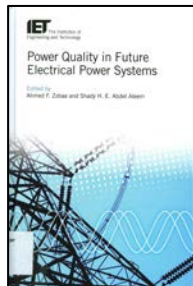


1. Power quality in future electrical power systems. London: Institution of Engineering and Technology, 2017. 421p.  
ISBN 978-1-78561-123-0  
**Signatura: IB/621.3 POW ems**



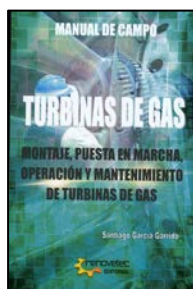
[Índice](#)

2. Sabugal García, Santiago. Centrales térmicas de ciclo combinado: principios de funcionamiento, principales equipos y sistemas. Madrid: Renovetec, D.L. 2015.  
ISBN 978-84-606-8311-7  
**Signatura: IB/621.4 SAB cen V.1 y V.2**



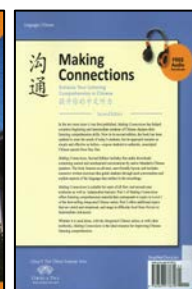
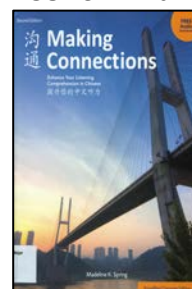
[Índice](#)

3. García Garrido, Santiago. Turbinas de gas: montaje, puesta en marcha, operación y mantenimiento. [Madrid]: Renovetec, D.L. 2014. 369p.  
ISBN 978-84-617-0450-7  
**Signatura: IB/621.4 GAR tur**



[Índice](#)

4. Spring, Madeline Kay. Making connections: enhance your listening comprehension in chinese: simplified character versión. Boston: Cheng & Tsui Company, cop. 2012. 362p.  
ISBN 978-0-88727-767-2  
**Signatura: IB/811.581 SPR mak**



[Índice](#)



---

## Contents

---

|                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Preface</b>                                                                           | <b>xiii</b> |
| <b>1 Power quality definitions</b>                                                       | <b>1</b>    |
| <i>Ramani Kannan and Jagabar Sathik Mohd. Ali</i>                                        |             |
| 1.1 Introduction to various power quality indices                                        | 1           |
| 1.1.1 Why are we concerned about power quality?                                          | 1           |
| 1.1.2 Definition of power quality                                                        | 2           |
| 1.2 Various conventional power quality indices                                           | 3           |
| 1.2.1 Harmonics and interharmonic                                                        | 3           |
| 1.2.2 Voltage fluctuations and flicker                                                   | 6           |
| 1.2.3 Voltage unbalance                                                                  | 7           |
| 1.2.4 Power frequency variations                                                         | 8           |
| 1.2.5 Transients                                                                         | 9           |
| 1.2.6 Short duration voltage variations                                                  | 11          |
| 1.3 International standards                                                              | 15          |
| 1.3.1 The Institute of Electrical and Electronic Engineering (IEEE) Standards            | 15          |
| 1.3.2 American National Standards Institute (IEEE/ANSI)                                  | 16          |
| 1.3.3 British Standards (BS) with IEC Standards                                          | 17          |
| 1.3.4 International Electrotechnical Commission (IEC) Standards                          | 19          |
| 1.4 Cost of poor power quality                                                           | 20          |
| 1.4.1 Investment analysis to mitigate costs of power quality                             | 21          |
| 1.4.2 Economic impact of power quality disturbances                                      | 24          |
| 1.4.3 Economic mechanisms for improving power quality levels                             | 26          |
| References                                                                               | 27          |
| <b>2 Frequency-domain power theory and metering of harmonic-pollution responsibility</b> | <b>29</b>   |
| <i>Murat Erhan Balci and Mehmet Hakan Hocaoglu</i>                                       |             |
| 2.1 Introduction                                                                         | 29          |
| 2.2 Power resolutions for non-sinusoidal single-phase systems                            | 30          |
| 2.2.1 Budeanu's power resolution                                                         | 31          |
| 2.2.2 Fryze's power resolution                                                           | 32          |
| 2.2.3 Shepherd and Zakikhani's power resolution                                          | 33          |

vi *Power quality in future electrical power systems*

|          |                                                                                                                                                                          |           |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.2.4    | Sharon's power resolution                                                                                                                                                | 34        |
| 2.2.5    | Kusters and Moore's power resolution                                                                                                                                     | 34        |
| 2.2.6    | Czarnecki's power resolution                                                                                                                                             | 35        |
| 2.2.7    | IEEE standard power resolution                                                                                                                                           | 37        |
| 2.2.8    | Balci and Hocaoglu's power resolution                                                                                                                                    | 38        |
| 2.3      | Power resolutions for non-sinusoidal and unbalanced three-phase systems                                                                                                  | 40        |
| 2.3.1    | Vector apparent power and its resolution                                                                                                                                 | 40        |
| 2.3.2    | Arithmetic apparent power                                                                                                                                                | 41        |
| 2.3.3    | Buchholz's apparent power and its resolutions                                                                                                                            | 41        |
| 2.3.4    | IEEE standard apparent power and its resolution                                                                                                                          | 50        |
| 2.4      | Practical implementation of apparent powers and their power resolutions included in IEEE standard 1459 and DIN standard 40110                                            | 51        |
| 2.4.1    | LabView blocks of developed power meter                                                                                                                                  | 51        |
| 2.4.2    | Measurement results                                                                                                                                                      | 54        |
| 2.5      | Metering of harmonic-pollution responsibility                                                                                                                            | 59        |
| 2.5.1    | The indices based on active power direction method                                                                                                                       | 59        |
| 2.5.2    | The methods based on the harmonic analysis of the system                                                                                                                 | 61        |
| 2.5.3    | The current decomposition based indices                                                                                                                                  | 63        |
| 2.5.4    | The methods based on the evaluation of the non-active powers                                                                                                             | 65        |
| 2.6      | The statistical evaluation of the <i>HGI</i> , <i>NLI</i> and $D_s$ harmonic source detection approaches for different load types under several supply voltage waveforms | 67        |
| 2.7      | Conclusions                                                                                                                                                              | 71        |
|          | References                                                                                                                                                               | 71        |
| <b>3</b> | <b>Passive harmonic filters</b>                                                                                                                                          | <b>77</b> |
|          | <i>Chamberlin Stéphane Azebaze Mboving and Zbigniew Hanzelka</i>                                                                                                         |           |
|          | Summary                                                                                                                                                                  | 77        |
| 3.1      | Introduction                                                                                                                                                             | 77        |
| 3.2      | General concept of passive harmonic filters                                                                                                                              | 77        |
| 3.3      | Series passive filters                                                                                                                                                   | 79        |
| 3.4      | Shunt passive filters                                                                                                                                                    | 83        |
| 3.4.1    | Single-tuned filter                                                                                                                                                      | 83        |
| 3.4.2    | Double-tuned filter                                                                                                                                                      | 92        |
| 3.4.3    | Broad-band filters                                                                                                                                                       | 92        |
| 3.5      | Hybrid passive filter                                                                                                                                                    | 119       |
| 3.6      | Conclusion                                                                                                                                                               | 127       |
|          | References                                                                                                                                                               | 127       |

