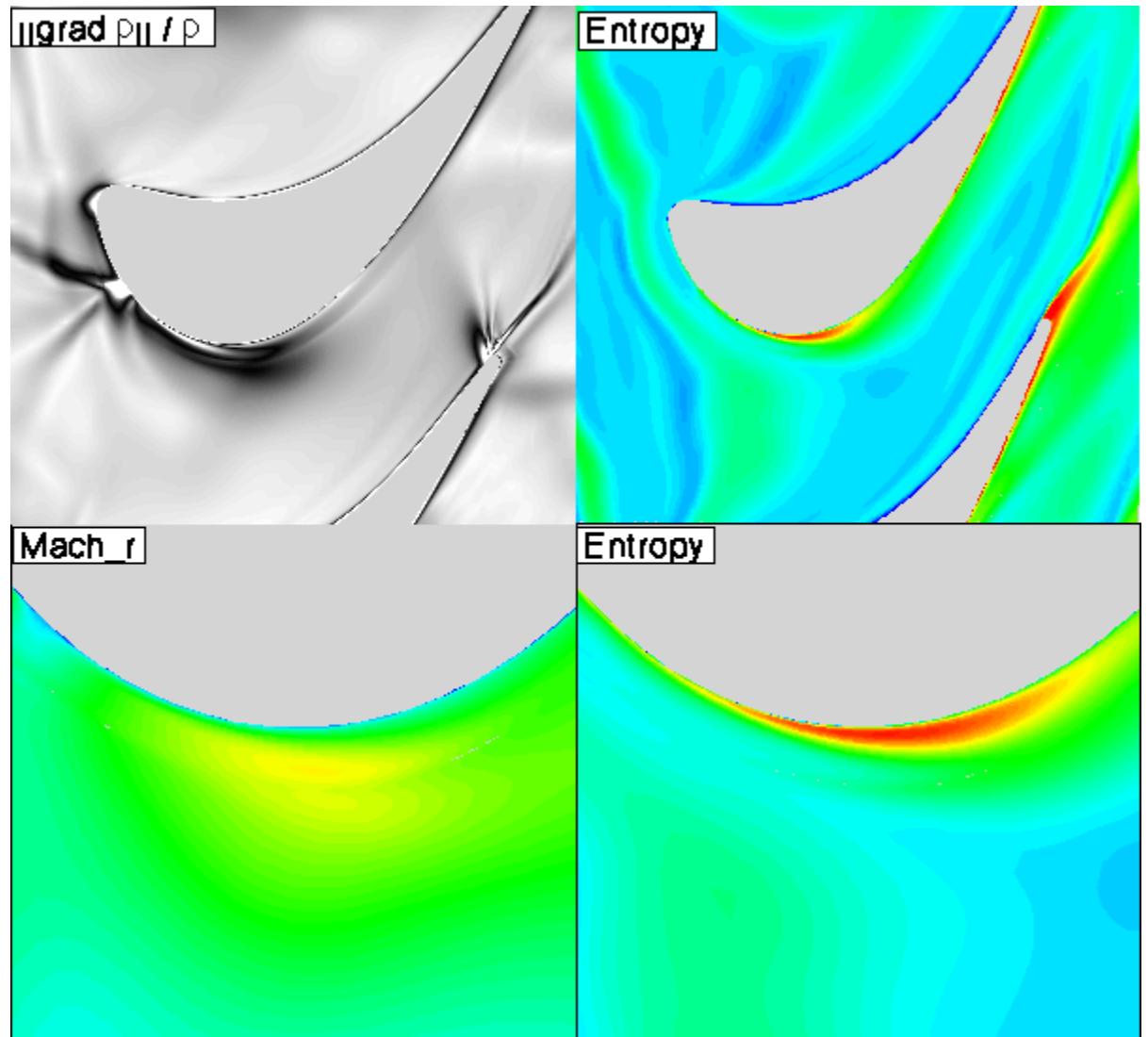
### CFD

- ..... 15%
- 50%
- 85%



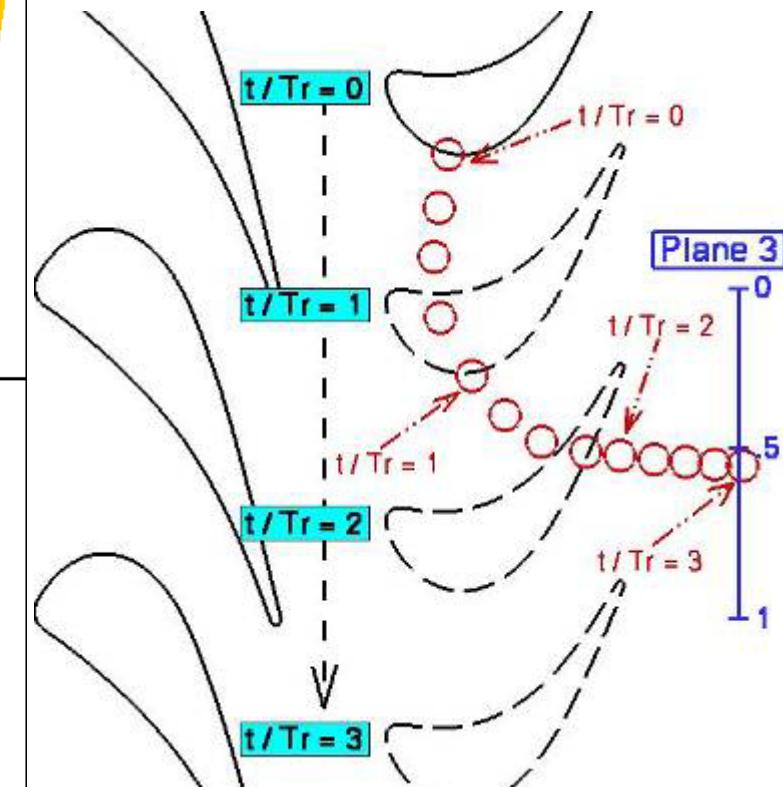
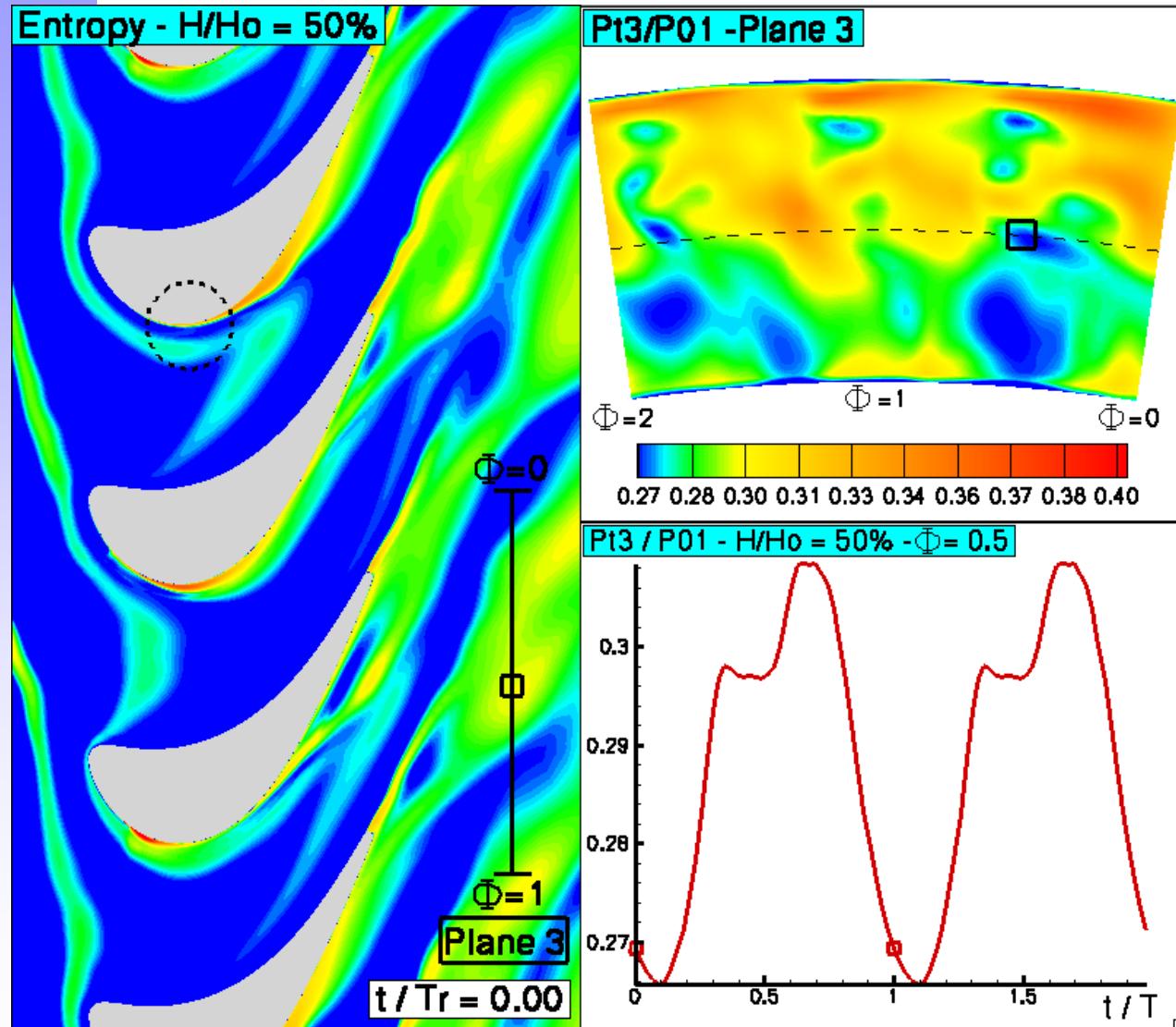
# Interacción Stator-Rotor

