ALGUNAS REFERENCIAS

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF COMBUSTION ENGINES.- Ashley S. Campbell ; Robert E. Krieger Publishing Company. Malabar, Florida ISBN 0-89874-774-0

TURBOMAQUINAS DE VAPOR Y DE GAS .- M. Lucini, Editorial Dossat S.A. (Cuarta edición, 1972), D.L. M. 5542-1972

POWER PLANT SYSTEM DESIGN.- Kam W. Li; A. Paul Priddy, John Wiley & Sons.- ISBN 0-471- 88847-8

TURBO-MACHINES HYDRAULIQUES ET THERMIQUES.- M. Sedille, Masson y Cía 1969

TURBOMAQUINAS TERMICAS.- Claudio Mataix, Editorial Dossat.- ISBN 84-237-0727-X.- D.L. M- 38021-1988

GAS TURBINE COMBUSTOR DESIGN PROBLEMS A.H. Lefebvre Hemisphere Publihing Corporation, 1978

CAMARAS DE COMBUSTION DE LAS TURBINAS DE GAS T. Sánchez Lencero Servicio Publicaciones E.T.S.I.I. de Madrid, 1981

GAS TURBINE THEORY H. Cohen, G.F. Rogers, H.I.H. Saravanamuttoo Longman Group Limited, 1978

AIRCRAFT GAS TURBINE ENGINE TECHNOLOGY (II Ed.) I.E. Treager McGraw-Hill Book Company, 1975

THE GAS TURBINE ENGINE. DESIGN DEVELOPMENT APPLICATIONS J.P. Norbye Chilton Book Company, 1975

THERMODYNAMIC ANALYSIS OF COMBUSTION ENGINES Ashley S. Campbell Robert E. Krieger Publishing Company, Malabar (Florida) 1986-ISBN #0-89874-774-0

ANALYSIS OF ENGINEERING CYCLES WORKED PROBLEMS R.W. Haywood Pergamon Press, 1986. ISBN #0-08-032572-6

M. Aigner, A. Mayer, P. Schiessel, W. Strittmatter: Second generation 10w emission combustors for ABE gas turbines: tests under fulí engíne conditions. ASME 90GT, 308,1990.

CFDSFLOW3D; release 3.3: user manual. AEA Technology,1994, Harwell, England.

J. Baughn, M. Hoffmann, R. Takahashi, B. Launder: Local heat transfer downstream of an abrupt expansion in a circular channel with constant wall heat flux. Jeurnal of Heat Transter, 1984, vol 106, 789796.

R.W. Bilger: Turbulent jet diffusion fíames. Progress in energy and combustion science, 1976; vol 1, 87109.

pfernandezdiez.es 167

H.F. Coward, G.W. Jones: Limits of flammability of gases and vapors. OS Bureau of Mines, Washington, 1976, bulletin 503.

R Dellenback, J. Sanger, D. Metzger:.- Heat transter in coaxial jet mixing with swirled inner jet. Jeurnal of Heat Transfer, 1994, vol 116, 864870.

H.U. Frutschi: Las nuevas turoinas de gas 0T24/0T26: el segundo plano histórico del Advanced Cycle System". Revista ABB 1/94, 2125.

S.S. Girimail: Assumed beta pdt model ter turbulent mixing: validation and extensien fo multiple scalar mixing. Comb Sol Tech, 1991,vo178, 177196.

W. Hahn, G. Urner: Untersuchungen zu effusionsgekúhlten Brennkammerelementen. Brennstoff Wárme Krah, 1994, vol 46, nol 2,3339.

J. Han: Heat transfer and friction characteristios in rectangular channeis with rib turbulators. ASME Jeurnal of Heat Transter, 1998, vol 110,321328.

J. Han, J. Park: Developing heat transfer in rectangular channeis with nb turbulators. mt Jeurnal of Heat and Mass Transter, 1988, vol 31, no 1,183195

W.M. Kays, M.E. Crawford: Convective heat and mass transfer. McGraw Huí, New York, 1993.

T. Meindí, E Farkas, R. klussmann:.- The development of a multistage compresser for heavy duty industrial gas turbinos. ASME Houston, 95OT371, 1995.

S.B. Pope: PDEmethodsforturbulent reactive flows. Progress in Energy and Combustion Science, 1985, vol 11, 1992.
T. Sattelmayer, M. FeIchun, J. Haumann, J. Hellat, D. Steyner: Second generation 10w emission combustors ter ABB gas turbinos: humor developemt and tests at atmosphenc preesure. ASME 90GT1 62, 1990.

R Senior, E, Lutum, W. Polifke, T. Sattelmayer: Combustion technology of the ABB GT13E2 annular combustor. 2Oth CIMAC 022 1993 London.

L.J. Spadaccini, J.A. TeVelde: Autoignition characteristics of aircrah type fuels. Combustion and Ramo 46:283300,1982

L.J. Spadaccini, M.B. Colket: Ignition delay characteristics of methane fuels. Prog Energ Comb Sci, 1994, vol 20, 431460.