|                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4 Active harmonic filters</b>                                                             | <b>131</b> |
| <i>A.M. Sharaf, Foad H. Gandoman and Behnam Khaki</i>                                        |            |
| 4.1 Introduction                                                                             | 131        |
| 4.2 Industrial load models and characteristics                                               | 132        |
| 4.2.1 Dynamic and quasi-static harmonics in modern electrical networks                       | 132        |
| 4.2.2 Industrial nonlinear loads types and characteristics                                   | 133        |
| 4.3 Active power filter topologies and design considerations                                 | 134        |
| 4.3.1 Active power filters use in AC and DC-AC power systems                                 | 134        |
| 4.3.2 Active power filters—design issues and considerations                                  | 135        |
| 4.3.3 Active power filters—industrial applications                                           | 136        |
| 4.4 Active power filters configurations                                                      | 137        |
| 4.4.1 Current source active power filters—CSC                                                | 137        |
| 4.4.2 Voltage source active power filters—VSC                                                | 138        |
| 4.4.3 Shunt-active power filters                                                             | 139        |
| 4.4.4 Series-active power filters                                                            | 140        |
| 4.4.5 Hybrid-active power filters                                                            | 141        |
| 4.4.6 Modern/distributed-active power filter                                                 | 142        |
| 4.5 Active power filters—APF control strategies                                              | 143        |
| 4.5.1 Overview of APF control techniques                                                     | 143        |
| 4.5.2 Heuristic soft computing-based control methods                                         | 144        |
| 4.5.3 Industrial load harmonic mitigation using APF control techniques                       | 145        |
| 4.6 Emerging APF—applications and typologies                                                 | 148        |
| 4.7 Case studies: design and optimization of an industrial active power filter               | 151        |
| 4.7.1 Case study I: APF application and control strategies for hybrid AC-DC industrial loads | 151        |
| 4.7.2 Case study II: hybrid-APFs for AC-DC system                                            | 157        |
| 4.8 Conclusions                                                                              | 157        |
| References                                                                                   | 159        |
| <b>5 Shunt flexible a.c. transmission</b>                                                    | <b>165</b> |
| <i>Grazia Todeschini</i>                                                                     |            |
| 5.1 Introduction                                                                             | 165        |
| 5.2 Overview of harmonic concerns for shunt FACT devices and chapter content                 | 166        |
| 5.2.1 Resonance conditions                                                                   | 167        |
| 5.2.2 Frequency scans                                                                        | 169        |
| 5.3 Power system model                                                                       | 170        |
| 5.3.1 Power system components                                                                | 171        |
| 5.3.2 Background voltage distortion                                                          | 179        |
| 5.3.3 Conclusions on system model                                                            | 180        |

|          |                                                            |            |
|----------|------------------------------------------------------------|------------|
| 5.4      | Shunt FACT device model                                    | 181        |
| 5.4.1    | Static VAr compensator (SVC)                               | 181        |
| 5.4.2    | Static synchronous compensator (SSC or STATCOM)            | 186        |
| 5.4.3    | High-voltage dc (HVDC) transmission                        | 190        |
| 5.4.4    | Conclusions on shunt FACT device model                     | 192        |
| 5.5      | Harmonic studies                                           | 192        |
| 5.5.1    | Harmonic-performance studies                               | 193        |
| 5.5.2    | Harmonicating studies                                      | 198        |
|          | References                                                 | 201        |
| <b>6</b> | <b>Power-quality improvement using series FACTS</b>        | <b>205</b> |
|          | <i>Salah Kamel and Francisco Jurado</i>                    |            |
| 6.1      | Introduction                                               | 205        |
| 6.1.1    | Electricity network and power-quality overview             | 205        |
| 6.1.2    | Load-flow analysis                                         | 205        |
| 6.2      | Power-quality improvement using FACTS devices              | 208        |
| 6.3      | Proposed SSSC model                                        | 209        |
| 6.3.1    | Case 1: PQ control                                         | 210        |
| 6.3.2    | Case 2: P control                                          | 211        |
| 6.3.3    | NR-RCIM load-flow method with developed SSSC model         | 212        |
| 6.4      | Proposed IPFC model                                        | 215        |
| 6.4.1    | Master line                                                | 216        |
| 6.4.2    | Slave line                                                 | 218        |
| 6.4.3    | Incorporating of developed IPFC model in NR-RCIM load flow | 220        |
| 6.5      | Validation of developed series FACTS models                | 220        |
| 6.5.1    | Proposed SSSC model in NR-RCIM                             | 220        |
| 6.5.2    | Developed IPFC model in NR-RCIM                            | 229        |
| 6.6      | Conclusions                                                | 235        |
|          | References                                                 | 235        |
| <b>7</b> | <b>Distributed generation systems</b>                      | <b>239</b> |
|          | <i>Khaled H. Ahmed and Ahmed A. Aboushady</i>              |            |
| 7.1      | Introduction                                               | 239        |
| 7.2      | Distributed generation                                     | 241        |
| 7.2.1    | Description of the problem                                 | 242        |
| 7.2.2    | Applications of distribution generation                    | 243        |
| 7.3      | Voltage source converters                                  | 245        |
| 7.4      | Control techniques in DG systems                           | 247        |
| 7.4.1    | Grid connection                                            | 247        |
| 7.4.2    | Islanded mode                                              | 250        |
| 7.5      | Power quality in DG                                        | 257        |
| 7.5.1    | Grid connected                                             | 257        |
| 7.5.2    | Island mode                                                | 258        |

