

DISEÑO DE UN COMPRESOR AXIAL DE RELACIÓN DE COMPRESIÓN 18.5 PARA UNA TURBINA DE GAS DE 270 MW



Carlos Lobo Gómez de Celis

Tutor: Gonzalo Moreno Labata

INDICE

1- Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

INDICE

1- Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

CC:Ciclo Combinado
TG: Turbina de Gas

Estado del Arte de CC y de TG



Definir características técnicas CC , TG y compresor a diseñar



Simulación del CC. *CiclePad*



Gasto másico de aire y otros parámetros



Diseño cinético. *Mathcad*



Diseño geométrico y simulación. *Solid Edge*



Diseño mecánico. *Ansys*

Uso académico, VRML. *Cortona*

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

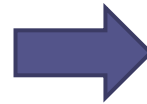
7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

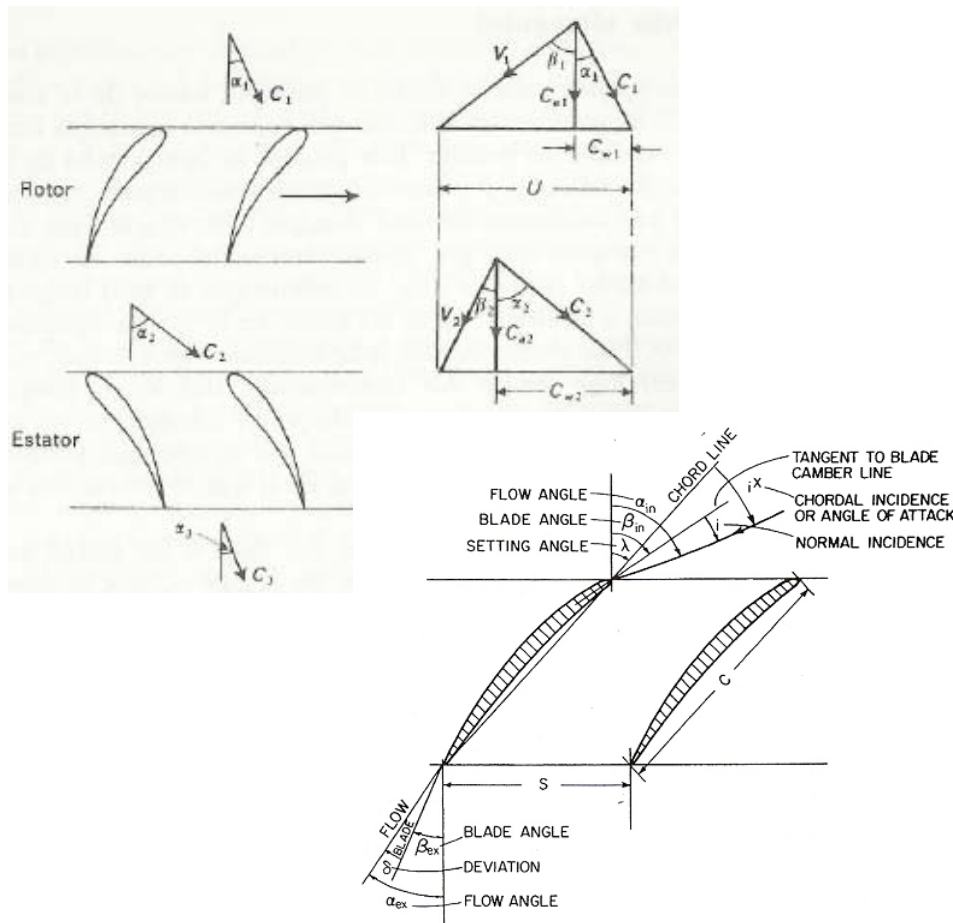
9-Conclusiones y futuros desarrollos.

CONCEPTOS TEÓRICOS

Euler: $W = U(C_{w2} - C_{w1})$



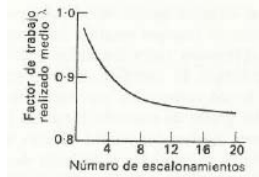
Ecuación más útil en diseño de Turbomáquinas



- Ángulo de ataque: λ
- Paso: s
- Cuerda: c
- Solidez: $\sigma \Rightarrow \sigma \equiv \left(\frac{c}{s} \right)$
- Desviación: δ
- Deflexión: ϵ
- Incidencia: i
- Ángulo flujo v_{relativa} : β
- Ángulo flujo v_{absoluta} : α
- Ángulo álabes v_{relativa} : β'