Analisis del flujo: Estructura vortical



# Interacción Stator-Rotor

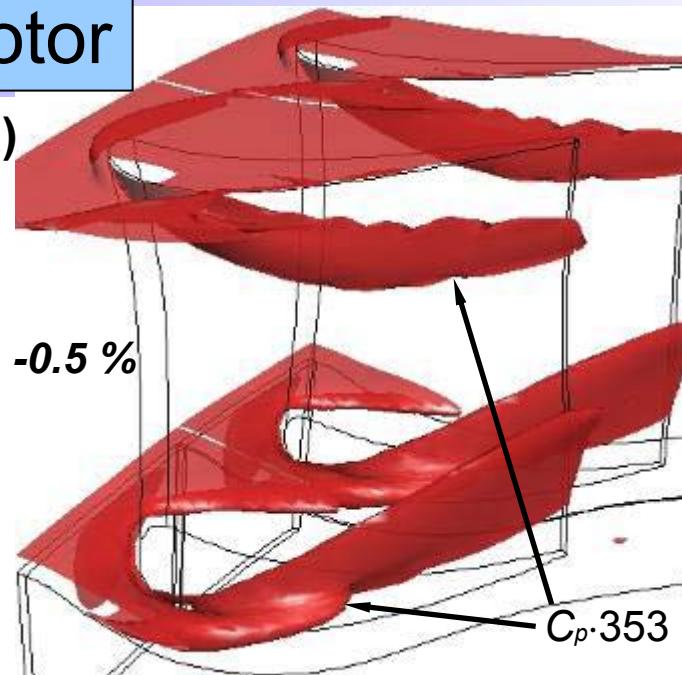
## Analisis del flujo: Estructura vortical



# Interacción Stator-Rotor

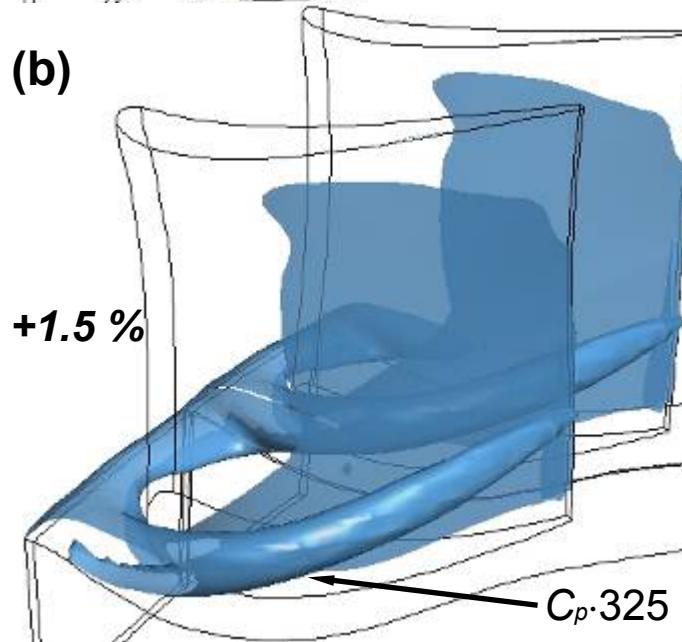
Aire de sellado

(a)

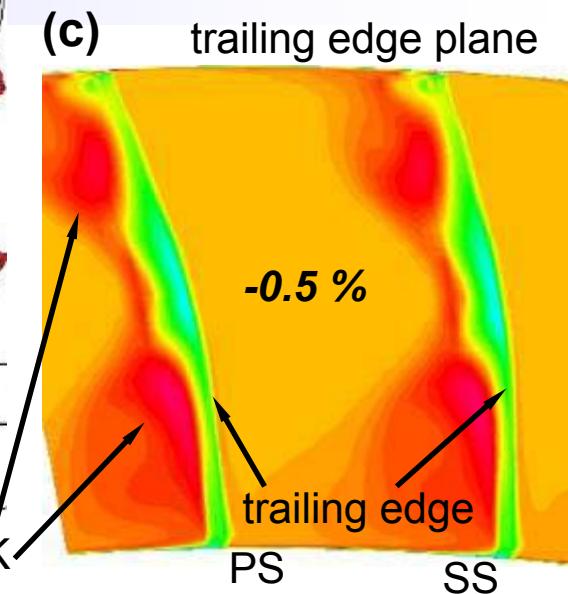


Evaluación con CFD

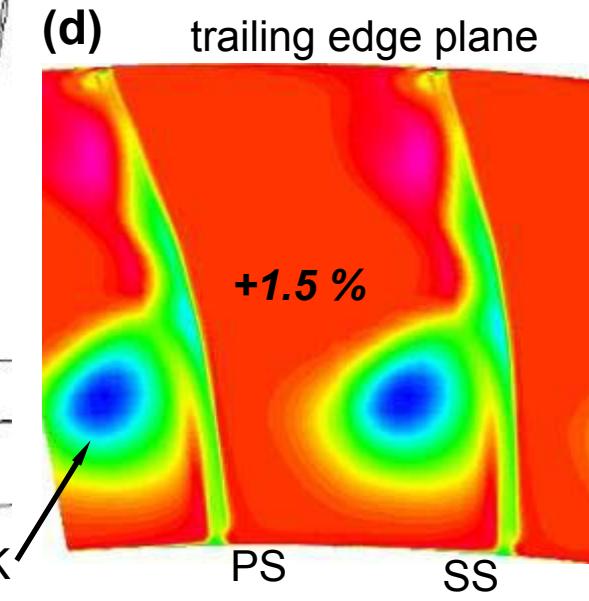
(b)