|          |                                                                                                                                    |            |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.6      | Harmonics and passive filter design for DG                                                                                         | 260        |
| 7.6.1    | Power filter configurations                                                                                                        | 260        |
| 7.6.2    | Analysis of the three filter topologies                                                                                            | 261        |
| 7.6.3    | Filter design                                                                                                                      | 266        |
| 7.6.4    | Case study                                                                                                                         | 270        |
| 7.6.5    | Damping filter design                                                                                                              | 270        |
| 7.6.6    | Simulation results                                                                                                                 | 272        |
|          | References                                                                                                                         | 274        |
| <b>8</b> | <b>Backward–forward sweep-based islanding scenario generation algorithm for defensive splitting of radial distribution systems</b> | <b>283</b> |
|          | <i>F. Jabari and B. Mohammadi-Ivatloo</i>                                                                                          |            |
| 8.1      | Introduction                                                                                                                       | 283        |
| 8.2      | Problem formulation                                                                                                                | 285        |
| 8.2.1    | Proposed backward–forward-sweep-based islanding scenario generation algorithm                                                      | 285        |
| 8.2.2    | Objective function and constraints                                                                                                 | 288        |
| 8.2.3    | Binary imperialistic-competitive-algorithm-based optimization process                                                              | 288        |
| 8.3      | Simulation studies                                                                                                                 | 291        |
| 8.4      | Conclusion                                                                                                                         | 298        |
|          | Appendix                                                                                                                           | 300        |
|          | References                                                                                                                         | 301        |
| <b>9</b> | <b>Decentralised voltage control in smart grids</b>                                                                                | <b>305</b> |
|          | <i>Amin Mohammadpour Shotorbani, Behnam Mohammadi-ivatloo, Liwei Wang and Saeid Ghassem Zadeh</i>                                  |            |
| 9.1      | Introduction                                                                                                                       | 305        |
| 9.1.1    | Voltage profile as power quality index                                                                                             | 306        |
| 9.1.2    | Microgrids                                                                                                                         | 308        |
| 9.1.3    | Motivation of cooperative decentralised control in smart grid                                                                      | 310        |
| 9.2      | Decentralised and distributed control systems                                                                                      | 311        |
| 9.2.1    | Contraction-based multi-agent systems                                                                                              | 313        |
| 9.2.2    | Contract net interaction protocol                                                                                                  | 315        |
| 9.3      | Centralised hierarchical control of the DERs                                                                                       | 317        |
| 9.3.1    | Frequency regulation                                                                                                               | 317        |
| 9.3.2    | Voltage magnitude regulation                                                                                                       | 318        |
| 9.4      | DER integration concealment                                                                                                        | 320        |
| 9.5      | Reactive power dispatch                                                                                                            | 322        |
| 9.5.1    | Power-flow equations                                                                                                               | 323        |
| 9.5.2    | Sensitivity calculations                                                                                                           | 324        |
| 9.5.3    | Modal analysis                                                                                                                     | 325        |

x *Power quality in future electrical power systems*

|           |                                                                                            |            |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 9.6       | Distributed voltage control schemes                                                        | 326        |
| 9.6.1     | Optimisation based on the Lagrange multipliers method                                      | 326        |
| 9.6.2     | Distributed voltage control via multi-agent system                                         | 327        |
| 9.6.3     | Distributed voltage control with simplified model-based sensitivity calculation            | 330        |
| 9.6.4     | Decentralised cooperative optimisation using self-organised sensor network                 | 333        |
| 9.6.5     | Distributed cooperative gradient-descent optimisation of reactive power dispatch           | 336        |
|           | References                                                                                 | 339        |
|           | Further Readings                                                                           | 341        |
| <b>10</b> | <b>Techno-economic issues of power quality</b>                                             | <b>343</b> |
|           | <i>Jayesh Joglekar</i>                                                                     |            |
| 10.1      | Introduction                                                                               | 343        |
| 10.2      | Different approaches for finding out power quality impact on tariff                        | 344        |
| 10.3      | Design of modules to associate disturbance and economic loss                               | 344        |
| 10.3.1    | Case study 1: cement plant                                                                 | 345        |
| 10.3.2    | Case study 2: industry                                                                     | 346        |
| 10.3.3    | Case study 3: hospital                                                                     | 347        |
| 10.4      | The relationship between duration of disturbance and its cost-benefit analysis index       | 348        |
| 10.5      | Improvement of power quality in the system and its expected benefits                       | 349        |
| 10.6      | Power-quality investment and gross domestic product in developing countries: case study    | 350        |
| 10.6.1    | Case 1: Nepal                                                                              | 350        |
| 10.6.2    | Case 2: Sri Lanka                                                                          | 354        |
| 10.7      | Conclusions                                                                                | 356        |
|           | Acknowledgment                                                                             | 356        |
|           | References                                                                                 | 356        |
| <b>11</b> | <b>An economic robust programming approach for the design of energy management systems</b> | <b>359</b> |
|           | <i>Felipe Valencia Arroyave and Alejandro Marquez Ruiz</i>                                 |            |
| 11.1      | Introduction                                                                               | 359        |
| 11.2      | Robust programming framework                                                               | 362        |
| 11.3      | Energy management system as a robust programming problem                                   | 363        |
| 11.4      | Case study and simulation results                                                          | 370        |
| 11.5      | Concluding remarks                                                                         | 376        |
|           | Acknowledgment                                                                             | 377        |
|           | References                                                                                 | 377        |

|                                                                                     |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>12 Future trends in power quality</b>                                            | <b>381</b> |
| <i>A.M. Sharaf, Abdelazeem A. Abdelsalam,<br/>Hossam A. Gabbar and Ahmed Othman</i> |            |
| 12.1 Introduction                                                                   | 381        |
| 12.2 Contracts of PQ in a reconfigured electric power industry                      | 381        |
| 12.3 Emerging power quality measurements                                            | 386        |
| 12.4 Power quality: impacts, harmonics estimation and mitigation                    | 388        |
| 12.5 Power quality indices and standards                                            | 389        |
| 12.6 Power quality and smart grid                                                   | 391        |
| 12.7 Power quality trends and future requirements                                   | 393        |
| 12.8 Case studies                                                                   | 395        |
| 12.8.1 The hybrid FACTS SPFC-filter compensator                                     | 397        |
| 12.8.2 FACTS-MPFC Modulated power filter compensator<br>scheme I                    | 400        |
| 12.8.3 FACTS-MPFC switched power filter compensator<br>scheme II                    | 402        |
| 12.8.4 Modulated/switched series-shunt power filter<br>compensator scheme III       | 405        |
| 12.9 Conclusions                                                                    | 409        |
| Appendix                                                                            | 409        |
| References                                                                          | 410        |
| <b>Index</b>                                                                        | <b>413</b> |

# Índice

## VOLUMEN 1

|          |                                                       |           |
|----------|-------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO</b>               | <b>1</b>  |
| 1.1      | REFERENCIAS HISTÓRICAS                                | 1         |
| 1.2      | QUÉ ES UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO                 | 5         |
| 1.3      | LAS VENTAJAS DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADOS     | 9         |
| 1.4      | LIMITACIONES, DESVENTAJAS Y PROBLEMAS DE LOS C. COMB. | 11        |
| 1.5      | EL FUTURO DE LAS CENTRALES DE CICLO COMBINADO         | 15        |
| <br>     |                                                       |           |
| <b>2</b> | <b>PRINCIPALES EQUIPOS Y SISTEMAS</b>                 | <b>17</b> |
| 2.1      | RESUMEN DE EQUIPOS QUE COMPONEN UN CICLO COMBINADO    | 18        |
| 2.2      | LA TURBINA DE GAS                                     | 22        |
| 2.3      | LA TURBINA DE VAPOR                                   | 25        |
| 2.4      | EL GENERADOR                                          | 30        |
| 2.5      | EL GENERADOR DE VAPOR POR RECUPERACIÓN DE CALOR       | 32        |
| 2.6      | EL SISTEMA ELÉCTRICO DE ALTA Y MEDIA TENSIÓN          | 39        |
| 2.7      | EL SISTEMA DE BAJA TENSIÓN                            | 44        |
| 2.8      | LOS SISTEMAS AUXILIARES                               | 47        |
| 2.8.1    | <i>Sistema de refrigeración principal</i>             | 47        |
| 2.8.2    | <i>Sistema de refrigeración de equipos</i>            | 49        |