CONCEPTOS TEÓRICOS

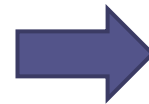
Factor de trabajo:



1-18 escalones: 0,97-0,82

Coeficiente de carga:

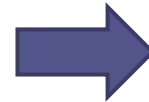
$$\Psi = - \left[\frac{\Delta C_u}{u} \right]$$



Muy Cargados: $\Psi > 0,5$
Poco Cargados: $\Psi < 0,3$

Coeficiente de flujo:

$$\Phi = \frac{C_a}{u}$$



Rango típico: $\Phi = 0,5 - 0,8$

Reacción:

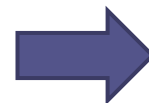
$$R = \frac{\Delta h_{st}}{\Delta h_T}$$



Conveniente: $R = 0,5$
(Álabes simétricos)

Haller:

$$Ha = \frac{\cos \beta_1}{\cos \beta_2}$$

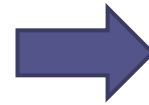


Cascada viable: $Ha > 0,7$

CONCEPTOS TEÓRICOS

Diffusion
Factor:

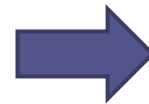
$$DF = 1 - \frac{\cos\beta_1}{\cos\beta_2} + \frac{1}{\sigma} \frac{\cos\beta_1}{2} (\tan\beta_1 - \tan\beta_2)$$



Cascada viable: $DF < 0,45$
Corr. desprendida: $DF > 0,6$

Rendimiento politrópico
e isentrópico:

$$\eta_{st} = \frac{\left(\frac{1}{\pi_{21}}\right)^{\eta_{\infty} \frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}{\left(\frac{1}{\pi_{21}}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1}$$



Politrópico: Comparable
Isentrópico: No comparable

Leyes de torsión:

Torbellino libre

$$C_w r = cte$$

Reacción constante

$$R = cte$$

Equilibrio radial

$$-W_e \text{ cte}$$

$$-C_a \text{ cte}$$

- No equilibrio radial

$$-W_e \text{ cte}$$

$$-C_a \text{ cte}$$

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

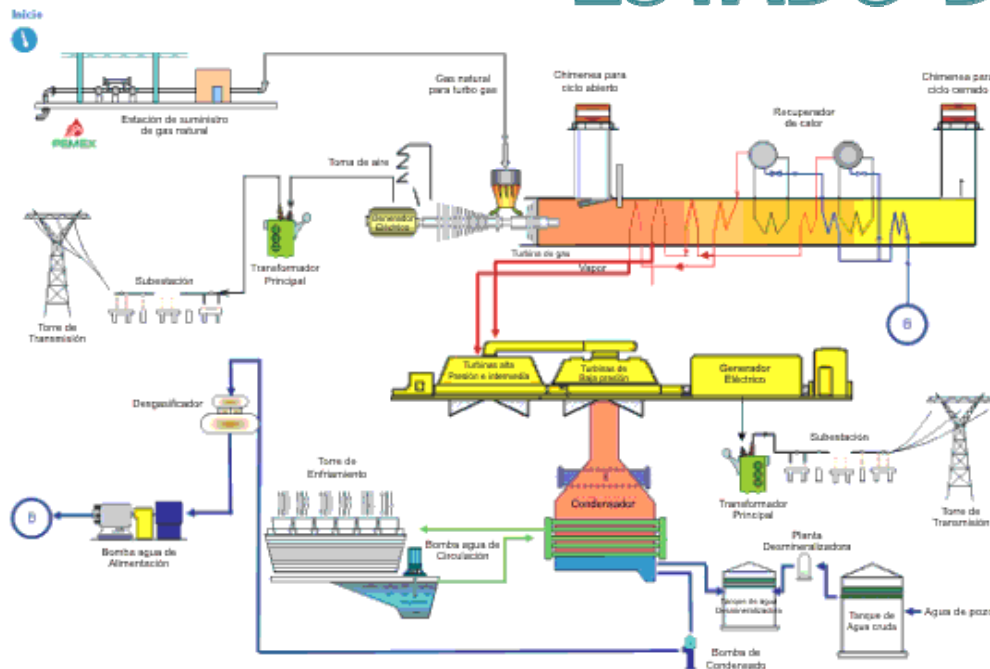
6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