(c)



(d)



# Interacción Stator-Rotor



Turbomeca  
SAFRAN Group



Snecma  
SAFRAN Group



Rolls-Royce



Rolls-Royce  
Deutschland

ALSTOM



TATER2



Turbine Aero-Thermal External Flows II

QinetiQ



Dipartimento di Energetica  
"Sergio Stecco"

Energetics Dept  
Univ. of Florence



Universität Karlsruhe (TH)  
Lehrstuhl und Institut für  
Thermische Strömungsmaschinen



UNIVERSITY of LIMERICK  
OLLSCOIL LUIMNIGH



UNIVERSITY OF  
OXFORD



von Karman Institute

# Tabla de Contenidos

**Motores de Turbinas de Gas**

**Áreas de Investigación**

**Interacción Stator-Rotor**

**Diseño de Turbinas Contrarrotativas**

**Instituto von Karman → Programas de Formación**



# Diseño de Turbinas Contrarrotativas



Proyecto LAPCAT

Bruselas - Sydney en 2 a 4 horas: Mach 4 - 8



cenaero



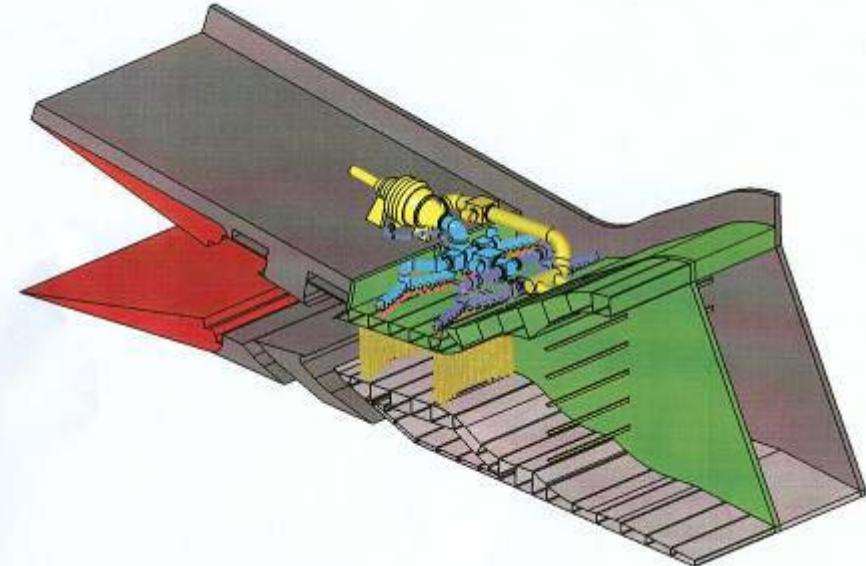
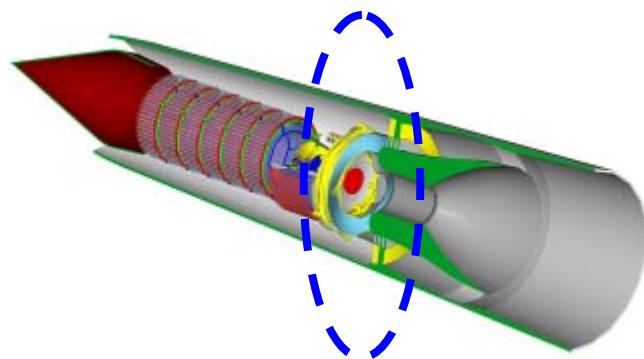
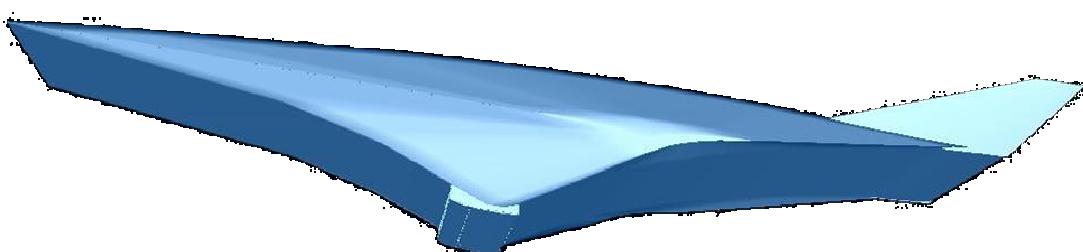
University  
of Southampton



*von Karman Institute*

Estudio de varios sistemas de propulsión: Turbinas / Motores de cohete

- Ramjet- Dual mode – Scramjet
- Airframe-propulsion integration (intakes, nozzles,...)
- Vehicle system study