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| 2.8.3 Planta de tratamiento de agua (PTA)                 | 50        |
| 2.8.4 Planta de tratamiento de efluentes                  | 53        |
| 2.8.5. Estación de gas (ERM)                              | 55        |
| 2.8.6 Planta de combustible líquido                       | 55        |
| 2.8.7 Sistema de aire comprimido                          | 56        |
| 2.8.8 Sistema contraincendios                             | 58        |
| 2.9 EL SISTEMA DE CONTROL                                 | 60        |
| <b>3 CONFIGURACIONES HABITUALES</b>                       | <b>63</b> |
| 3.1 CONFIGURACIÓN MONOEJE 1X1                             | 63        |
| 3.2 CONFIGURACIÓN MULTIEJE 1X1                            | 66        |
| 3.3 CONFIGURACIÓN NX1X1                                   | 67        |
| 3.4 CONFIGURACIÓN 2X1                                     | 68        |
| 3.5 CONFIGURACIÓN NX1                                     | 73        |
| 3.6 CONFIGURACIÓN NXNX1                                   | 74        |
| 3.7 CONFIGURACIONES ESPECIALES                            | 74        |
| 3.7.1 Centrales ISCC                                      | 74        |
| 3.7.2 Centrales IGCC                                      | 82        |
| <b>4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN CICLO COMBINADO</b> | <b>85</b> |
| 4.1 POTENCIA BRUTA Y NETA                                 | 85        |
| 4.2 MARCA Y MODELO DE LA TURBINA DE GAS                   | 86        |
| 4.3 CONFIGURACIÓN                                         | 87        |
| 4.4 RENDIMIENTO GLOBAL                                    | 87        |

|          |                                                |           |
|----------|------------------------------------------------|-----------|
| 4.5      | HEAT RATE                                      | 88        |
| 4.6      | COMBUSTIBLES EMPLEADOS                         | 89        |
| 4.7      | TIPO DE HRSG                                   | 89        |
| 4.8      | NIVELES DE PRESIÓN DEL CICLO AGUA-VAPOR        | 89        |
| 4.9      | TIPO DE REFRIGERACIÓN                          | 90        |
| 4.10     | TIPO DE GENERADOR                              | 90        |
| 4.11     | POSIBILIDAD DE ARRANQUE DESDE CERO TENSIÓN     | 91        |
| 4.12     | TENSIÓN DE GENERACIÓN                          | 91        |
| 4.13     | TENSIÓN DE SALIDA                              | 93        |
| 4.14     | TIPO DE SUBESTACIÓN                            | 93        |
| <b>5</b> | <b>IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LAS C.T.C.C.</b>  | <b>95</b> |
| 5.1      | EL ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)          | 96        |
| 5.2      | EMISIONES GASEOSAS                             | 97        |
| 5.2.1    | CO <sub>2</sub>                                | 98        |
| 5.2.2    | CO                                             | 99        |
| 5.2.3    | SO <sub>2</sub> y NO <sub>x</sub>              | 99        |
| 5.2.4    | Partículas sólidas                             | 101       |
| 5.2.5    | Vapor de agua                                  | 101       |
| 5.2.6    | El control de las emisiones atmosféricas       | 102       |
| 5.3      | VERTIDOS                                       | 103       |
| 5.3.1    | Aguas de refrigeración                         | 104       |
| 5.3.2    | Aguas de proceso                               | 107       |
| 5.3.3    | Aguas de lluvia                                | 108       |
| 5.3.4    | Otras aguas de diferentes procesos ocasionales | 109       |
| 5.3.5    | El control de vertidos                         | 111       |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5.4 RUIDO</b>                                                  | <b>111</b> |
| <b>5.5 RESIDUOS TÓXICOS Y PELIGROSOS</b>                          | <b>114</b> |
| 5.5.1 Aceites usados                                              | 114        |
| 5.5.2 Envases de productos químicos                               | 114        |
| 5.5.3 Filtros de aire de entrada a turbina de gas                 | 115        |
| 5.5.4 Otros residuos sólidos no tóxicos                           | 115        |
| <b>5.6 ACCIDENTES, SITUACIONES ESPECIALES Y RIESGOS MEDIOAMB.</b> | <b>115</b> |
| 5.6.1 Vertidos de combustible auxiliar                            | 115        |
| 5.6.2 Roturas de tuberías de aguas de refrigeración               | 116        |
| 5.6.3 Derrames de aceites                                         | 117        |
| 5.6.4 Funcionamiento deficiente de depuradoras                    | 118        |
| 5.6.5 Derrames de ácido sulfúrico                                 | 118        |
| 5.6.6 Derrames de otros productos químicos                        | 118        |
| 5.6.7 Combustión inadecuada en turbina de gas                     | 119        |
| 5.6.8 Fugas de metano                                             | 119        |
| 5.6.9 Soplado de tuberías de caldera                              | 119        |
| <b>6 LA TURBINA DE GAS</b>                                        | <b>121</b> |
| 6.1 TURBINAS DE GAS                                               | 121        |
| 6.2 HISTORIA DE LAS TURBINAS DE GAS                               | 125        |
| 6.3 TIPOS DE TURBINAS DE GAS                                      | 134        |
| 6.3.1. Por el origen de su diseño                                 | 134        |
| 6.3.2 Por el tipo de cámara de combustión                         | 139        |
| 6.3.3 Por el número de ejes                                       | 144        |
| 6.4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE TURBINAS DE GAS                 | 145        |
| 6.4.1 Datos identificativos                                       | 145        |
| 6.4.2 Tipo de turbina                                             | 145        |

