



PROYECTO FINAL DE CARRERA

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CAPROLACTAMA



Marc Bonet Pujadas
David Fernández Vegas
Martina Fojón Orizales
Jordi Pradas del Moral
Francesc Requena Biset
Núria Soler Rodríguez

Tutor: Josep Huix

12. Bibliografía

12.1. Libros de consulta	3
12.1.1. Simulación y control de procesos.....	3
12.1.2. Handbooks	4
12.1.3. Operaciones básicas	5
12.1.4. Economía	6
12.1.5. Seguridad industrial y medio ambiente.....	6
12.2. Artículos científicos y tesis.....	7
12.2.1. Transposición de Beckmann.....	7
12.2.2. Amoximation.....	7
12.2.3 Sulfato amónico.....	8
12.2.4. Extracción de la caprolactama.....	9
12.2.5. Propiedades físicas	9
12.2.5. Diseño de equipos	10
12.3. Normativa.....	10
12.3.1. Legislación general	10
12.3.2. Prevención de incendios.....	11
12.3.3. Instalaciones eléctricas	11
12.3.4. Maquinaria.....	12
12.3.5. Equipos de protección individual.....	13
12.3.6. Normas	13
12.3.7. Control de legionella	14
12.3.8. Medio ambiente.....	15
12.3.8.1. Legislación sobre las emisiones gaseosas	15
12.3.8.2. Legislación sobre las emisiones líquidas	15
12.3.8.3. Legislación sobre las emisiones sólidas	16
12.3.8.4. Legislación sobre las emisiones lumínicas.....	17
12.3.8.5. Legislación sobre las emisiones sonoras	17
12.3.9. Almacenamiento de sustancias	18
12.4. Patentes.....	18
12.4.1 Transposición de Beckman y purificación de la caprolactama.....	18
12.4.2. Reactor Ammonium	19
12.5. Páginas Web	19

12.1. Libros de consulta

12.1.1. Simulación y control de procesos.

- *"Distillation design using Aspen simulation"* By William L. Luyben, Ed Wiley (2006).
- *"Aspen Plus 12.1 User Guide"* By Aspen technology (2003).
- *"Distillation design using Aspen simulation"* By William L. Luyben, Ed Wiley (2006).
- *"Aspen Plus 12.1 User Guide"* By Aspen technology (2003).
- *"Chemical reactors design and control"* By William L. Luyben. Ed. Wiley (2007).
- *"Simulación y optimización avanzadas en la industria química y de procesos Hyssys"* By Susana Luque Rodriguez Aurelio Vega Granada (2005).
- *"Chemical Process Control"* By Stephanopoulos, Ed McGraw-Hill
- *"Pressure Vessels, The ASME Code Simplified"* 8a edición By J. Phillip Ellenberger, P.E. Robert Chuse, Bryce E. Carson McGraw-Hill Companies, EE.UU. (2004).
- *"The control valve handbook"* By Fisher control international inc.

12.1.2. Handbooks

- *"Dechema chemistry data series: Vapor-liquid equilibrium data collection"*.
- *"Dechema chemistry data series: Liquid-liquid equilibrium data collection"*
- *"Chemical Engineering design Vol 1-6"* By Coulson and Richardson's, R.K. Sinnott. Ed Elsevier (2005).
- *"Perry's chemical engineering Handbook"* By Green and Perry. Ed.McGraw- Hill (2008).
- *"Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry"*. Ed Wiley, 7th Edition (2005).
- *"Industrial crystallization of Melts"* By Van't Land. Ed Marcel Dekker (2005).
- *"Encyclopedia of chemical technology"* Kirk-Ohtmer (2005).
- *"Handbook of particle Technology"* 2nd edition. By Martin Rhodes Ed Wiley (2008).
- APV. Evaporator Handbook. SPX Brand.
- Colección de Tablas, Gráficas y Ecuaciones de Transmisión de Calor. Universidad de Sevilla. Departamento de ingeniería energética y mecánica de fluidos.

12.1.3. Operaciones básicas

- *"Crystallization 4th Edition"* By J.W.Mullin. Ed Butterworth Heinemann (2001).
- *"Crystallization of Organic Compounds"* By Tung, Paul, Midler y McCauley. Ed. Wiley (2009).
- *"Fundamentals of Salt Water Desalination"* By Dessouky and Ettonuey. Ed Elsevier (2002).
- *"International Steam Tables"* By Wagner and Kretzschmar. Ed. Springer (2008).
- *"Operaciones de separación en ingeniería química: Métodos de cálculo"* By Martinez de la Cuesta, Eloísa Martínez. Ed. Prentice Hall (2004).
- *"Units operations of chemical enginiering 5th Edition"* By Mccabe, Smith, Harriot. Ed McGraw-hill (1993).
- *"D.Q. Kern. Procesos de Transferencia de Calor"* Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V., México D.F. (1999).
- *"Ingeniería Procesos Separación"* P.C. Wankat. Prentice Hall, EE.UU. (2008).
- *"Liquid-liquid filtration"* 2nd Edition, Nicholas P.Cheremisinof, Editorial Butterworth-Heinemann(1998).