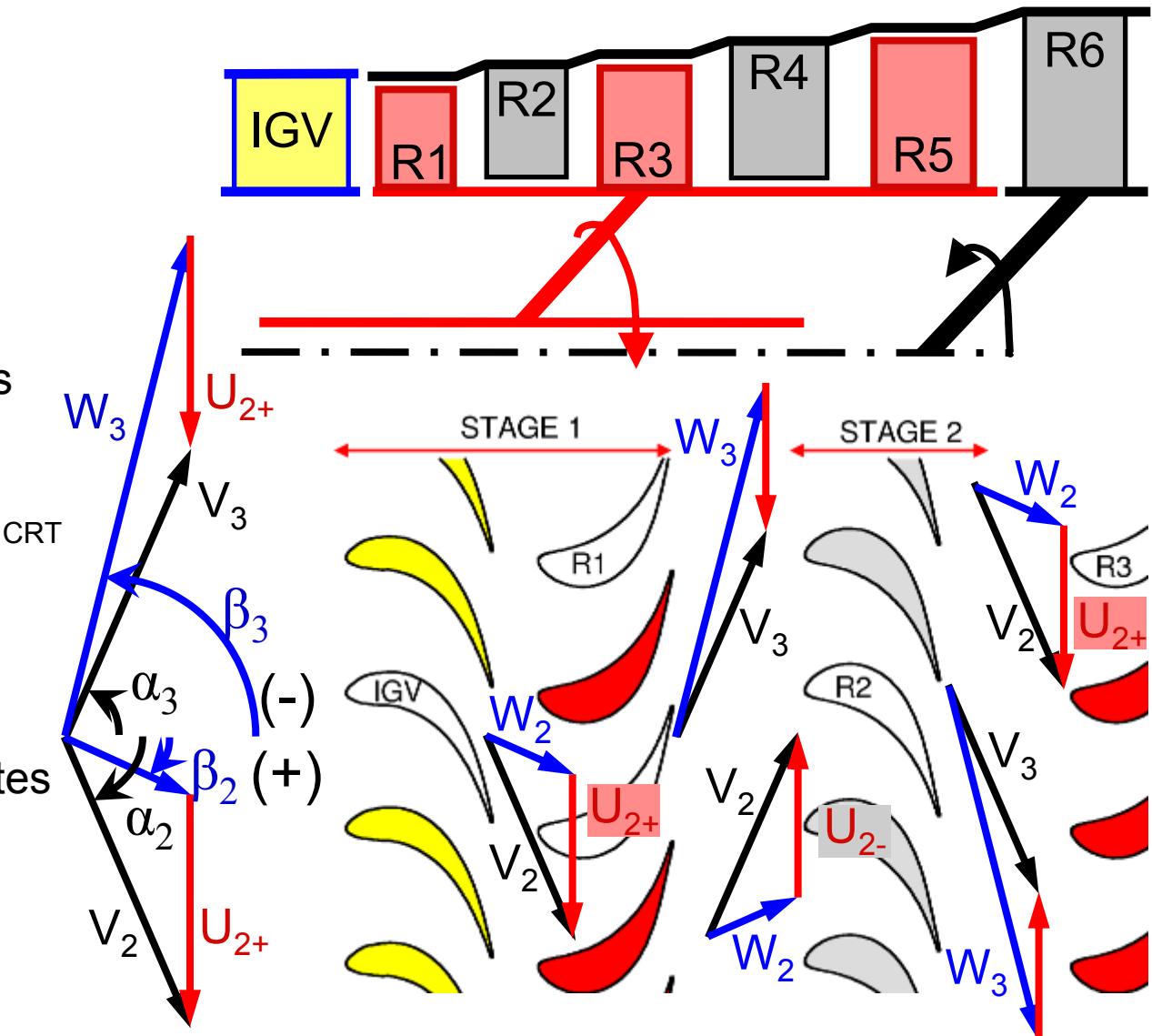
# Diseño de Turbinas Contrarrotativas

## Ventajas

- ↓ tamaño, ↓ peso
- ↑ empuje/peso
- Sin efectos giroscópicos
- ↓ aire de refrigeración
- at  $\Psi_{\text{conv}} = \Psi_{\text{CRT}}$ :  $\eta_{\text{conv}} < \eta_{\text{CRT}}$

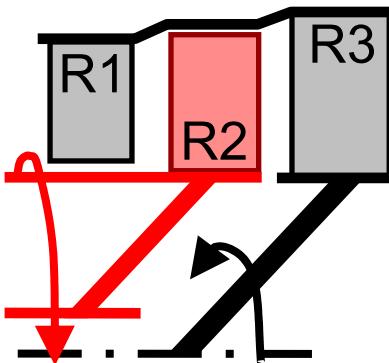
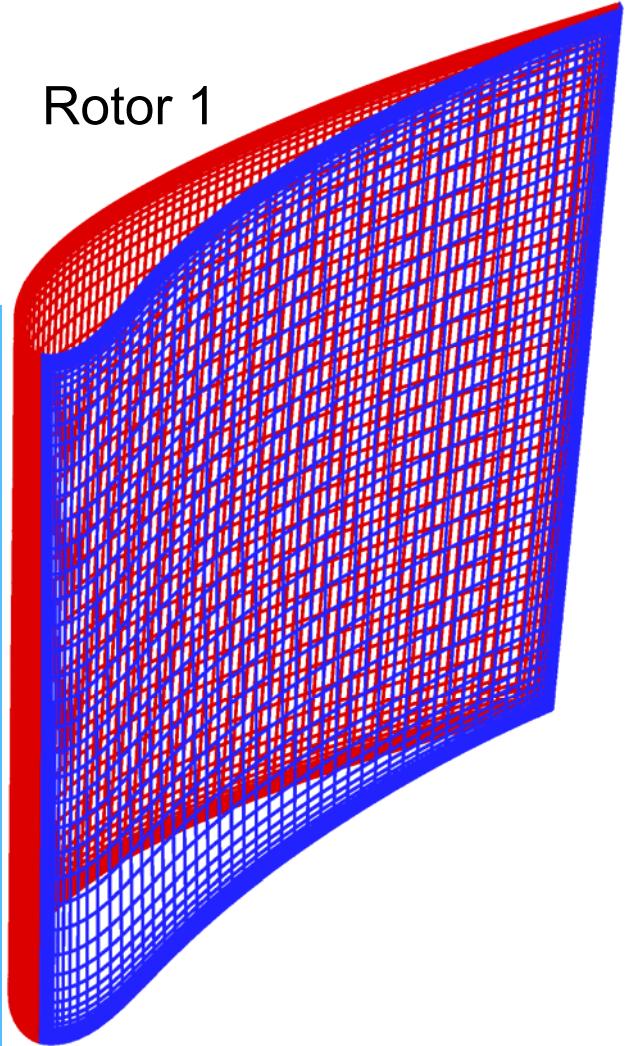
## Inconvenientes