|            |                                                    |            |
|------------|----------------------------------------------------|------------|
| 6.4.3      | Características constructivas                      | 146        |
| 6.4.4      | Parámetros técnicos                                | 146        |
| 6.4.5      | Prestaciones                                       | 147        |
| <b>6.5</b> | <b>PRINCIPALES COMPONENTES DE LA TURBINA</b>       | <b>148</b> |
| 6.5.1      | Compresor de aire                                  | 149        |
| 6.5.2      | Cámara de combustión                               | 150        |
| 6.5.3      | Turbina de expansión                               | 151        |
| 6.5.4      | Rotor                                              | 154        |
| 6.5.5      | Carcasa                                            | 155        |
| 6.5.6      | Cojinetes o rodamientos                            | 155        |
| <b>6.6</b> | <b>ELEMENTOS AUXILIARES</b>                        | <b>158</b> |
| 6.6.1      | Sistema de filtración de aire de combustión        | 158        |
| 6.6.2      | Sistema antihielo                                  | 160        |
| 6.6.3      | Silenciador                                        | 160        |
| 6.6.4      | Cerramiento (contenedor acústico)                  | 161        |
| 6.6.5      | Sistema de limpieza del compresor                  | 161        |
| 6.6.6      | Sistema de arranque                                | 161        |
| 6.6.7      | Sistema de lubricación                             | 162        |
| 6.6.8      | Refrigeración / Ventilación                        | 162        |
| 6.6.9      | Sistema antiincendios y de detección de gas        | 162        |
| <b>6.7</b> | <b>COMBUSTIBLES UTILIZABLES EN TURBINAS DE GAS</b> | <b>163</b> |
| <b>7</b>   | <b>EL GENERADOR ELÉCTRICO</b>                      | <b>165</b> |
| 7.1        | EL GENERADOR ELÉCTRICO ROTATIVO                    | 165        |
| 7.2        | EL PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO                     | 168        |
| 7.3        | TIPOS DE GENERADORES                               | 172        |
| 7.3.1      | De acuerdo con el tipo de corriente                | 172        |
| 7.3.2      | De acuerdo con la velocidad de giro                | 175        |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.3.3 De acuerdo con el tipo de refrigeración                       | 179        |
| 7.3.4 De acuerdo con el número de fases                             | 181        |
| 7.3.5 Por el tipo de polos                                          | 183        |
| <b>7.4 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE UN GENERADOR</b>               | <b>185</b> |
| 7.4.1 Potencia aparente máxima                                      | 185        |
| 7.4.2 Potencia activa y $\cos \phi$                                 | 188        |
| 7.4.3 Intensidad máxima                                             | 189        |
| 7.4.4 Voltaje de generación                                         | 189        |
| 7.4.5 Número de polos del rotor                                     | 191        |
| 7.4.6 Número de fases del estator                                   | 191        |
| 7.4.7 Velocidad de rotación                                         | 191        |
| 7.4.8 Corrientes de excitación nominales                            | 192        |
| 7.4.9 Razón de corto circuito RCC                                   | 192        |
| 7.4.10 Tipo de refrigeración                                        | 193        |
| 7.4.11 Tipo de excitatriz                                           | 194        |
| 7.4.12 Clase de servicio                                            | 195        |
| 7.4.13 Tipo de aislamiento                                          | 196        |
| 7.4.14 Grado de protección                                          | 197        |
| 7.4.15 La placa de características                                  | 197        |
| 7.4.16 La hoja de datos técnicos del generador                      | 199        |
| <b>7.5 ELEMENTOS PRINCIPALES DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b> | <b>200</b> |
| 7.5.1 El rotor                                                      | 200        |
| 7.5.2 El estator                                                    | 205        |
| 7.5.3 Los rodamientos o cojinetes                                   | 216        |
| <b>7.6 ELEMENTOS AUXILIARES DE UN GENERADOR SÍNCRONO TRIFÁSICO</b>  | <b>223</b> |
| 7.6.1 La excitatriz                                                 | 223        |
| 7.6.2 El sistema aislante                                           | 230        |
| 7.6.3 El sistema de refrigeración                                   | 234        |
| 7.6.4 El sistema de lubricación                                     | 235        |

|                                                            |     |
|------------------------------------------------------------|-----|
| 7.6.5 La caja de conexiones                                | 236 |
| 7.6.6 El punto neutro                                      | 236 |
| 7.7 EL TIPO DE GENERADOR MÁS HABITUAL EN CICLOS COMBINADOS | 237 |

## VOLUMEN 2

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8 GENERADOR DE VAPOR POR REC. DE CALOR (HRSG)</b>       | <b>239</b> |
| 8.1 LOS GENERADORES DE VAPOR POR RECUPERACIÓN DE CALOR     | 239        |
| 8.2 TIPOS DE CALDERAS DE RECUPERACIÓN                      | 241        |
| 8.2.1 Por la fuente de energía utilizada                   | 241        |
| 8.2.2 Por la presión de salida del vapor                   | 242        |
| 8.2.3 Por el sitio por el que circula el agua              | 243        |
| 8.2.4 Por el tipo de circulación de agua                   | 247        |
| 8.2.5 Por el tipo de vapor que producen                    | 251        |
| 8.2.6 Según la dirección de los humos                      | 252        |
| 8.2.7 Según el número de niveles de presión                | 254        |
| 8.2.8 Por las condiciones del vapor                        | 254        |
| 8.3 PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE CALDERAS DE RECUPERACIÓN | 255        |
| 8.3.1 Tipo de caldera                                      | 255        |
| 8.3.2 Caudal de vapor producido                            | 255        |
| 8.3.3 Presión y temperatura del vapor producido            | 255        |
| 8.3.4 Niveles de presión                                   | 256        |
| 8.3.5 Pinch Point                                          | 257        |
| 8.3.6 Approach point                                       | 258        |
| 8.3.7 Superficie de calefacción                            | 260        |
| 8.4 PRINCIPALES ELEMENTOS EN CALDERAS PIROTUBULARES        | 260        |
| 8.4.1 El hogar                                             | 261        |

|                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------|------------|
| 8.4.2 Caja de fuego                                               | 261        |
| 8.4.3 Envolvente                                                  | 262        |
| <b>8.5 PRINCIPALES ELEMENTOS EN CALDERAS ACUOTUBULARES</b>        | <b>262</b> |
| 8.5.1 Haces tubulares del sobrecalentador                         | 264        |
| 8.5.2 Haces tubulares de recalentadores                           | 268        |
| 8.5.3 Calderín del evaporador                                     | 268        |
| 8.5.4 Haces tubulares del evaporador                              | 270        |
| 8.5.5 Haces tubulares del economizador                            | 271        |
| 8.5.6 Quemadores de postcombustión                                | 272        |
| 8.5.7 Ventilador de aire de combustión                            | 275        |
| 8.5.8 Sistema de desvío de gases                                  | 276        |
| <b>8.6 SEGURIDADES DE LA CALDERA</b>                              | <b>278</b> |
| 8.6.1 Válvulas de Seguridad                                       | 278        |
| 8.6.2 Válvulas del circuito de agua de alimentación               | 278        |
| 8.6.3 Válvulas de circuito de vapor                               | 279        |
| 8.6.4 Indicadores de nivel                                        | 279        |
| 8.6.5 Sistema de alimentación de agua                             | 280        |
| 8.6.6 Seguridad contra descargas eléctricas                       | 280        |
| 8.6.7 Mirillas                                                    | 280        |
| 8.6.8 Seguridad contra fallo de corriente eléctrica               | 281        |
| 8.6.9 Seguridad del aporte calorífico máximo                      | 281        |
| 8.6.10 Órganos de regulación, seguridad y control                 | 281        |
| 8.6.11 Seguridad de presión máxima de vapor                       | 282        |
| 8.6.12 Seguridad de presencia de llama                            | 282        |
| 8.6.13 Seguridad de encendido para quemadores con enc. automático | 282        |
| 8.6.14 Seguridades por bajo nivel de líquido                      | 283        |