12.1.4. Economía

- *"El pronóstico económico en química industrial"* V.Vian. Eudema Universidad, Madrid. (1991).
- *"Economía de los procesos químicos"* By J. Happel, D.J. Jordan.Reverte, Barcelona (1981).
- *"Estimación rápida del precio de un tanque de almacenamiento"*, F. Fdez Cañas Intecsa-UHDE Industrial SA, (1998).
- *"Handbook of Industrial Drying. Third Edition"*, S. Mujumdar, CRC Press.

12.1.5. Seguridad industrial y medio ambiente

- *"Seguridad industrial en atmósferas explosivas"*, Javier Garcia Torrent.
- *"Seguridad industrial: Manual actualizado para la formación de ingenieros"* 2^a Edición , Félix Marín. Ed Dykinson (2009).
- *"Integración de sistemas de gestión"* By Cristina Sánchez, Antonio Palomino, Manuel Rivero. FC Editorial.
- *"Evaluación del impacto ambiental"* By Alfonso Salvador, Adela Alcaide, Cristina Sánchez, Luis Garmendia. Ed Prentice Hall (2005).
- *"Tratamiento de aguas por Stripping"*. Empresa Hidrostream.

- *"Tratamientos específicos de vertidos industriales"* By Miguel García Roman. Facultad de ciencias UGR.

12.2. Artículos científicos y tesis

12.2.1. Transposición de Beckmann

- *"Estimation of Kinetics Parameters in Beckmann Rearrangement of Cyclohexanone Oxime"* de WU Jian, Journal CSUT(2006).
- *"Kinetics of the Beckmann Rearrangement of Cyclohexanone Oxime"* By Ogata, Mikano and Kunimatsuoto.
- *"Dehydrogenation of Cyclohexanol to Cyclohexanone: Influence of Methylcyclopentanols on the Impurities Obtained in E-Caprolactam"* By Romero, Yustos, Santos. Ind. Eng. Chem. Res. 2003, 42, 3654-3661.
- *"Vapor phase Beckmann rearrangement of the cyclohexanone oxime catalyzed by AlP04- β Al₂O₃ systems."* By Costa, Deyá, Sinisterra, a n. J. Chem. 58, 1266(1980).
- *"The Beckmann rearrangement of cyclohexanone oxime to "ε-caprolactam in micromixers and microchannels"* by Klaas Theodoor Zuidhof (2011).

12.2.2. Amoximation

- *"Kinetics of Cyclohexanone Ammoniation over Titanium Silicate Molecular Sieves"*, de LI Youngxiang. Chinese Journal of Chem. Emg.(2005).
- *"Kinetics of Liquid-phase Cyclohexanone Ammoniation over a Titanium Silicate"*. KulKoya, Votova, Murzin. Chem. Eng. Technol. 20 (1997) 43-46.
- *"Caprolactam extraction in a pulsed disc and doughnut column with a benign mixed solvent"*. Dr. ir. N. J. M. Kuipers.
- *"The development of new heterogeneous catalytic processes for the production of ε-caprolactam"*. Hiroshi Ichihashi a,* , Hiroshi Sato b Applied Catalysis A: General 221 (2001) 359–366.

12.2.3 Sulfato amónico

- *"Ammonium Sulfate: Equilibrium and Metastability Phase Diagrams from 40 to -50 °C."* Jun Xu,† Dan Imre,* Robert McGraw, and Ignatius Tang. J. Phys. Chem. B 1998, 102, 7462-7469.
- *"Thermodynamic Properties of Aqueous (NH₄SO₄) to High Supersaturation as a Function of Temperature"* Simon L. Clegg Sau Ho, Chak K. Chan and Peter Brimblecombe . J. Chem. Eng. Data 1996, 40, 1079-1090.
- *"Experimental Investigation of the Homogeneous Freezing of Aqueous Ammonium Sulfate Droplets"* Ben H. Larson and Brian D. Swanson*. J. Phys. Chem. A 2006, 110, 1907-1916.