- Complejo
- ↑ velocidades en cojinetes

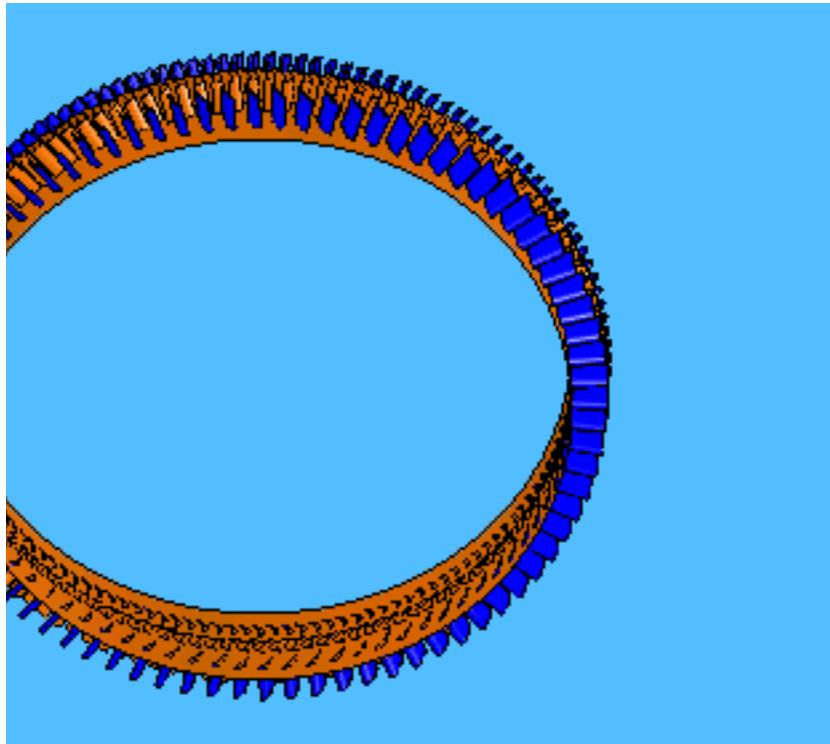


# Diseño de Turbinas Contrarrotativas

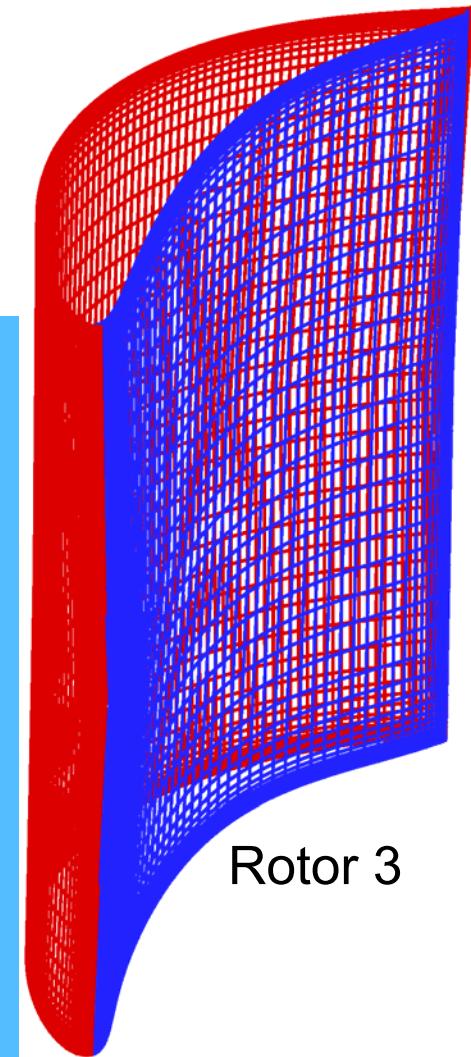
Rotor 1



rotor 1 y 3 fijados al carter



Rotor 3



# Tabla de Contenidos

**Motores de Turbinas de Gas**

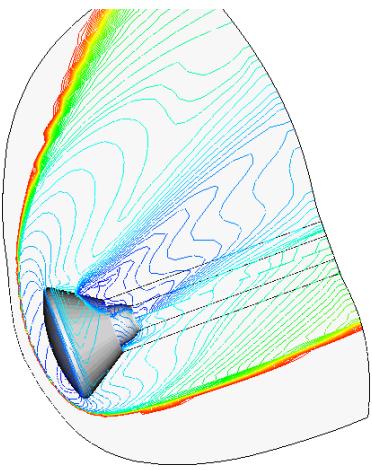
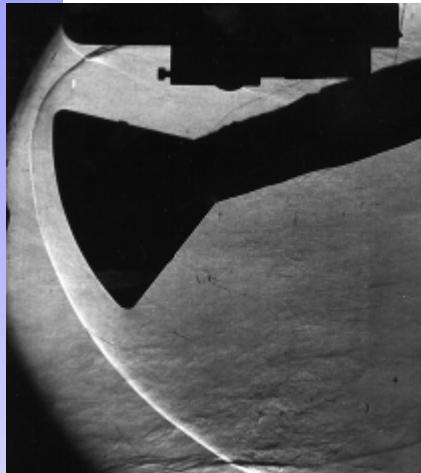
**Áreas de Investigación**

**Interacción Stator-Rotor**

**Diseño de Turbinas Contrarrotativas**

**Instituto von Karman → Programas de Formación**

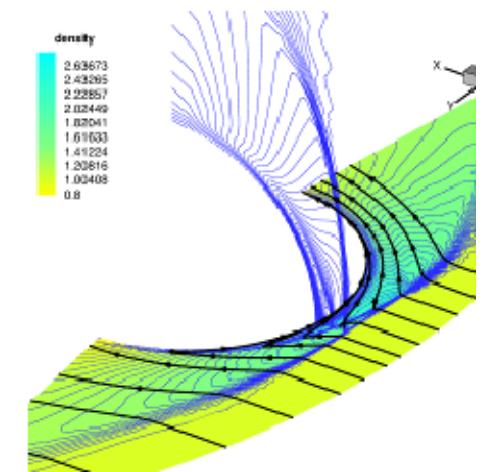




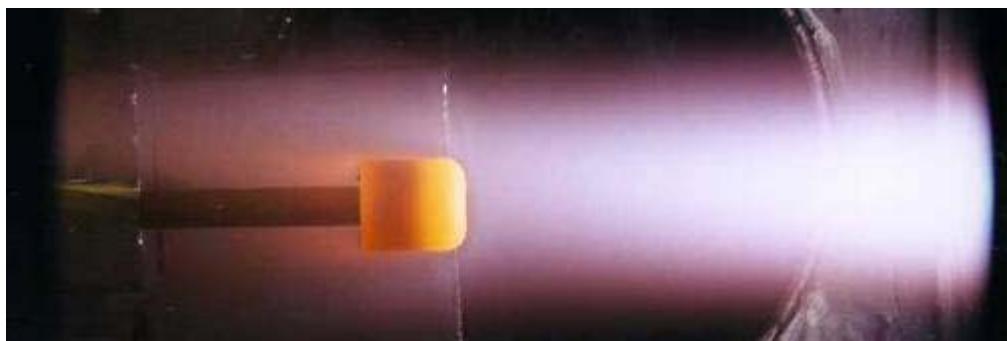
Hypersonic flows: experimental and numerical simulation



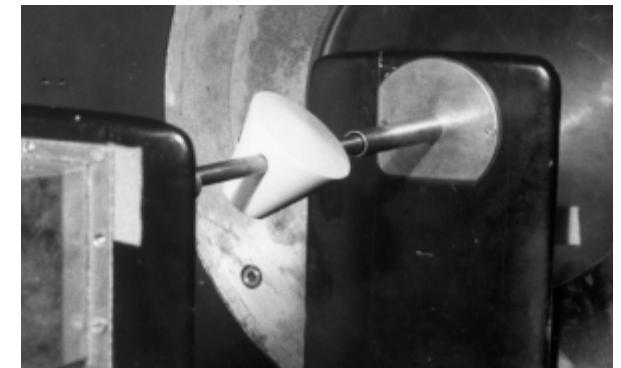
Influence of roughness on laminar to turbulent transition