|                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>9 EL CICLO AGUA-VAPOR</b>                              | <b>285</b> |
| 9.1 EL CICLO AGUA-VAPOR EN CENTRALES DE CICLO COMBINADO   | 285        |
| 9.2 EL VAPOR EN LA INDUSTRIA                              | 286        |
| 9.2.1 El vapor como fluido caloportador                   | 286        |
| 9.2.2 Calor sensible y calor latente                      | 288        |
| 9.2.3 Tipos de vapor                                      | 289        |
| 9.3 EL CICLO RANKINE                                      | 292        |
| 9.3.1 Diagrama temperatura-entropía                       | 294        |
| 9.3.2 Diagrama entalpía-entropía (H-S)                    | 296        |
| 9.3.3 Entropía, energía y temperatura en un Ciclo Rankine | 298        |
| 9.3.4 Diagrama T-S del ciclo Rankine                      | 300        |
| 9.3.5 Pérdidas                                            | 309        |
| 9.3.6 Ciclo Rankine completo                              | 311        |
| 9.4 CICLO RANKINE EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO       | 312        |
| 9.4.1 Ciclo agua-vapor con un nivel de presión            | 312        |
| 9.4.2 Ciclo agua-vapor con dos niveles de presión         | 312        |
| 9.4.3 Ciclo agua-vapor con tres niveles de presión        | 314        |
| 9.5 EL SISTEMA DE CONDENSADO                              | 316        |
| 9.5.1 El condensador                                      | 316        |
| 9.5.2 Las bombas de condensado                            | 339        |
| 9.5.3 El condensador del vapor de sellos                  | 341        |
| 9.5.4 Otros consumidores de condensado                    | 342        |
| 9.6 EL CIRCUITO DE AGUA DE ALIMENTACIÓN                   | 343        |
| 9.6.1 El tanque de agua de alimentación                   | 343        |
| 9.6.2 Las bombas de agua de alimentación                  | 350        |

|                                                            |            |
|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>9.7 EL CIRCUITO DE VAPOR</b>                            | <b>364</b> |
| 9.7.1 La función del circuito de vapor                     | 364        |
| 9.7.2 Componentes principales del circuito de vapor        | 364        |
| 9.7.3 Las válvulas de bypass                               | 364        |
| 9.7.4 Configuración del sistema de bypass                  | 368        |
| 9.7.5 Parámetros característicos de una válvula de by-pass | 369        |
| 9.7.6 Partes de un conjunto by-pass                        | 370        |

## **10 LA TURBINA DE VAPOR** **381**

|                                                                 |            |
|-----------------------------------------------------------------|------------|
| <b>10.1 LA TURBINA DE VAPOR, UNA MÁQUINA EXPERIMENTADA</b>      | <b>381</b> |
| <b>10.2 CLASIFICACIÓN DE LAS TURBINAS DE VAPOR</b>              | <b>383</b> |
| 10.2.1 Según la transformación de energía potencial en rotación | 384        |
| 10.2.2 Según la presión a la entrada de la turbina              | 386        |
| 10.2.3 Según la presión del vapor de salida                     | 387        |
| 10.2.4 Según la dirección del flujo en el rotor                 | 388        |
| 10.2.5 Según la presencia de tomas intermedias de vapor         | 389        |
| 10.2.6 Según su conexión mecánica con otras turbinas            | 390        |
| <b>10.3 PARTES PRINCIPALES DE UNA TURBINA DE VAPOR</b>          | <b>392</b> |
| 10.3.1 Sistema de admisión                                      | 392        |
| 10.3.2 El rotor                                                 | 392        |
| 10.3.3 La carcasa                                               | 397        |
| 10.3.4 Cojinetes de apoyo, de bancada o radiales                | 398        |
| 10.3.5 Cojinete de empuje o axial                               | 400        |
| 10.3.6 Sistema de lubricación                                   | 403        |
| 10.3.7 Sistema de extracción de vahos                           | 405        |
| 10.3.8 Sistema de refrigeración de aceite                       | 406        |
| 10.3.9 Sistema de aceite de control                             | 406        |
| 10.3.10 El filtrado del aceite de lubricación                   | 408        |

|             |                                                           |            |
|-------------|-----------------------------------------------------------|------------|
| 10.3.11     | El aceite de elevación de eje                             | 409        |
| 10.3.12     | Sistema de sellado de vapor                               | 410        |
| 10.3.13     | Virador                                                   | 413        |
| <b>10.4</b> | <b>EL SISTEMA DE CONTROL</b>                              | <b>417</b> |
| 10.4.1      | Funciones del sistema de control                          | 418        |
| 10.4.2      | Principales elementos del sistema de control              | 418        |
| <b>10.5</b> | <b>ELEMENTOS AUXILIARES DE LA TURBINA</b>                 | <b>420</b> |
| 10.5.1      | Bancada                                                   | 421        |
| 10.5.2      | Nave de turbina                                           | 421        |
| 10.5.3      | Puente grúa                                               | 422        |
| 10.5.4      | Reductor                                                  | 423        |
| <b>11</b>   | <b>LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS</b>                            | <b>425</b> |
| 11.1        | LOS SISTEMAS ELÉCTRICOS EN UNA CENTRAL DE CICLO COMBINADO | 425        |
| 11.2        | EL TRANSFORMADOR PRINCIPAL                                | 433        |
| 11.2.1      | La función del transformador                              | 433        |
| 11.2.2      | Tipos de transformadores                                  | 435        |
| 11.2.3      | Principales partes de un transformador                    | 444        |
| 11.2.4      | Parámetros característicos de un transformador            | 454        |
| 11.2.5      | Placa de características del transformador                | 458        |
| 11.3        | LA SUBESTACIÓN                                            | 461        |
| 11.3.1      | La función de la subestación                              | 461        |
| 11.3.2      | Tipos de subestaciones                                    | 461        |
| 11.4        | ELEMENTOS DE UNA SUBESTACIÓN DE INTEMPERIE                | 465        |
| 11.4.1      | Seccionadores de línea, de barras y de puesta a tierra    | 465        |
| 11.4.2      | Interruptor principal                                     | 471        |
| 11.4.3      | Transformadores de tensión                                | 481        |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| 11.4.4 Transformadores de intensidad                    | 484        |
| 11.4.5 Conjunto de elementos de protección contra rayos | 487        |
| 11.4.6 Protecciones eléctricas                          | 490        |
| 11.4.7 Puesta a tierra                                  | 495        |
| <b>11.5 EL SISTEMA DE MEDIA TENSIÓN</b>                 | <b>496</b> |
| 11.5.1 El generador                                     | 497        |
| 11.5.2 La sala eléctrica                                | 497        |
| 11.5.3 Las celdas de media tensión                      | 498        |
| 11.5.4 El interruptor de máquina                        | 503        |
| 11.5.5 La celda de medida del transformador             | 503        |
| 11.5.6 La celda del neutro del transformador            | 503        |
| 11.5.7 La celda de servicios auxiliares                 | 505        |
| 11.5.8 El transformador de servicios auxiliares         | 505        |
| <b>11.6 EL SISTEMA DE BAJA TENSIÓN</b>                  | <b>507</b> |
| 11.6.1 Los sistemas auxiliares                          | 507        |
| 11.6.2 La barra de servicios esenciales                 | 507        |
| 11.6.3 La barra de consumidores ultraesenciales         | 507        |
| 11.6.4 Grupo generador diesel                           | 508        |

