

CUARTO CURSO

INGENIERO INDUSTRIAL

Plan de la Asignatura

TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

ASIGNATURA OPTATIVA (6 Créditos)

CURSO 2004-05

Departamento: Ingeniería Energética y Mecánica de Fluidos.

A) PROFESORADO.

Prof. Dr. Antonio Muñoz Blanco (Catedrático de Universidad)

B) RESEÑA METODOLÓGICA.

El contenido de la asignatura se desarrolla en clases teóricas y de problemas a razón de TRES Y CUARTO horas semanales y ONCE Y CUARTO horas dedicadas a trabajos de laboratorio.

C) EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN.

El examen constará de una serie de cuestiones teóricas y otra de problemas. La calificación de la parte teórica supondrá el 45% de la nota final del mismo, los problemas el 35% y la nota de los trabajos prácticos el 20% restante. Para superar el examen será necesario obtener una calificación de CINCO puntos, con las calificaciones mínimas siguientes: TRES en la parte teórica, TRES en los problemas y TRES en los trabajos prácticos.

La calificación obtenida en los trabajos prácticos se conservará hasta que el alumno apruebe la asignatura, siempre que dicha calificación sea igual o superior a CINCO puntos.

Todas las calificaciones se entienden sobre DIEZ puntos.

D) PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

I.- INTRODUCCIÓN

Lección 1. Escalonamientos en las turbomáquinas.

Escalonamientos en las turbinas: tipos básicos de escalonamientos, rendimiento total a total y total a estático. Criterios de aplicación. Relación entre el rendimiento de un escalonamiento y el del conjunto de la máquina: Factor de recuperación. Escalonamiento en los turbocompresores: tipos básicos. Rendimientos. Relación entre el rendimiento de un escalonamiento y el del conjunto de la máquina

II.- CASCADAS BIDIMENSIONALES

Lección 2. Cascadas de álabes.

Introducción. Nomenclatura de la cascada. Análisis de fuerzas en cascadas. Pérdidas de energía. Coeficientes característicos. Relación entre las componentes de las fuerzas deducidas de los triángulos de velocidades y las componentes aerodinámicas. Coeficientes de sustentación y resistencia. Circulación y sustentación: teorema de Kutta-Joukowski. Rendimiento de una cascada.

Lección 3. Actuación de las cascadas de álabes.

Actuación de cascadas bidimensionales: problema directo e inverso. Influencia de los parámetros de la cascada en su comportamiento: forma del álabe, distribución de espesores, relación paso/cuerda. Influencia del número de Mach y del número de Reynolds. Cascadas de compresor: correlaciones experimentales: correlaciones de Howell y Lieblein.. Flujos secundarios Cascadas de turbina: correlaciones experimentales: correlación de Ainley-Mathieson, correlación de Craig-Cox. Angulo de salida del flujo. Relación paso/cuerda óptima. Criterio de Zweifel

III.- TURBOMÁQUINAS AXIALES

Lección 4. Turbinas de flujo axial.

Introducción. Parámetros empleados para definir la geometría de los triángulos de velocidades. Influencia de Ψ, Φ, R en la geometría de los triángulos de velocidades y en los ángulos característicos de las coronas de álabes: consecuencias. Diseños básicos de escalonamientos turbinas axiales.

Lección 5. Elección de los parámetros de diseño

Introducción. Estimación de las pérdidas mediante la correlación de Sorderberg. Elección de los parámetros de diseño de escalonamientos de turbina con coeficientes de pérdidas variables. Conclusiones.

Lección 6. Relaciones cinemáticas : Iniciación al estudio de los escalonamientos básicos

Introducción. Relaciones cinemáticas de máximo rendimiento con coeficientes de pérdidas constantes: escalonamientos de grado de reacción 0,5 y 0. Conclusiones. Admisión parcial. Pérdidas asociadas. Escalonamiento de presión constante en el rotor. Escalonamiento de velocidad. Ruedas Curtis.

Lección 7. Turbinas de álabes refrigerados.

Generalidades. Termodinámica de la turbina refrigerada. Métodos de refrigeración de álabes. Aproximación al análisis de álabes refrigerados por convección. Consideraciones sobre la problemática de la refrigeración de álabes: aspectos termodinámicos, aerodinámicos, del flujo, térmicos e internos.

Lección 8. Turbocompresores axiales.

Generalidades. Expresión del rendimiento en función de los coeficientes de pérdidas de presión de remanso: pérdidas por perfil, pérdidas anulares y pérdidas secundarias. Factor de trabajo realizado. Grado de reacción. Relación de compresión. Influencia del ángulo de salida del álabe en las actuaciones del escalonamiento. Elección del coeficiente de carga, coeficiente de flujo y grado de reacción de un escalonamiento de turbocompresor axial. Relación de compresión de un turbocompresor de varios escalonamientos. Escalonamientos transónicos,

Lección 9 . Flujos tridimensionales en turbomáquinas axiales.