Space weather research



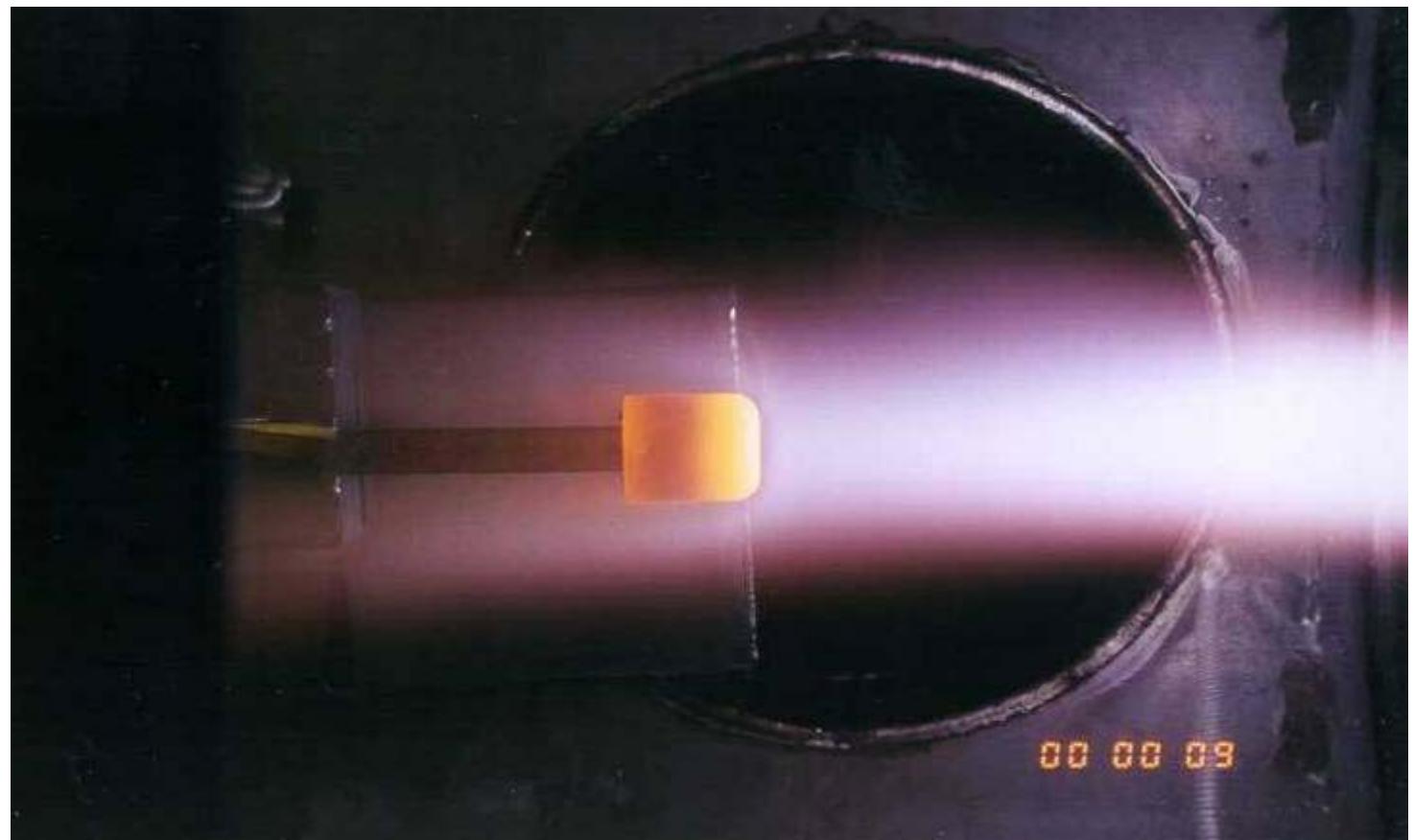
Resistance and catalycity of thermal protection materials



Transonic stability of capsules

## 1.2 MW Induction-heated Plasma Wind tunnel

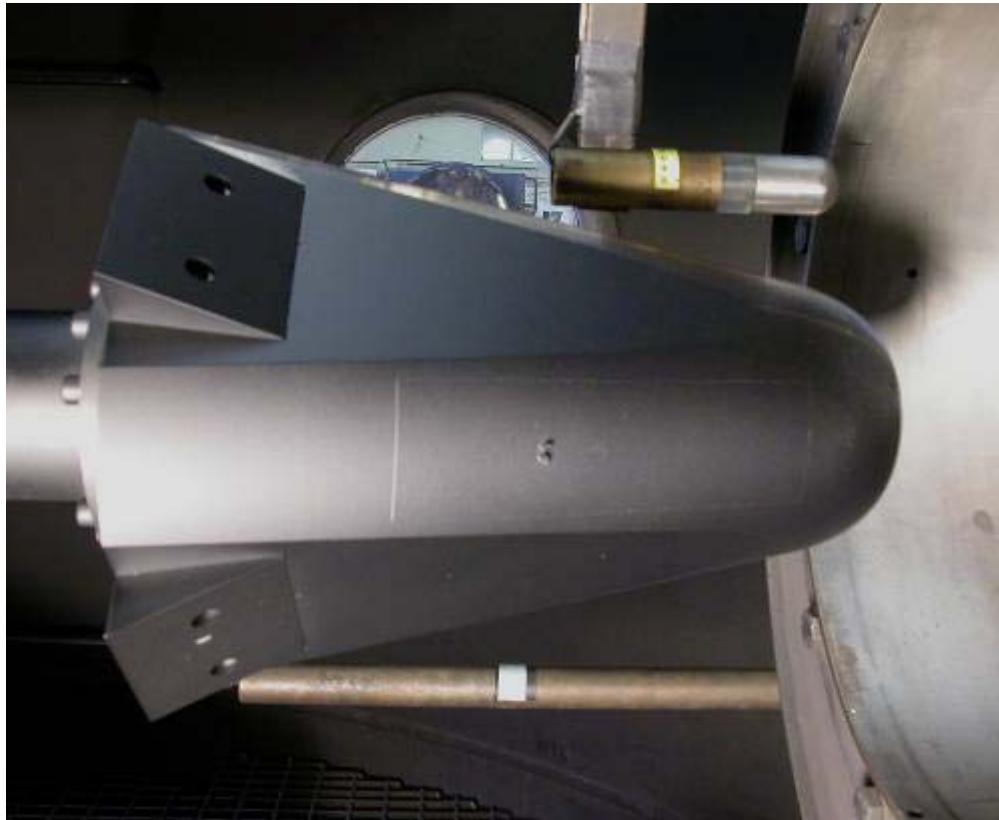
- Most powerful ICP in the world
- Plasma jet diameter: 160 mm
- Gases:  
Argon, Air, CO<sub>2</sub>
- Temperatures:  
~ 10 000 K



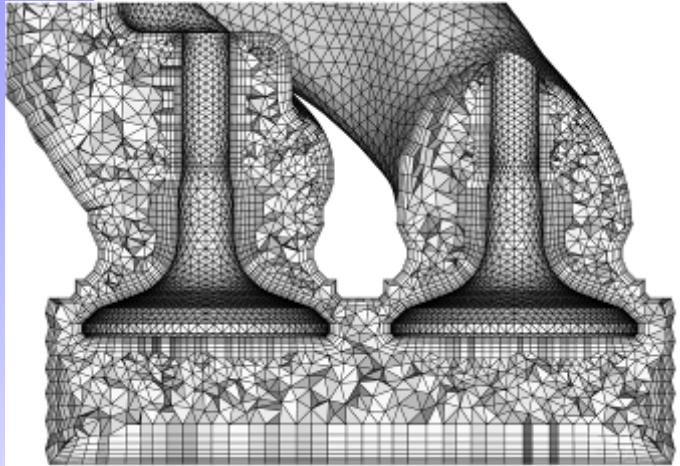
## Piston-driven Hypersonic Wind tunnel

- Mach 10-20 (10-20 times the speed of sound).
- Duration of test: 25-70 ms.
- Gas: CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>.
- Re: 5x10<sup>3</sup> – 15x10<sup>6</sup>