# Turbinas de gas



010758239

## Índice

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>LAS TURBINAS DE GAS</b>                              | <b>1</b>  |
| 1.1      | TURBINAS DE GAS                                         | 1         |
| 1.2      | HISTORIA DEL DESARROLLO DE LAS TURBINAS DE GAS          | 5         |
| 1.3      | TIPOS DE TURBINAS DE GAS                                | 14        |
| 1.4      | PARÁMETROS CARACTERÍSTICOS DE TURBINAS DE GAS           | 24        |
| 1.5      | PRINCIPALES COMPONENTES DE LA TURBINA                   | 28        |
| 1.6      | ELEMENTOS AUXILIARES                                    | 38        |
| 1.7      | COMBUSTIBLES UTILIZABLES EN TURBINAS DE GAS             | 42        |
| <b>2</b> | <b>PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO</b>                     | <b>45</b> |
| 2.1      | NOCIONES BÁSICAS DE TERMODINÁMICA                       | 46        |
| 2.2      | EL CICLO DE CARNOT                                      | 57        |
| 2.3      | EL CICLO BRAYTON                                        | 64        |
| 2.4      | COMPARACIÓN ENTRE EL CICLO CARNOT Y EL IDEAL DE BRAYTON | 68        |
| 2.5      | CICLO REAL                                              | 69        |
| 2.6      | MEJORAS AL CICLO                                        | 70        |
| <b>3</b> | <b>MONTAJE DE TURBINAS DE GAS</b>                       | <b>81</b> |
| 3.1      | FORMAS DE ENVIO DE LAS TURBINAS                         | 81        |
| 3.2      | ASPECTOS PREVIOS A VERIFICAR                            | 82        |

|                                                        |            |
|--------------------------------------------------------|------------|
| 3.3 LA CIMENTACIÓN                                     | 84         |
| 3.4 CABLES Y TUBERÍAS                                  | 87         |
| 3.5 LA COLOCACIÓN                                      | 88         |
| 3.6 LA NIVELACIÓN                                      | 90         |
| 3.7 LA ALINEACIÓN                                      | 90         |
| 3.8 LA SUJECCIÓN                                       | 94         |
| 3.9 DILATACIONES Y CONTRACCIONES                       | 95         |
| 3.10 EL MONTAJE DE LA CASA DE FILTROS                  | 96         |
| 3.11 LA CHIMENEA                                       | 99         |
| 3.12 ESCALERAS Y ACCESOS                               | 101        |
| 3.13 MONTAJE DE LOS SISTEMAS AUXILIARES                | 102        |
| 3.14 MONTAJE ELÉCTRICO Y DE INSTRUMENTACIÓN            | 104        |
| 3.15 EL MONTAJE DEL GENERADOR                          | 105        |
| 3.16 DOCUMENTOS GENERADOS EN EL MONTAJE DEL TURBOGRUPO | 107        |
| 3.17 EL TIEMPO DE MONTAJE                              | 107        |
| <b>4 EL PROCESO DE PUESTA EN MARCHA</b>                | <b>109</b> |
| 4.1 OBJETIVOS DE LA PUESTA EN MARCHA                   | 109        |
| 4.2 DURACIÓN DEL PROCESO                               | 110        |
| 4.3 SECUENCIA HABITUAL                                 | 111        |
| 4.4 VERIFICACIONES PREVIAS                             | 112        |
| 4.5 EL COMMISSIONING FRÍO                              | 114        |

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| 4.6 VERIFICACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LOS SUMINISTROS       | 119        |
| 4.7 COMMISSIONING CALIENTE                                   | 121        |
| 4.8 OPTIMIZACIÓN                                             | 129        |
| 4.9 ERRORES HABITUALES EN EL COMMISSIONING DE TURBINAS       | 129        |
| <b>5 LAS PRUEBAS DE ACEPTACIÓN</b>                           | <b>133</b> |
| 5.1 QUÉ SON LAS PRUEBAS DE PRESTACIONES                      | 133        |
| 5.2 LAS CONSECUENCIAS DE LAS PRUEBAS DE ACEPTACIÓN           | 136        |
| 5.3 LAS NORMAS ASME PTC                                      | 137        |
| 5.4 PRUEBAS PREVIAS                                          | 138        |
| 5.5 CONDICIONES GENERALES PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS | 139        |
| 5.6 LA PRUEBA DE POTENCIA                                    | 143        |
| 5.7 LA PRUEBA DE RENDIMIENTO                                 | 145        |
| 5.8 PRUEBAS TÉCNICAS                                         | 146        |
| 5.9 PRUEBAS MEDIOAMBIENTALES                                 | 148        |
| 5.10 LA ENTREGA PROVISIONAL                                  | 150        |
| 5.11 EL PERIODO DE GARANTÍA                                  | 152        |
| 5.12 LA ENTREGA DEFINITIVA                                   | 154        |
| 5.13 VALORES DE REFERENCIA                                   | 154        |
| <b>6 OPERACIÓN DE TURBINAS DE GAS</b>                        | <b>157</b> |
| 6.1 ARRANQUE DE TURBINA DE GAS                               | 158        |
| 6.2 VIGILANCIA DE PARÁMETROS DURANTE LA MARCHA NORMAL        | 165        |

|                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| 6.3 PARADA DE LA TURBINA DE GAS                           | 170        |
| 6.4 CONSEJOS Y PRECAUCIONES EN LA EXPLOTACIÓN DE TURBINAS | 172        |
| 6.5 LA LIMPIEZA DEL COMPRESOR                             | 173        |
| 6.6 VERIFICACIÓN DE PRESTACIONES                          | 176        |
| <b>7 AVERÍAS EN TURBINAS DE GAS</b>                       | <b>179</b> |
| 7.1 AVERÍAS EN LA CASA DE FILTROS                         | 181        |
| 7.2 AVERÍAS EN EL COMPRESOR                               | 183        |
| 7.3 AVERÍAS TÍPICAS EN CÁMARA DE COMBUSTIÓN               | 193        |
| 7.4 AVERÍAS TÍPICAS EN TURBINA DE EXPANSIÓN               | 196        |
| 7.5 FALLOS EN SUMINISTROS                                 | 199        |
| 7.6 VIBRACIÓN EN TURBINAS DE GAS                          | 200        |
| 7.7 EL ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ DE UNA AVERÍA               | 206        |
| 7.8 EL DIAGNÓSTICO DE UNA AVERÍA                          | 220        |
| <b>8 MANTENIMIENTO PROGRAMADO DE TURBINAS DE GAS</b>      | <b>235</b> |
| 8.1 MANTENIMIENTO RUTINARIO                               | 237        |
| 8.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO O CONDICIONAL                | 238        |
| 8.3 REVISIONES MENORES                                    | 239        |
| 8.4 OVERHAUL O REVISIONES MAYORES                         | 241        |
| <b>9 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN TURBINAS DE GAS</b>      | <b>261</b> |
| 9.1 LA IMPORTANCIA DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO           | 261        |