Introducción. Origen de los flujos radiales. Ecuaciones generales del flujo. Hipótesis simplificadoras: Ecuación del equilibrio radial simplificado. Resolución del problema de diseño de álabes torsionados mediante su transformación en dos problemas bidimensionales.

Lección 10. Álabes torsionados. Leyes de torsión

Análisis de las leyes torsionales: Torbellino libre, grado de reacción constante, exponenciales, ángulo de salida del estator constante y gasto específico constante. Variación de las componentes axial y tangencial, de los ángulos del flujo, del grado de reacción y del número de Mach con el radio en las secciones entre coronas de álabes.

IV. TURBOMÁQUINAS RADIALES.

Lección 11. Turbocompresores centrífugos.

Introducción. Influencia del ángulo de salida del álabe en el trabajo específico, en el grado de reacción y en la velocidad de giro. Tipos de álabes. Influencia del ángulo de entrada. Prerrotación y contrarrotación. Coeficientes de deslizamiento y de potencia. El sistema difusor: difusor con álabes y difusor sin álabes. Cálculo de las dimensiones principales de un turbocompresor centrífugo. La voluta. Pérdidas específicas.

Lección 12. Turbinas radiales.

Introducción. Influencia del ángulo de entrada al álabe en el trabajo específico y en el grado de reacción. Influencia del ángulo de salida. El estator. La voluta. Cálculo de las dimensiones principales de una turbina centrípeta.

V. FUNCIONAMIENTO FUERA DE DISEÑO DE LAS TURBOMÁQUINAS.

Lección 13. Análisis de las curvas características de las turbomáquinas térmicas.

Introducción. Inestabilidades del funcionamiento de un turbocompresor. Bloqueo, desprendimiento rotativo y bombeo de turbocompresores axiales Y centrífugos. Problemática de arranque de turbocompresores de alta relación de compresión. Válvula de alivio. Curvas características de las turbinas radiales y axiales: bloqueo en el rotor y bloqueo en el estator. Formas alternativas de representación de las mismas

Lección 14. Regulación de turbocompresores.

Introducción. Diferentes sistemas suministrados por turbocompresores Regulación mediante álabes guías de geometría variable y velocidad constante. Variación de la potencia absorbida. Regulación mediante recirculación y refrigeración de fluido. Variación de la potencia absorbida. Regulación a velocidad variable. Variación de la potencia absorbida

Lección 15. Funcionamiento fuera de diseño de las turbinas de vapor: Regulación.

Objeto de la regulación. Ley del cono de Stodola. Regla de Baer. Métodos de regulación: por estrangulamiento, cuantitativa, mixta. y por presión deslizante Comparación entre ambos sistemas. Empleo de válvula de sobrecarga. Consumo de vapor en función de la carga. Recta de Willan. Consumo específico de vapor en función de la carga.

Lección 16. Funcionamiento fuera de diseño de las turbinas de gas: Regulación.

Introducción. Funcionamiento fuera de diseño de la turbina de gas de un solo eje, Funcionamiento en equilibrio de un generador de gas. Funcionamiento fuera de diseño de la turbina de gas montaje en dos ejes. Curvas características de las turbinas de gas. Tipos de regulación.

VI. CONSIDERACIONES CONSTRUCTIVAS

Lección 17. Elementos constructivos generales.

El rotor. Montaje de disco y montaje en tambor. Materiales. Alabes. Construcción, fijación y materiales. Equilibrado del rotor, Empuje axial, Cojinetes. El estator. Características constructivas. Materiales. Cierres. Tipos. Cierres de laberinto. Cierres sólidos. Cierres hidráulicos.

E. BIBLIOGRAFÍA.

1. TEORÍA DE LAS TURBINAS DE GAS. H. Cohen, G.F. Rogers y H.I.H. Saravanamuttoo. Longman Group Limited, 1978.
2. TERMODINÁMICA DE LAS TURBOMÁQUINAS. Dixon, S.L. Dossat, S.A., 1981.
3. TERMOFLUIDOS, TURBOMÁQUINAS Y MÁQUINAS TÉRMICAS. F.M. Golden. Ceca, 1989.
4. TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS. T. Sánchez y A. Muñoz.;F Jiménez..Editorial Síntesis.2004
5. CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS. T. Sánchez. E.T.S.I.I. de Sevilla, 1986.
6. THE DESIGN OF HIGH-EFFICIENCY TURBOMACHINERY AND GAS TURBINES. D.G. Wilson. Mit Press, 1984.
7. TURBINES COMPRESSORS AND FANS. S.M. Yahya. Tata Mc Graw-Hill, 1991.
8. TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS. Fundamento del diseño termodinámico. M. Muñoz, M. Valdés, M. Muñoz. UPM (E.T.S.I.I.), Sección Publicaciones, 2001
9. COMPRESSOR AERODINAMICS. Cumpsy, N.A. Longman Scientific & Technical, 1989.