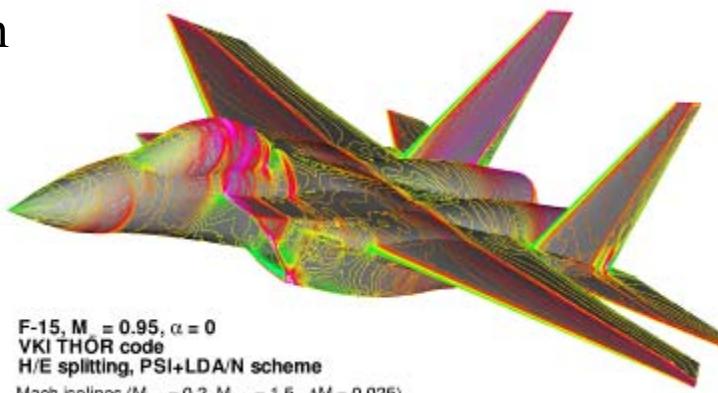




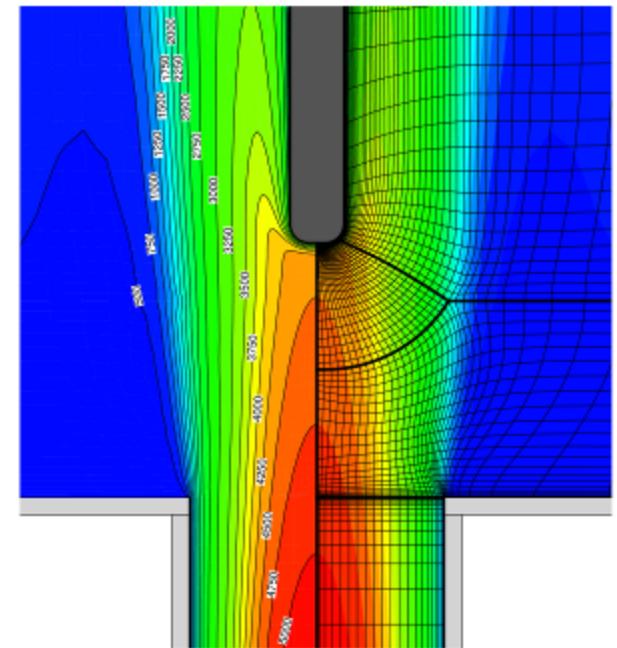
- All plexiglass model - painted black for high emissivity
- FLIR SC3000 Thermocam
- High speed Schlieren movies
- Variable roughness geometries - height, shape, spacing



Hybrid grid generation



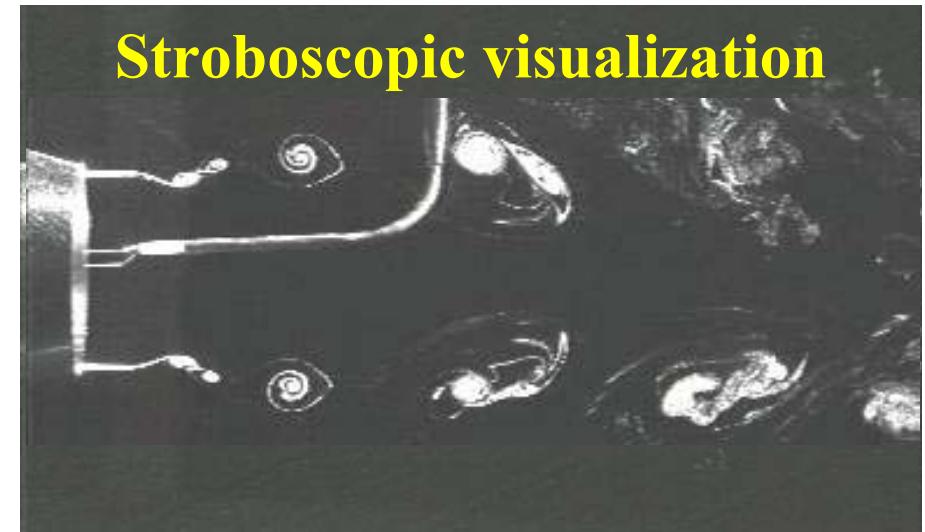
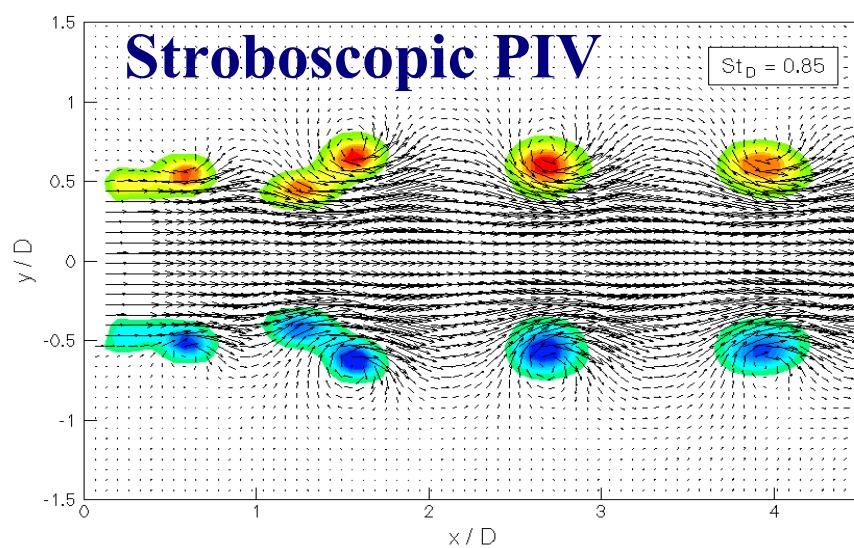
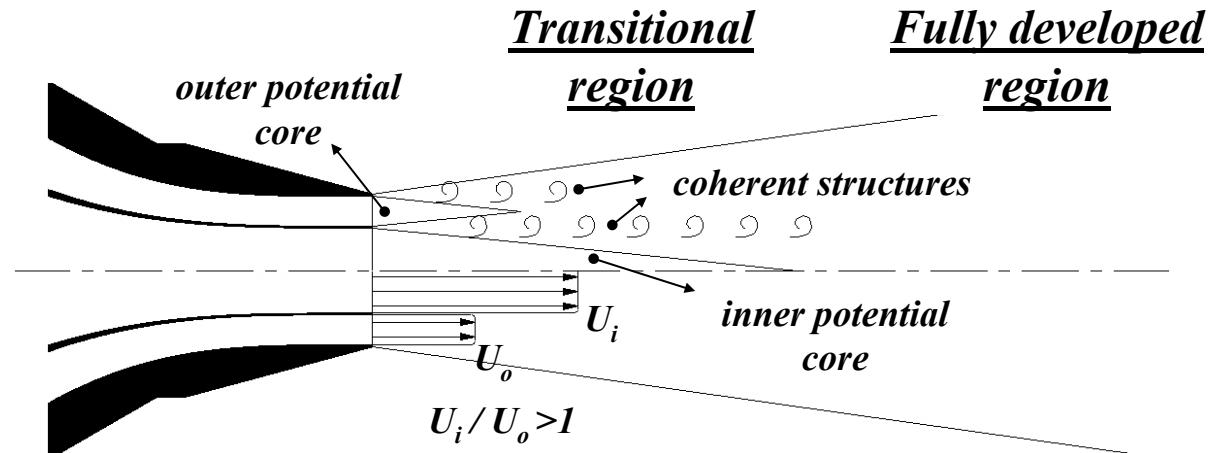
Unstructured grid solvers