|                                                              |            |
|--------------------------------------------------------------|------------|
| 9.2 TRES ASPECTOS IMPORTANTES APLICANDO TÉCNICAS PREDICTIVAS | 263        |
| 9.3 LOS VALORES DE REFERENCIA                                | 263        |
| 9.4 LAS INSPECCIONES BOROSCÓPICAS                            | 264        |
| 9.5 ANÁLISIS DEL CAMINO DEL GAS                              | 272        |
| 9.6 EL ANÁLISIS DE VIBRACIONES                               | 281        |
| 9.7 LA TERMOGRAFÍA                                           | 300        |
| 9.8 INSPECCIÓN POR ULTRASONIDOS                              | 313        |
| 9.9 ANÁLISIS DE ACEITE                                       | 316        |
| 9.10 EL ANÁLISIS DE NUMOS DE COMBUSTIÓN                      | 323        |
| <b>10 LA EVALUACIÓN TÉCNICA DE TURBINAS DE GAS</b>           | <b>327</b> |
| 10.1 QUÉ ES UNA EVALUACIÓN TÉCNICA                           | 327        |
| 10.2 PARA QUÉ SIRVE UNA EVALUACIÓN TÉCNICA                   | 328        |
| 10.3 ÁREAS EVALUADAS                                         | 329        |
| 10.4 FASES DE UNA EVALUACIÓN                                 | 330        |
| 10.5 FUENTES DE INFORMACIÓN                                  | 330        |
| 10.6 TIPOS DE EVALUACIONES TÉCNICAS                          | 337        |
| 10.7 DETALLE DE TODOS LOS ASPECTOS A EVALUAR                 | 338        |
| 10.8 FORMAS DE LLEVAR A CABO LA INSPECCIÓN                   | 360        |
| 10.9 LA INCERTIDUMBRE                                        | 361        |
| 10.10 EL INFORME DE LA EVALUACIÓN                            | 362        |
| 10.11 ERRORES HABITUALES EN LA REALIZACIÓN DE EVALUACIONES   | 363        |
| 10.12 EL SOFTWARE EVALPLANT                                  | 365        |

## Making connections

### CONTENTS 目录

|                 |                           |      |        |
|-----------------|---------------------------|------|--------|
| Acknowledgments |                           |      | vii    |
| Introduction    |                           |      | ix     |
| 序言              |                           |      | xix    |
| Abbreviations   |                           |      | xxviii |
| Lesson 1 第一课    | Greetings                 | 问好   | 1      |
| Lesson 2 第二课    | Family                    | 家庭   | 8      |
| Lesson 3 第三课    | Dates and Times           | 时间   | 14     |
| Lesson 4 第四课    | Hobbies                   | 爱好   | 20     |
| Lesson 5 第五课    | Visiting Friends          | 看朋友  | 29     |
| Lesson 6 第六课    | Studying Languages—Part 1 | 学语言  | 36     |
| Lesson 7 第七课    | Studying Languages—Part 2 | 学语言  | 40     |
| Lesson 8 第八课    | School Life               | 学生生活 | 48     |
| Lesson 9 第九课    | Shopping                  | 买东西  | 54     |
| Lesson 10 第十课   | Talking about the Weather | 谈天气  | 63     |
| Lesson 11 第十一课  | Transportation            | 交通   | 72     |
| Lesson 12 第十二课  | Dining                    | 吃饭   | 78     |
| Lesson 13 第十三课  | At the Library            | 在图书馆 | 88     |
| Lesson 14 第十四课  | Asking Directions         | 问路   | 94     |
| Lesson 15 第十五课  | Birthday Party            | 生日晚会 | 102    |
| Lesson 16 第十六课  | Seeing a Doctor           | 看病   | 111    |
| Lesson 17 第十七课  | Dating                    | 约会   | 120    |
| Lesson 18 第十八课  | Renting an Apartment      | 租房子  | 127    |
| Lesson 19 第十九课  | Post Office               | 邮局   | 134    |
| Lesson 20 第二十课  | On Sports                 | 运动   | 144    |
| Lesson 21 第二十一课 | Travel                    | 旅行   | 151    |
| Lesson 22 第二十二课 | Hometown                  | 家乡   | 157    |
| Lesson 23 第二十三课 | At the Airport            | 在机场  | 164    |

|                  |       |                                            |           |     |
|------------------|-------|--------------------------------------------|-----------|-----|
| Lesson 24        | 第二十四课 | Going to the Market                        | 上市场买菜     | 171 |
| Lesson 25        | 第二十五课 | Getting Together                           | 约朋友出去玩    | 180 |
| Lesson 26        | 第二十六课 | Getting Lost                               | 迷路        | 184 |
| Lesson 27        | 第二十七课 | Arriving Late                              | 迟到        | 189 |
| Lesson 28        | 第二十八课 | Apartment Hunting                          | 找房子       | 197 |
| Lesson 29        | 第二十九课 | Learning to Cook Chinese Food              | 学做中国菜     | 203 |
| Lesson 30        | 第三十课  | Medical Examination                        | 身体检查      | 209 |
| Lesson 31        | 第三十一课 | Traffic Accident                           | 车祸        | 218 |
| Lesson 32        | 第三十二课 | Visiting a Theme Park                      | 参观主题乐园    | 227 |
| Lesson 33        | 第三十三课 | On the Way to the Gym                      | 去体育馆      | 233 |
| Lesson 34        | 第三十四课 | What a Coincidence!                        | 真巧        | 240 |
| Lesson 35        | 第三十五课 | What's a "Typical" American?               | 典型的美国人    | 247 |
| Lesson 36        | 第三十六课 | Sightseeing in China                       | 在中国游览     | 253 |
| Lesson 37        | 第三十七课 | Planning a Dinner Party                    | 请客        | 261 |
| Lesson 38        | 第三十八课 | Becoming a Father                          | 初为人父      | 270 |
| Lesson 39        | 第三十九课 | A Tragedy                                  | 惨剧        | 278 |
| Lesson 40        | 第四十课  | Classical Chinese in the U.S.              | “之乎者也”在美国 | 286 |
| Lesson 41        | 第四十一课 | A Chinese Soap Opera                       | 电视连续剧     | 294 |
| Lesson 42        | 第四十二课 | Interviewing a Physically Disabled Student | 访问残疾学生    | 302 |
| Lesson 43        | 第四十三课 | Cultural Differences                       | 华裔美人      | 311 |
| Lesson 44        | 第四十四课 | It's Hard to Be a Mother!                  | 母亲难为      | 318 |
| Lesson 45        | 第四十五课 | On Revolutionary Song                      | 革命歌曲      | 325 |
| Vocabulary Index | 生词表   |                                            |           | 332 |