ESTADO DEL ARTE



- Opción más rentable en €/KW
- Bajas emisiones
- Alto rendimiento (Hasta 60%)
- Corto tiempo de ejecución (2 años)
- Bajo tiempo de arranque (1 hora)

CONCLUSIONES:

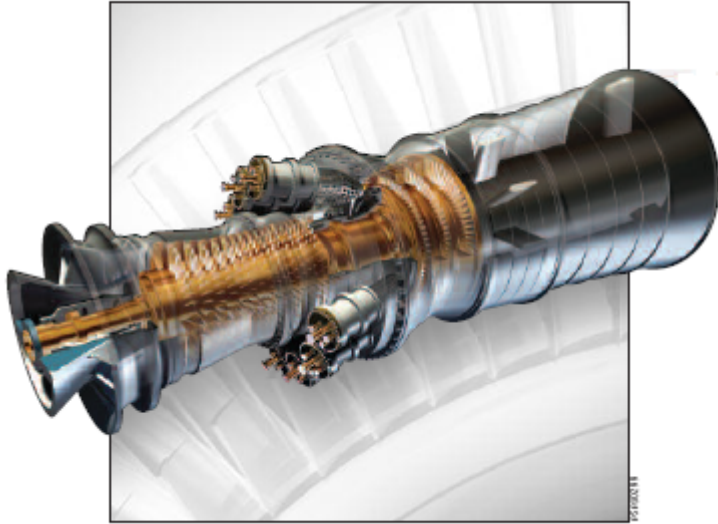
- Grupos de 226 MW en los archipiélagos
- Grupos de 410 MW en la península
- 25 % potencia del total instalado
- Alstom, MHI y GE
- Configuraciones 1x1 y 1x2

Grupo de 410 MW GE



TG 9FB

ESTADO DEL ARTE



TG 9FB:

- Potencia: 270 MW
- T^a salida gases: 653 °C
- T^a entrada turbina: 1500°C
- N° escalones: 18
- Relación de compresión: 18, 5
- Flujo axial

Se selecciona:

Ciclo Combinado S109 FB GE:

- Grupo: 410 MW
- Configuración 1x1
- 58 % de rendimiento
- Turbina de gas GE 9FB de 270 MW
- Turbina de vapor de 140 MW
- Almonacid de Zorita (Guadalajara)

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4- Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

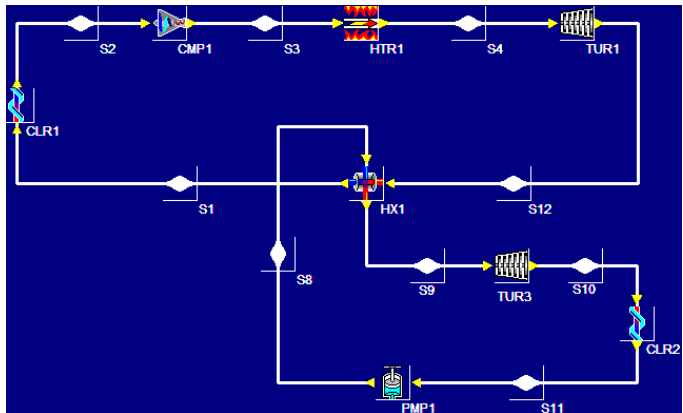
8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

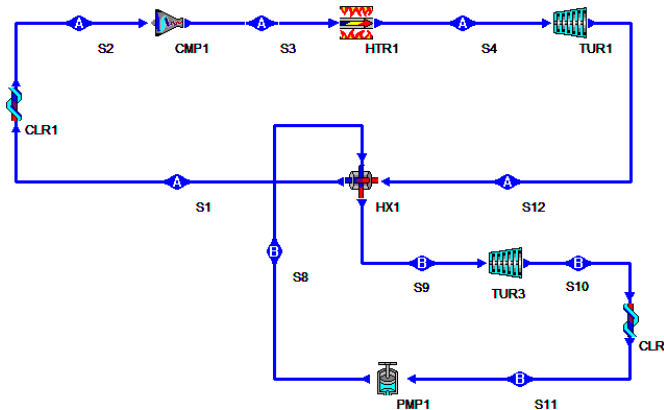
SIMULACIÓN TERMODINÁMICA DEL CICLO



Modo Construcción



Modo Análisis



CMP1
Modeled as: ADIABATIC
Modeled as: not ISENTROPIC
Modeled as: Make Assumption
q = 0 kJ/kg
Tout-s = 395.6°C
delta-P = 17.50 bar
delta-h = 451.8 kJ/kg
delta-hs = 379.5 kJ/kg
delta-s = 0.1027 kJ/kgK
m-dot = 683.2 kg/s
delta H = 308.656 kJ
h-out-s = 671.0 kJ/kg
Shaft Power = -308.7 MW
Q-dot = 0 MW
PR = 18.50
flow fraction = 1.0000[0-1]
nu-s = 84.00%
z = 7.26
spec shaft-work = -451.8 kJ/kg
spec work-s = -379.5 kJ/kg