P Zemanick, R. Dougall: Local heat transter downstream of abrupt circular channel experiment. ASME Jeurnal of Heat Transtor, 1970, vol 92, 5360.168

INDICE

I.- TURBINAS DE GAS; CICLOS TERMODINÁMICOS

Características técnicas y empleo de las turbinas de gas	*1*
Ciclo teórico de una turbina de combustión interna; funcionamiento	*2*
Ciclo teórico de una turbina de combustión sin recuperador (Ciclo Brayton)	*3*
Calor aplicado en la cámara de combustión	*5*
Influencia del recalentamiento de los gases durante la expansión	*6*
Expansión isotérmica	*7*
Influencia de la refrigeración en el proceso de compresión	*7*
Compresión isotérmica	*7*
Ciclo teórico de una turbina de gas de una etapa con recuperador	*8*
Ciclo real de una turbina de gas de una sola etapa sin regenerador	*9*
Consideraciones económicas	*11*
Ciclo real de una turbina de gas simple con regenerador	*12*
Ciclo de una turbina de gas de varias etapas en la compresión y en la expansión	*14*
Ciclo de dos etapas de compresión con refrigeración intermedia y regeneración	*15*
Ciclo de dos etapas de expansión con recalentamiento y regeneración	*16*
Ciclo de n etapas de compresión y m etapas de expansión y regeneración	*18*
Ciclo con refrigeración durante la compresión isoterma	*19*
Ciclo Erickson	*20*
Representación de las mejoras aportadas por la refrigeración en la compresión, etc	*21*
Diagrama aire-productos de combustión	*21*

II.- CURVAS CARACTERISTICAS, PÉRDIDAS DE CARGA, REGULACIÓN, CICLOS CERRADOS

Curvas características de las turbinas de gas en diversos regímenes de funcionamiento	*23*
Curvas características del compresor	*23*
Curvas características de la turbina	*24*
Límites de funcionamiento	*25*
Perturbaciones en el funcionamiento de la instalación	*25*
Influencia de la pérdida de carga durante la combustión en el rendimiento de la turbina	*25*
Variación del rendimiento del ciclo cuando varían los rendimientos del compresor y de la turbina	*28*
Regulación de las turbinas de una línea de ejes	*30*
Regulación a velocidad constante	*30*
Regulación a velocidad variable	*31*
Influencia de la temperatura exterior en el funcionamiento de la turbina	*31*
Arranque	*31*

Temperatura exterior	*32*
Temperatura del aire de aspiración en la turbina	*33*
Altitud	*33*
Régimen de funcionamiento de la turbina	*33*
Regulación de la turbina de gas de dos ejes	*33*
Alternador en el eje de baja presión	*34*
Alternadoror en el eje de alta presión	*35*
Mecanismo de regulación del grupo turbocompresor	*36*
Mecanismo de regulación de un grupo con una línea de ejes	*37*
Mecanismo de regulación de un grupo con dos líneas de ejes	*38*
Ventajas de la turbina de combustión en la generación de energía	*39*
Límite de posibilidades	*39*
Temperatura máxima	*39*
Ciclos en circuito cerrado. Ventajas e inconvenientes	*40*
Ciclos de una turbina de gas en circuito cerrado	*42*
Comportamiento de los gases utilizados en la turbina de circuito cerrado	*43*
Dimensionado	*45*

III.- COMPRESORES CENTRÍFUGOS

Elementos constructivos de las turbinas de gas	*47*
Turbocompresores centrífugos	*48*
El rodete de un turbocompresor centrífugo	*50*
El sistema difusor de un turbocompresor centrífugo	*52*
Relación de compresión máxima en una etapa de un compresor centrífugo	*53*
Relación de compresión máxima en un turbocompresor centrífugo de varios escalonamientos	*53*
Compresión isentrópica en el rodete	*54*
Compresión adiabática real en el rodete	*55*
Compresión adiabática en el sistema difusor	*55*
Determinación del nº de escalonamientos de un turbocompresor centrífugo	*56*
Cálculo de las dimensiones principales	*57*
Criterios para la estimación de $u_{máx}$ y β_2	*57*
Alabes rectos $\beta_2 = 90^o$	*58*
Alabes curvados hacia atrás, $\beta_2 < 90^o$	*59*
Triángulo de salida del rodete	*60*
Valores de b_1 y b_2 a la entrada y salida del rodete	*61*
Diámetro del eje d_e, del cubo d_c y de la boca del rodete d_a	*61*
Nº de álabes de un turbocompresor centrífugo	*61*
Trazado de los álabes	*62*
Cálculo de la corona directriz sin álabes	*63*
Cálculo de la corona directriz con álabes	*64*