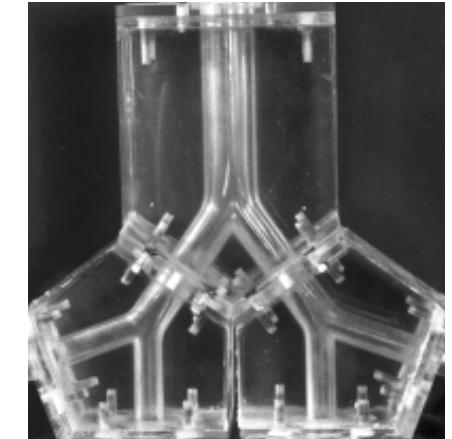
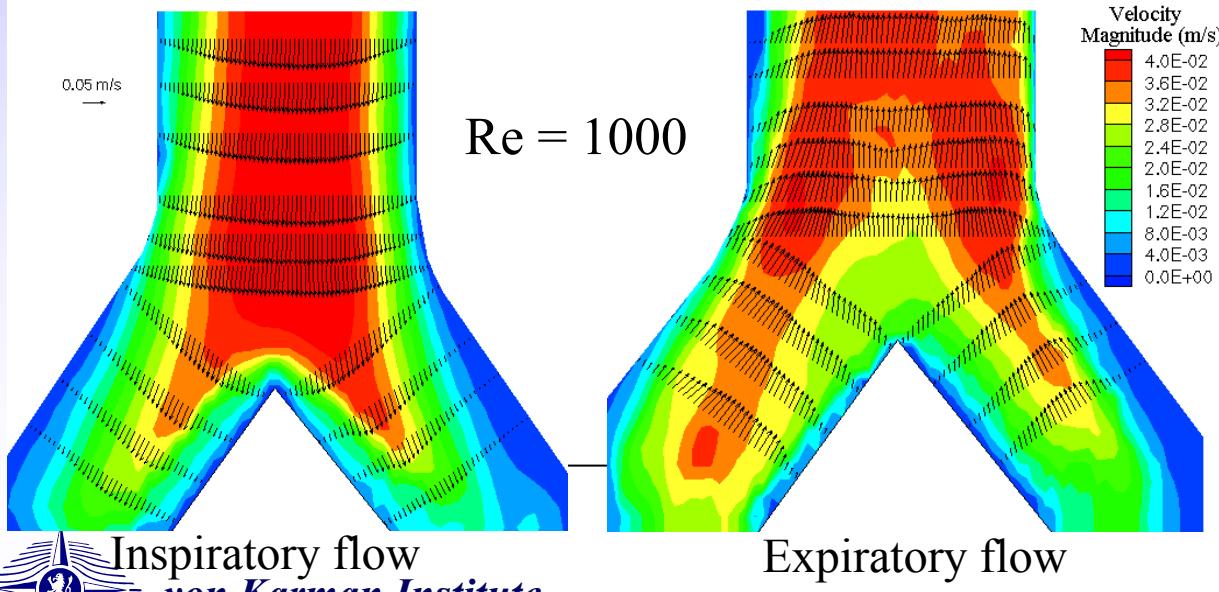
Coherent  
structures



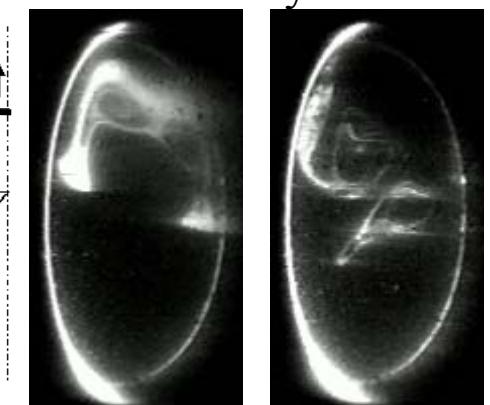
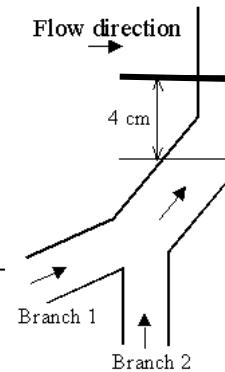
Coaxial jets  
aerodynamic noise

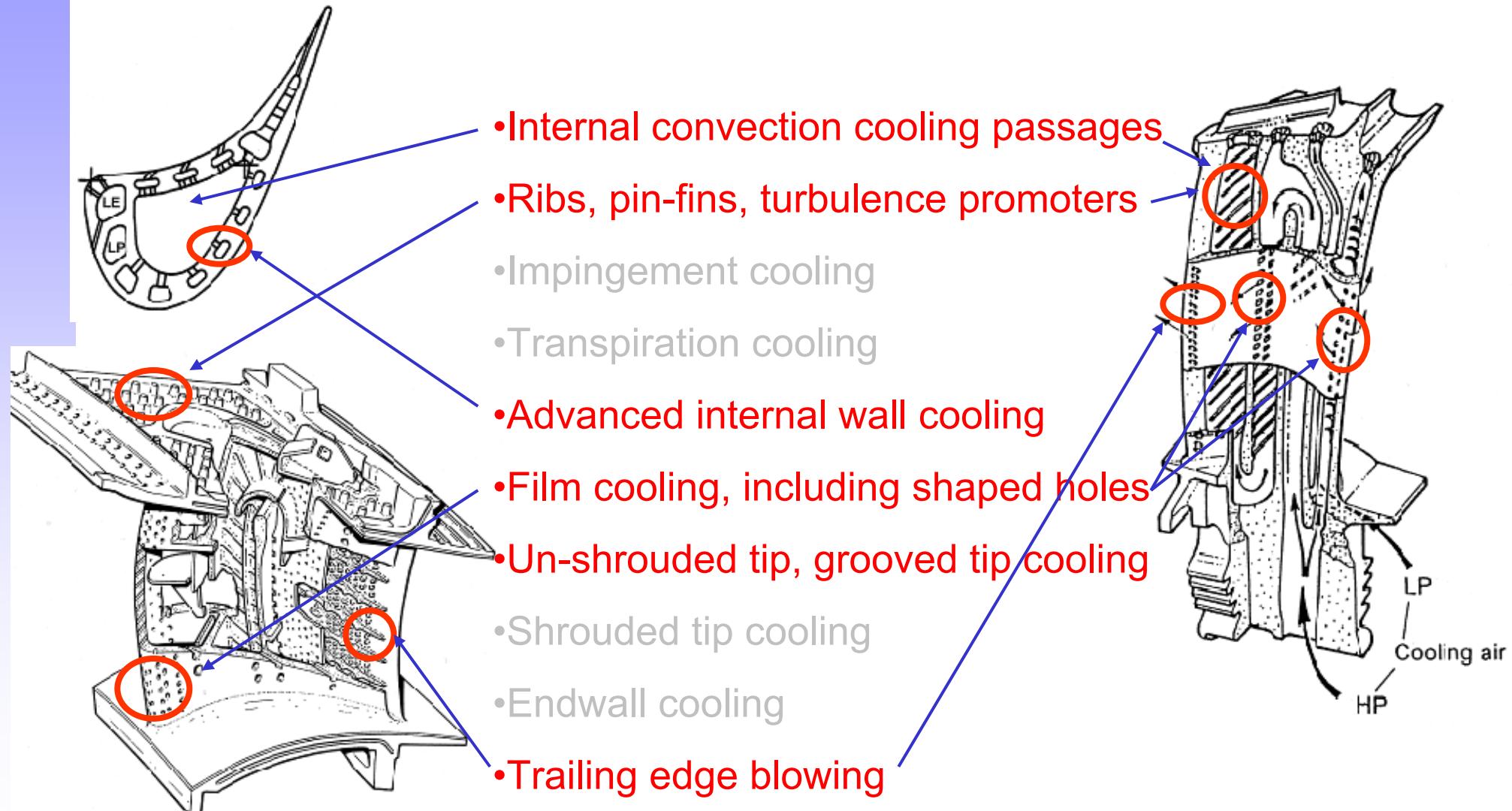


- Experimental Investigation of 3D flow
  - 3D model of multiple bifurcations obtained by casting technique
  - Steady inspiratory and expiratory flow



Visualization at expiration  
of secondary flows







**El instituto proporciona becas  
de estancias cortas (SHTP), Master (Diploma course), Doctorado  
a varios estudiantes españoles todos los años**