- Grupo 410 MW
- Rend. ciclo 58%
- TV 140 MW
- TG 270 MW
- $\pi=18,5$
- Otros

$$\dot{m}_a = 683,2 \text{ kg/s}$$

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

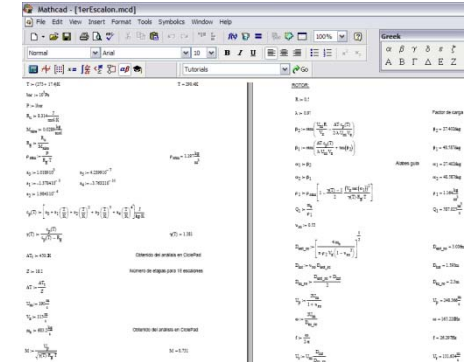
7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

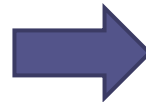


DISEÑO CINÉTICO

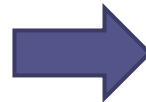


Parámetros de
diseño 1^{er} escalón

- D_{int} cte
- $\eta_c = 0,84$
- 18 escalones
- $\pi = 18,5$
- $v = 0,53$
- $R = 0,5$
- $C_a = 115$ m/s
- $U_m = 190$ m/s
- Ley de torsión
- $\dot{m}_a = 683,2$ kg/s



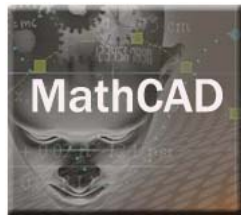
$$\frac{\Delta T_{comp}}{\Delta T_{escalón}} = \frac{450K}{25K} = 18 \text{ escalones}$$



Álabes guía

1^{er} - 3^{er} escalón: Reacción cte.

Resto escalones: Torbellino libre



DISEÑO CINÉTICO

Resultados

- $f_{\text{giro}} = 26 \text{ Hz}$ $\longrightarrow$ Turbina libre
- $N^{\circ} \text{ Mach} = 0,73$ $\longrightarrow$ Alejado de condiciones sónicas
- $v = 0,53 - 0,9$ $\longrightarrow$ Rango normal
- $R \approx 0,5$ $\longrightarrow$ Deseable en compresores axiales
- $Ha > 0,7$ $\longrightarrow$ Corriente no desprendida
- $DF < 0,45$ $\longrightarrow$ Corriente no desprendida
- $\Psi < 0,3$ $\longrightarrow$ Compresor poco cargado
- $\Phi = 0,5 - 0,8$ $\longrightarrow$ Rango típico
- η_{∞} y η_c $\longrightarrow$ Satisfacen la ecuación $\eta_c(\eta_{\infty})$
- C_L y C_D $\longrightarrow$ Calculado en todas las etapas
- $\alpha_{18} = 27,4^{\circ}$ $\longrightarrow$ Difusor que redireccione la corriente

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6- Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

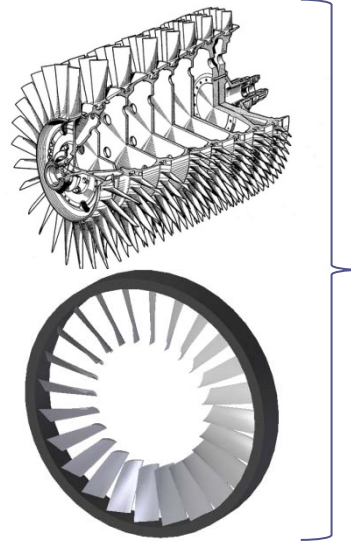
8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