IV.- COMPRESORES AXIALES

Introducción	*65*
Incremento de la presión teórica en un escalonamiento de turbocompresor axial	*67*
Rotor de un turbocompresor axial	*68*
Estator de un turbocompresor axial	*68*
Factor de disminución de trabajo en los turbocompresores axiales	*68*
Grado de reacción de un turbocompresor axial	*70*
Coeficientes de diseño de un turbocompresor axial	*72*
Coeficiente de carga Ψ	*72*
Coeficiente de caudal o de flujo Φ	*72*
Relación de cubo ν	*72*
Nº específico adimensional de revoluciones n-escalón	*73*
Número de Mach	*73*
Formas básicas del perfil de un turbocompresor axial	*73*
Nº de escalonamientos de un turbocompresor axial	*74*
Dimensiones principales de un turbocompresor axial de diámetro exterior constante	*75*
Procedimiento de cálculo de un turbocompresor axial	*77*
Diseño refrigerado de un turbocompresor axial	*78*
Conductos de entrada a los compresores	*79*
Conductos de entrada subsónicos	*80*
Conductos de entrada supersónicos	*81*
Difusor supersónico	*81*
Compresores axiales en turborreactores	*82*
Motores de doble flujo, Turbofan	*85*
El turbocompresor supersónico	*86*

V.- REFRIGERACIÓN DE LOS ALABES

Alabes de la corona móvil	*89*
Refrigeración de la turbina	*91*
Refrigeración de los álabes de turbinas axiales	*93*
Refrigeración por líquidos	*94*
Refrigeración por aire	*94*
Convección libre	*95*
Convección forzada	*95*
Refrigeración por impacto	*95*
Refrigeración por película de aire	*95*
Transpiración	*96*
Transmisión de calor en álabes refrigerados por convección	*97*
Evaluación del coeficiente de transmisión de calor interior por convección	*98*

Evaluación del coeficiente de transmisión de calor exterior por convección	*98*
Pérdidas en los álabes de la turbina	*100*
Determinación del ángulo de salida del álabe	*101*
Influencia de la compresibilidad	*101*
Relación de expansión libre	*103*
Influencia del ángulo de ataque	*104*

VI.- CÁMARAS DE COMBUSTIÓN

Introducción	*107*
Aire utilizado en el proceso de combustión	*107*
Análisis del proceso de combustión	*109*
Cámaras de combustión	*111*
Cámaras de combustión tubulares o CAN y MULTICAN	*111*
Cámaras de combustión anulares	*113*
Cámaras de combustión tubo-anulares o CAN-ANULAR	*114*
Cámaras de combustión de flujo inverso	*115*
Turbinas de gas industriales	*115*
Materiales empleados en las cámaras de combustión	*117*
Estabilidad de la combustión	*117*
Inyectores centrífugos	*120*
Inyector simple	*123*
Inyector con torbellinador	*123*
Inyector de dos toberas	*124*
Inyector de dos etapas	*124*
Inyector con retorno	*125*
Grado de atomización	*125*
Gasto de combustible	*126*
Sistemas de encendido	*126*
Dimensiones de las cámaras de combustión	*128*
Dimensionado de los orificios	*130*
Recuperadores	*130*
Pérdidas de carga en la cámara de combustión	*131*
Pérdidas hidráulicas	*131*
Representación de la pérdida de carga durante la combustión, en el diagrama (T-s)	*132*
Pérdidas térmicas	*132*
Rendimiento de una cámara de combustión	*133*

VII.- APLICACIONES

Sobrealimentación de motores y calderas	*137*
Turbocompresor de sobrealimentación	*137*

Sobrealimentación de calderas	*138*
Ciclo combinado turbina de vapor y turbina de gas	*139*
Turbina de gas con instalación de turbina de vapor aguas abajo	*139*
Instalación combinada con caldera en horno a presión	*140*
Otras aplicaciones industriales de la turbina de gas	*141*
Turbina de gas para generación de energía	*141*
Turbina de gas para la producción de viento	*142*
Turbina de gas para la producción simultánea de energía y aire comprimido	*142*
Generador de gas de pistones	*143*
Motores de propulsión por turbina de gas	*144*
Propulsión de barcos	*144*
Propulsión de automóviles	*145*
Propulsión por reacción	*146*
Turborreactores	*146*
Turborreactor de un flujo	*148*
Rendimiento térmico teniendo en cuenta la velocidad de desplazamiento del avión	*150*
Empuje total teniendo en cuenta la velocidad de desplazamiento	*151*
Influencia de la altitud	*152*
Aumento del empuje. Inyección de agua. Postcombustión	*154*
Aumento del rendimiento	*155*
Turborreactor de dos flujos	*155*

VIII.- CONTAMINACIÓN POR TURBINAS DE AVIACIÓN

Formación de contaminantes	*157*
Impacto del dimensionamiento de las cámaras de combustión sobre la contaminación	*160*
Reducción de la contaminación	*160*
Algunas tecnologías utilizadas para reducir la contaminación	*161*
Inyección de agua o de vapor	*161*
Inyección de amoniaco	*161*
Cambio de carburante	*161*
Mejora del sistema de inyección	*162*
Optimización del reparto de aire	*163*
Optimización del reparto de carburante	*163*
Acortamiento de la cámara de combustión	*163*
Acción sobre el ciclo del motor	*163*
Tecnología actual	*164*
Nuevas tecnologías	*164*
Inyección escalonada	*164*
Geometría variable	*165*
Inyección con premezcla pobre	*166*
Combustión rica, dilución rápida pobre	*166*

Combustión catalítica	*167*
PROBLEMAS	*169*
REFERENCIAS	*191*
INDICE	*193*