- *"The Melting Point of Ammonium Sulfate"* By James Kendall and Arthur W. Davidson. The Journal of ind. Chem.
- *"Air-Liquid Interfaces of Aqueous Solutions Containing Ammonium and Sulfate: Spectroscopic and Molecular Dynamics Studies"* Sandhya Gopalakrishnan,† Pavel Jungwirth,‡ Douglas J. Tobias,§ and Heather C. Allen*, J. Phys. Chem. B 2005, 109, 8861-8872.

12.2.4. Extracción de la caprolactama

- *"Evaluation of improved solvents for caprolactam extraction"* By Van Dleden, Kuipers, Haan and Lerner. ISEEC (2002).

12.2.5. Propiedades físicas

- *"Liquid Heat Capacity of fed-Butyl Alcohol, Isobutyl Alcohol, and Isopropyl Alcohol at High Temperature."* Steven P. Hoffman, Juan Luis San Jose, and Robert C. Reid* Journal of Chemical and Engineering Data, Vol. 22, No. 4, 1977.
- *"Termophysical Properties of {NH₃+H₂O} Solutions for the industrial design of absorption refrigeration equipment"* By M. Conde (2004). *"Experimental Study of Thermodynamic Properties of Mixtures Containing Ionic Liquid 1-Ethyl-3-methylimidazolium Ethyl Sulfate Using Gas-Liquid Chromatography and Transpiration Method"*. Irina A. Sumartschenkowa,† Sergey P. Verevkin, Tatiana V. Vasiltsova, Eckard Bich, and Andreas Heintz*. J. Chem. Eng. Data 2006, 51, 2138-2144.
- *"Thermodynamics of Cyclohexanone Oxime"*. Dzmitry H. Zaitsau, Yauheni U. Paulechka, Gennady J. Kabo,* and Andrey V. Blokhin. J. Chem. Eng. Data 2008, 53, 694-703.

- *"Thermodynamic Properties and Ideal-Gas Enthalpies of Formation for 1,4-Disopropylbenzene, 1,2,4,5-Tetraisopropylbenzene, Cyclohexanone Oxime, Dimethyl Malonate, Glutaric Acid, and Pimelic Acid"*. W. V. Steele,*,† R. D. Chirico,‡ A. B. Cowell, S. E. Knipmeyer, and A. Nguyen, J. Chem. Eng. Data 2002, 47, 725-739.

12.2.5. Diseño de equipos

- *"Flooding Capacity in Packed Towers: Database, Correlations, and Analysis"* Simon Piche', Fa11cü al Larachi,* and Bernard P. A. Grandjean. Ind. Eng. Chem. Res. 2001, 40, 476-487.

12.3. Normativa

12.3.1. Legislación general

- Ley 31/01/1995 de 8 de noviembre, Ley de Prevención de Riesgos Laborales (B.O.E. de 3 de diciembre).
- R.D. 1627/1997 de 24 de octubre sobre Seguridad, Salud y Medicina en el Trabajo.
- Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo de 9 de marzo de 1971.
- R.D. 485/1997 de 14 de abril sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud en los lugares de Trabajo.
- R.D. 486/1997 de 14 de abril sobre Disposiciones Mínimas en Materia de Señalización, Seguridad y Salud en el Trabajo.

- Orden de 17 de mayo de 1974 sobre Normas Técnicas Reglamentarias sobre homologación de Medios de Protección Personal (B.O.E. nº 128 29/05/1974).
- R.D. 39/1997 de 17 de enero, Reglamento de los Servicios de Prevención (B.O.E. de 31 de enero de 1997).

12.3.2. Prevención de incendios

- Norma Básica de Edificaciones N.B.E.-C.P.I./96.
- RD 2267/2004.
- RD 312/2005. Clases de fuego.
- UNE 23007-14. Sistemas de detección de alarmas de incendios.
- UNE 23-522-83. Sistemas de extinción por espuma física de baja expansión.
- UNE -EN 12845 Sistemas de rociadores automáticos.

12.3.3. Instalaciones eléctricas

- R.D. 2413/1973 de 20 de septiembre, Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión e Instrucciones Complementarias (REBT) (B.O.E. de 9 de octubre de 1973), modificado por el R.D. de 9 de octubre de 1985.
- RD 1955/2000.

- RD 842/2002.
- Orden de 10 de marzo de 2000, por la que se modifican las Instrucciones Técnicas Complementarias MIE-RAT 01, MIE-RAT 02, MIE-RAT 06, MIE-RAT 14, MIE-RAT 15, MIE-RAT 16, MIE-RAT 17, MIE RAT 18 y MIE-RAT 19 del Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en centrales eléctricas, subestaciones y centros de transformación.