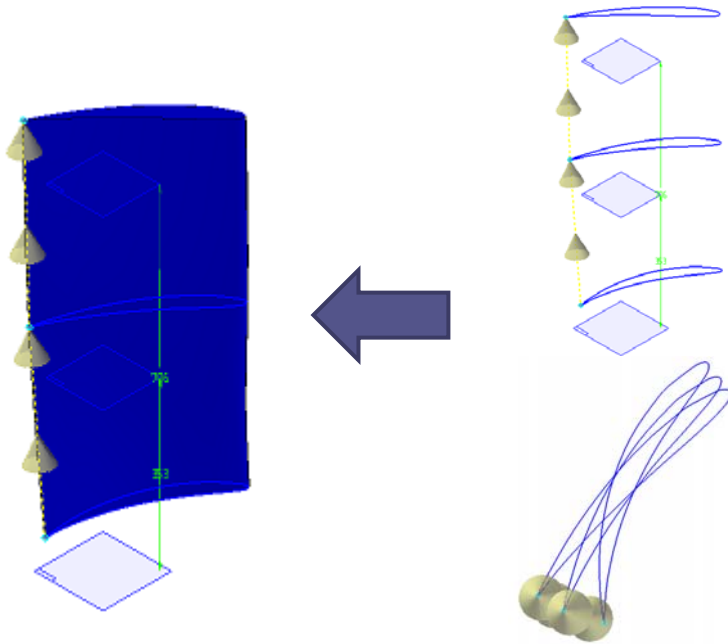


DISEÑO GEOMÉTRICO

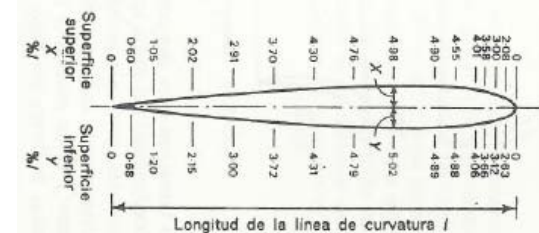
Montaje de un compresor:



Diseño en *Solid Edge*:



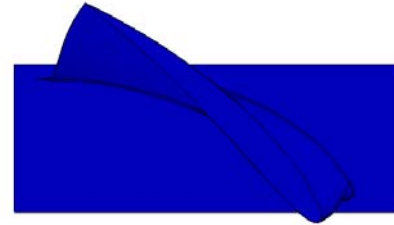
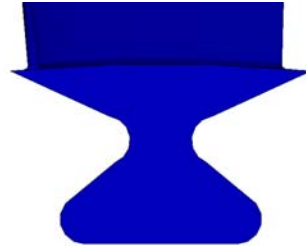
- Protrusión por secciones
- Perfil punta, radio medio y raíz por etapa
- Perfil serie "C" de Gran Bretaña



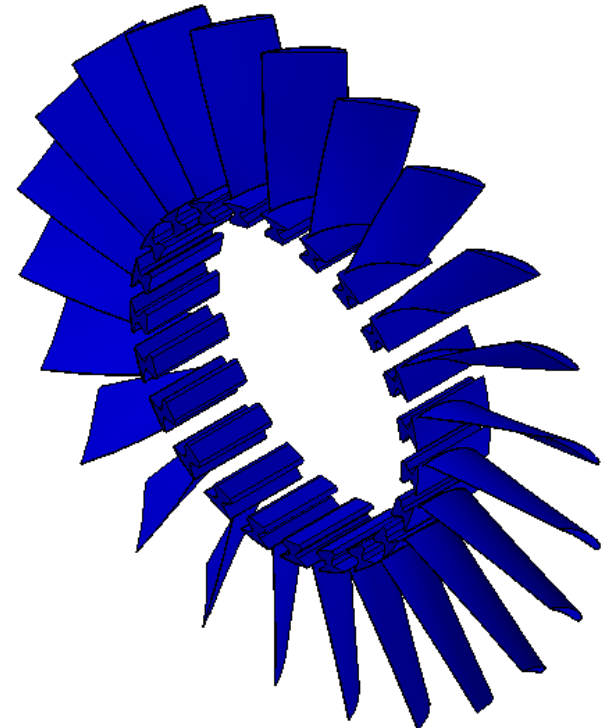
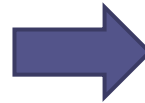
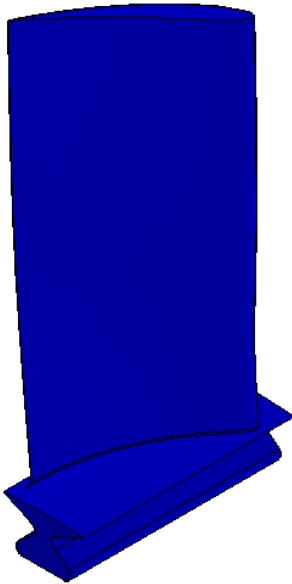


DISEÑO GEOMÉTRICO

- Base del álabe:

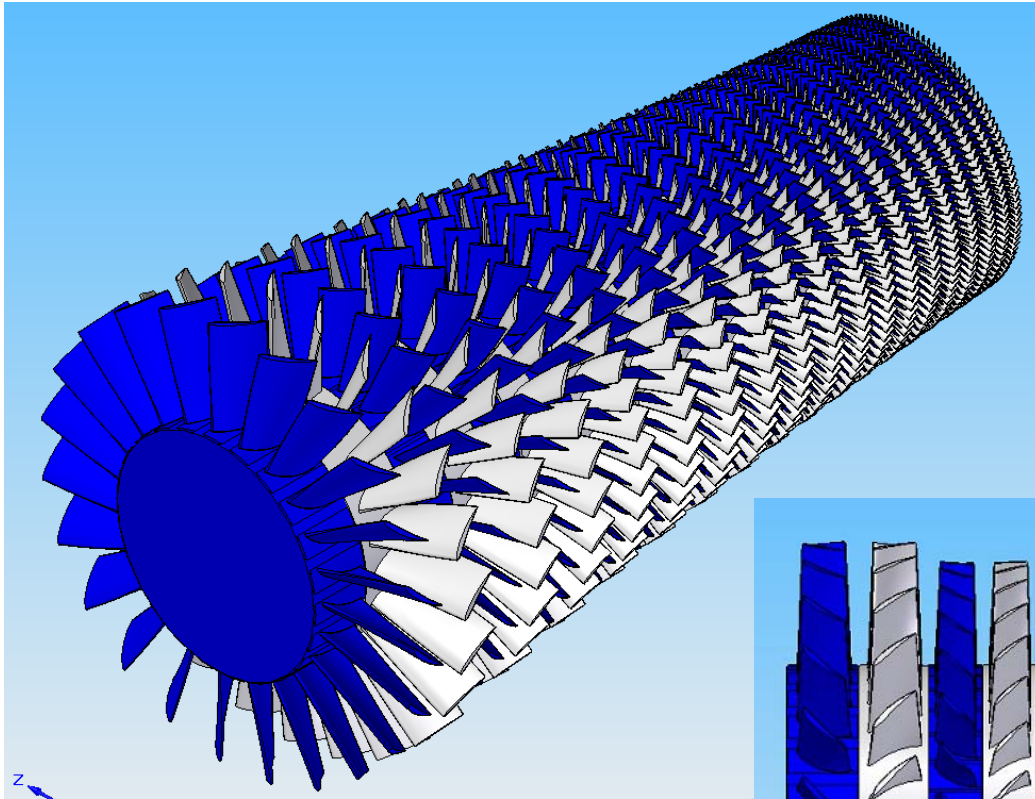


- Patrón n^o álaves *Mathcad*:





DISEÑO GEOMÉTRICO



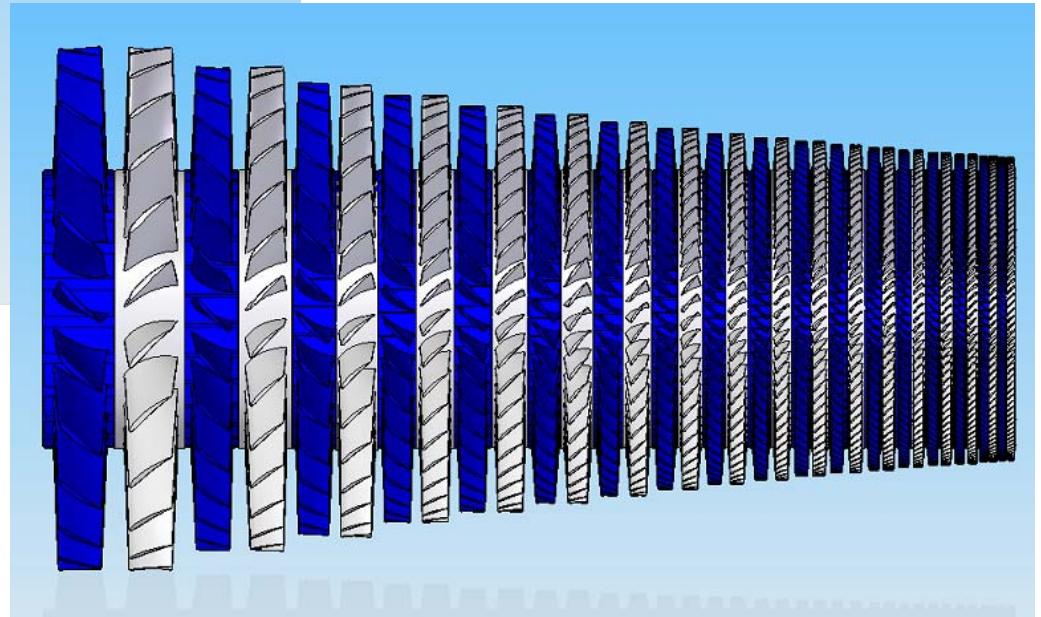
$$D_{\text{int}} = 1,6 \text{ m}$$

$$D_{\text{ext}} = 3,0 - 1,7 \text{ m}$$

$$L = 5,5 \text{ m:}$$

$$h = 700 - 72 \text{ mm}$$

$$c = 313 - 54 \text{ mm}$$



Ansysis: *.igs

VRML: *.wrl

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7- Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.



ANÁLISIS MECÁNICO

Material típico
álabes

1^{er} - 9^{no} escalón: 15-5PH

Resto escalones: AISI 403 Cb con recubrimiento

Análisis estático:

-Material: Acero

$$\sigma_{ad} = 100 \text{ MPa}$$

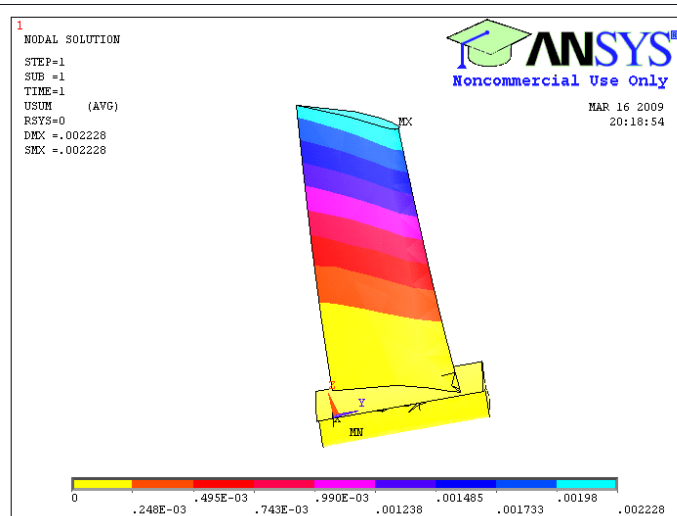
$$\nu = 0,3$$

$$E = 210 \text{ GPa}$$

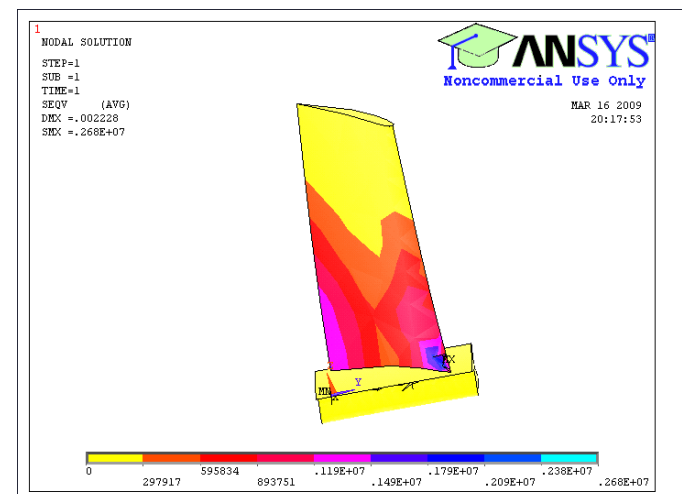
-Carga:

$$P = \frac{1}{2} \rho V^2 \cdot C_L$$

Resultados:



Max. desplazamiento: 2,2 mm



Max. tensión: 2,68 MPa

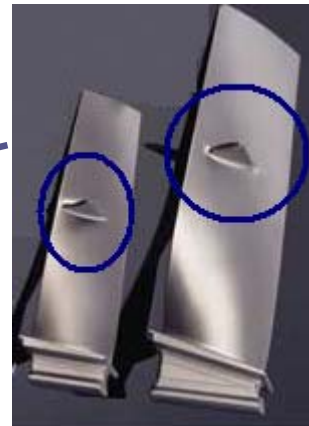
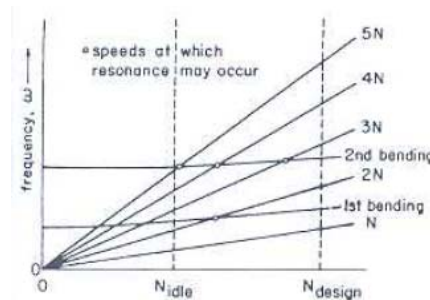
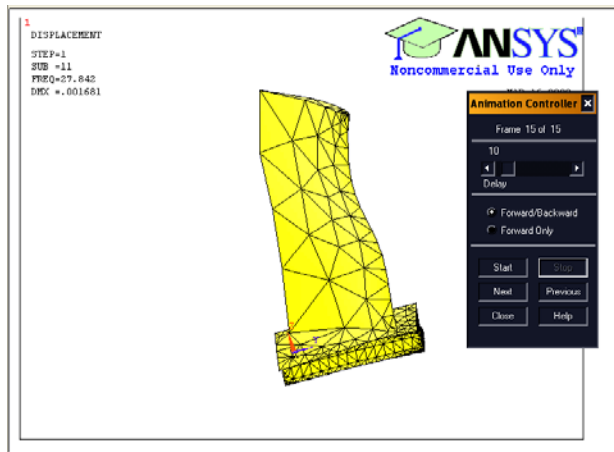


ANÁLISIS MECÁNICO

Análisis modal:

Modos de vibración entre 0 – 100 Hz

Diagrama de Campbell:



SET,LIST Command					
File					
**** INDEX OF DATA SETS ON RESULTS FILE ****					
SET	TIME/FREQ	LOAD	STEP	SUBSTEP	CUMULATIVE
1	0.0000		1	1	1
2	0.0000		1	2	2
3	0.0000		1	3	3
4	0.0000		1	4	4
5	0.27951E-05		1	5	5
6	0.20317E-04		1	6	6
7	5.3921		1	7	7
8	8.4350		1	8	8
9	14.761		1	9	9
10	28.449		1	10	10
11	27.842		1	11	11
12	35.006		1	12	12
13	39.574		1	13	13
14	47.787		1	14	14
15	50.209		1	15	15
16	56.982		1	16	16
17	61.398		1	17	17
18	64.371		1	18	18
19	67.810		1	19	19
20	70.483		1	20	20
21	73.665		1	21	21
22	80.284		1	22	22
23	89.708		1	23	23
24	90.451		1	24	24

$f = 26 \text{ Hz}$ en régimen estacionario

Dumper



Modifica los modos propios de vibración

INDICE

1-Objetivos del proyecto.

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8- EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9-Conclusiones y futuros desarrollos.

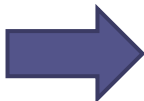
EEES Y REALIDAD VIRTUAL

EEES (Espacio Europeo de Educación Superior)



Créditos ECTS:

- Volumen de trabajo sustituye horas lectivas

10 horas lectivas  25-30 horas de trabajo



Utilidad de las tecnologías
multimedia e interactividad



Cortona (lenguaje VRML)

INDICE

1-Objetivos del proyecto

2-Conceptos teóricos.

3-Estado del arte. Selección.

4-Simulación termodinámica del ciclo. *CiclePad*.

5-Diseño cinético. *Mathcad*.

6-Diseño geométrico. *Solid Edge*.

7-Análisis mecánico. *Ansys*.

8-EEES y Realidad virtual. *Cortona*.

9- Conclusiones y futuros desarrollos.

CONCLUSIONES Y FUTUROS DESARROLLOS

Conclusiones:

- Se ha realizado el Estado del arte de CC y TG y se ha obtenido la información necesaria.
- Simulación del ciclo, obtención de $\dot{m}_a$ y otros parámetros de diseño.
- Diseño cinético viable.
- Diseño geométrico, video de distintas vistas.
- Diseño mecánico correcto, análisis estático y modal.
- Aplicación académica del diseño.

Futuros desarrollos:

- Diseño del resto de elementos de la TG.
- Análisis mecánico del resto de etapas.
- Análisis de fluidos (CFD) en el compresor o la TG.
- Implementación de los videos y VRML en sitio web de Ing. Térmica.

DISEÑO DE UN COMPRESOR AXIAL DE
RELACIÓN DE COMPRESIÓN 18.5 PARA
UNA TURBINA DE GAS DE 270 MW

A series of horizontal lines in teal and light blue colors, with varying lengths and thicknesses, creating a modern, layered effect.

GRACIAS POR SU
ATENCIÓN