12.3.4. Maquinaria

- R.D. de 16 de agosto de 1969, Reglamento de Recipientes a Presión (B.O.E.).
- de 28 de octubre de 1969). Modificado en B.O.E. de 7 de marzo de 1981.
- R.D. 2291/1985 de 8 de noviembre, Reglamento de Aparatos de Elevación y Mantenimiento de los mismo (B.O.E. de 11 de diciembre de 1985).
- R.D. 1495/1986 de 26 de mayo, Reglamento de Seguridad en las Máquinas (B.O.E. de 21 de julio de 1986). Modificado en el B.O.E. de 4 de octubre de 1986.
- Directiva Comunitaria 89/392/CE, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros sobre máquinas. Transpuesta en el R.D. 1435/1992 de 20 de enero (B.O.E. de 8 de febrero de 1995).

- Orden de 8 de abril de 1991. ITC-MIE-MSG1: Máquinas, Elementos de Máquinas o Sistemas de Protección Utilizados (B.O.E. de 11 de abril de 1991).

12.3.5. Equipos de protección individual

- R.D. 1407/1992 de 20 de noviembre sobre Comercialización y Libre Circulación Intracomunitaria de los Equipos de Protección Individual (B.O.E. de 28 de diciembre de 1992), modificado por la O.M. de 16 de mayo de 1994 y por el R.D. 159/1995 de 3 de febrero (B.O.E. de 8 de marzo de 1995).
- R.D. 773/1997 de 30 de mayo sobre Disposiciones Mínimas de Seguridad y Salud relativas a la Utilización por los Trabajadores de Equipos de Protección Individual.

12.3.6. Normas

- N.B.E.-N.T.E.: Normas Básicas de Edificación- Norma Tecnológica de Edificación:
 - NTE-IEE: Iluminación exterior.
 - NTE-IEI: Iluminación interior.
 - NTE-IEP: Puesta a tierra.
 - NTE-IER: Instalaciones eléctricas. Red exterior.
 - NTE-EA: Estructuras de acero.
 - NTE-EH: Estructuras de hormigón.
 - NTE-EME: Estructuras de madera. Encofrados.
 - NTE-CSZ: Cimentaciones superficiales. Zapatas.
 - NTE-CSS: Cimentaciones superficiales corridas.
 - NBE-CPI/97: Condiciones de protección contra incendios.

- NBE-MV-102: Ejecución de las estructuras de acero laminado en edificación.
- NBE-MV-103: Acero laminado para estructuras de edificación.
- E.B.S.: Estudio de Seguridad y Salud.
- R.A.P.: Reglamento de Aparatos a Presión.
- R.E.B.T.: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- R.E.A.T.: Reglamento Electrotécnico de Alta Tensión.
- R.A.M.I.N.P.: Reglamento de Actividades Molestas, Insalubres, Nocivas y Peligrosas.

12.3.7. Control de legionella

- *"Real decreto 1054/2002"*
- *"Resistencia de biocidas de diferentes cepas de escherichia coli"* By Aguayo, Burgos, López, Gálvez. Área de Microbiología. Universidad de Jaén.
- *"Aplicación de biocidas y de mantenimiento de una torre de refrigeración."* Dra. Núria Adroer. Empresa Aqiquímica.
- *"Real Decreto 865/2003"*

- *“Real decreto 1054/2002, de 11 de octubre, que regula el proceso de evaluación para el registro, autorización y comercialización de biocidas”* (BOE número 247/2002, de 15 octubre 2002).
- *“Norma UNE 10.00.30 y el R.D. 865/2003”*

12.3.8. Medio ambiente

12.3.8.1. Legislación sobre las emisiones gaseosas

- REAL DECRETO 117/2003, de 31 de enero, sobre limitación de emisiones de compuestos orgánicos volátiles debidas al uso de disolventes en determinadas actividades.
- REGLAMENTO EUROPEO CE1272/2008, sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

12.3.8.2. Legislación sobre las emisiones líquidas

- Ley 5/1981, de 4 de Junio, de Evacuación y Tratamiento de Aguas Residuales; cuya corrección de errores fue publicado en el BOE núm. 255, de 24 de octubre de 2002.
- Orden de 2 de Diciembre de 1982, sobre tabla de coeficientes específicos de contaminación para la estimación a cómputo de las cantidades vertidas a los medios naturales.
- Orden de 19 de febrero de 1987, por la que se establecen las normas complementarias en materia de Autorizaciones de Vertido de Aguas Residuales (DOGC 16.03.87).
- Ley 5/1991, de 4 de junio, sobre desarrollo legislativo en materia de Evacuación y Tratamiento de Aguas Residuales (DOGC 08.06.81).

- Decreto 83/1996, de 5 de marzo, por el que se establecen Medidas de Regularización de Vertidos de las Aguas Residuales (DOGC 11.03.96).
- Ley 10/2000, de 7 de julio, de Ordenación del Transporte en Aguas Marítimas y Continentales (DOGC 24.07.00).
- Decreto Legislativo 3/2003, de 4 de noviembre, por el que se aprueba el texto refundido de la legislación en materia de Aguas de Cataluña (DOGC 21.11.03)
- Orden MAH/122/2004, de 13 de abril, por la que se aprueban los Modelos de Declaración de Vertidos (DOGC 27.04.04).
- Decreto 130/2003 de 13 de mayo, por el que se aprueba el Reglamento de los servicios públicos de saneamiento.

12.3.8.3. Legislación sobre las emisiones sólidas

- Decreto Legislativo 2/1991, de 26 de Septiembre de 1991, por el que se aprueba el Texto Refundido de la Legislación Vigente en materia de Residuos Industriales (DOGC 27.09.91).
- Decreto 80/2002, de 19 de febrero, regulador de las condiciones para la Incineración de los Residuos (DOGC 13.03.02).
- Decreto 220/2001, de 1 de agosto, de Gestión de las Deyecciones Ganaderas (DOGC 07.08.01).

- Decreto 161/2001, de 12 de junio, de modificación del Decreto 201/1994, de 26 de julio, regulador de los Escombros y otros Residuos de la Construcción (DOGC 21.06.01).
- Decreto 217/1999, de 27 de julio, sobre la Gestión de los Vehículos Fuera de Uso (DOGC 04.08.99).
- Decreto 93/1999, de 6 de abril, sobre Procedimientos de Gestión de Residuos (DOGC 12.04.99).

12.3.8.4. Legislación sobre las emisiones lumínicas

- Cataluña: Ley 6/2001, de 31 de mayo, de ordenación ambiental del alumbrado para la protección del medio nocturno.

12.3.8.5. Legislación sobre las emisiones sonoras

- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Ley 37/2003, Ley del Ruido.
- -Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

- -Llei 3/1998 de la intervenció integral de l'Administració ambiental .
- Decret 136/1999, de 18 de maig, pel qual s'aprova el Reglament general de desplegament de la Llei 3/1998, de 27 de febrer, de la intervenció integral de l'administració ambiental, i s'adapten els seus annexos.
- Ley 16/2002, de 28 de junio de protección contra la contaminación acústica
- Llei de protecció contra la contaminació acústica.
- Ordenança municipal tipus, reguladora del soroll i les vibracions.

12.3.9. Almacenamiento de sustancias

- MIE APQ-1.
- MIE APQ-6.
- MIE APQ-7.

12.4. Patentes

12.4.1 Transposición de Beckman y purificación de la caprolactama

- Patente WO 2004/103963
- US Patents 4,900,821.
- US Patents 4,154,729
- Patente WO 2012/019674

- US Patents 4,031,139.
- US Patents US 7,351,820 B2

12.4.2. Reactor Ammoniation

- Patente WO 2012/152600 A1.

12.5. Páginas Web

- Calorcol: www.calorcol.com
- Sigma-Aldrich: www.sigmaaldrich.com
- Instituto nacional de seguridad e higiene del trabajo: www.insht.es
- Cameo: cameochemicals.noaa.gov
- SIHI: www.sihi-pumps.com
- ATTSU: www.attsu.com
- Caterpillar: www.cat.com
- EWK: www.ewk.eu
- Carrier: www.carrier.es
- Sulzer: www.sulzer.com
- Spirax Sarco: www.spiraxsarco.com
- Itur: www.itur.es
- Adiquímica: www.adiquimica.com
- UPS: dspace.iup.edu
- Sulfateq : es.paques.nl › Productos

- ACA : www.gencat.cat/aca
- Pollet Water Group: www.pwg.be
- Babcock Wanson: www.babcock-wanson.es
- Carburos metálicos: www.carburos.com
- Svandik Materials Technology : www.smt.sandvik.com
- Sodeca: www.sodeca.com
- Kaeser : www.kaeser.es
- Dow Chemical : www.dow.com
- Prodesa : www.prodesa.net
- Solids Group Solutions: www.solids.es
- Hascon Engineering : www.hascon.it
- Estimación de costes: www.matche.com/EquipCost
- Equipos para depuración de aguas: www.depuradorasdeaguas.es
- Precio del suelo industrial: www.finanzas.com/noticias/vivienda/2012-03-28/690922_precio-suelo-industrial-seguira-baja.html
- Precios de materias primas: www.alibaba.com