
1. Designação da unidade curricular

[3332] Integração de Processos / Process Integration

2. Sigla da área científica em que se insere

CEE

3. Duração

Unidade Curricular Semestral

4. Horas de trabalho

135h 00m

5. Horas de contacto

Total: 47h 00m das quais T: 22h 30m | TP: 22h 30m | O: 2h 00m

6. % Horas de contacto a distância

Sem horas de contacto à distância

7. ECTS

5

8. Docente responsável e respetiva carga letiva na Unidade Curricular

[1259] José Valério do Nascimento Palmeira | Horas Previstas: N/D

9. Outros docentes e respetivas cargas letivas na unidade curricular

Não existem docentes definidos para esta unidade curricular

10. Objetivos de aprendizagem e a sua compatibilidade com o método de ensino (conhecimentos, aptidões e competências a desenvolver pelos estudantes).

1. A unidade curricular de Integração de Processos tem por objetivo apresentar e aplicar as metodologias de integração energética e de integração mássica, e sua associação, utilizadas para a otimização de um Processo Químico.
2. Domínio dos conceitos para o desenvolvimento de metodologias a utilizar na melhoria e otimização dos Processos Químicos quer na fase inicial do projeto, quer em fábricas já instaladas à custa da minimização dos consumos energéticos, da utilização eficaz das matérias-primas, da minimização dos efluentes do processo (sólidos, líquidos e gasosos), assegurando ao mesmo tempo os aspetos de competitividade económica e mantendo elevados níveis de segurança.

10. Intended Learning objectives and their compatibility with the teaching method (knowledge, skills and competences by the students).

1. In this course of Process Integration the methodologies for energy integration and mass integration, are presented and applied, as well as their combination, which are utilized on Chemical Process Optimization.
2. Upon successful completion of this course the student should dominate the key concepts to apply systematic methodologies for the design and integration of chemical process in order to optimize heat-recovery and energy utility systems and to optimize pollution prevention, ensuring at the same time the aspects of economy competition and keeping high safety levels.

11. Conteúdos programáticos

1. Introdução

Eficiência energética nos processos industriais. Calor excedente nos processos industriais: desafios e oportunidades de recuperação. Permutadores de calor e sistemas de utilidades. Definição de Integração de Processos.

2. Integração Energética

Metodologia da Análise do Ponto de Estrangulamento. Noção de $D T_{min}$. Consumo Mínimo de Energia de um Processo. Curvas Compostas. Cascata de Calor. Síntese de Redes de Permutadores; Otimização do $D T_{min}$; Escolha das utilidades através da Curva Composta Global; Cogeração; Bombas de Calor; Integração de Colunas de Destilação; Integração de Reatores Químicos.

3. Integração Mássica

Metodologia do Ponto de Estrangulamento Mássico. Noção de Permutador de Massa.

Diagramas de Intervalos de Composição. Curvas Compostas de Composição e Determinação do Ponto de Estrangulamento Mássico. Síntese de Redes de Permutadores de Massa: Métodos Gráficos e Algébricos. Aplicação ao Projeto de Sistemas de Água: Maximização da Reutilização da Água.

11. Syllabus

1. Introduction

Energy efficiency in industrial processes. Excess heat in industrial processes: challenges and recovery opportunities. Heat exchangers and utility systems. Definition of Process Integration.

2. Energy Integration

Pinch Analysis Methodology. Concept of T_{min} . Minimum Energy Consumption of a Process. Composite Curves. Heat Cascade. Synthesis of Heat Exchanger Networks. T_{min} Optimization. Utility Selection using the Grand Composite Curve. Cogeneration. Heat Pumps. Heat Integration of Distillation Columns. Heat Integration of Chemical Reactors.

3. Mass Integration

Mass Pinch Analysis Methodology. Concept of Mass Exchanger. Composition Interval Diagrams. Composition Composite Curves and Identification of the Mass Pinch Point. Synthesis of Mass Exchange Networks: Graphical and Algebraic Methods. Application to Water System Design: Maximization of Water Reuse.

12. Demonstração da coerência dos conteúdos programáticos com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

O programa desta UC fornece aos alunos uma aprendizagem evolutiva sobre os objetivos e competências a adquirir com apresentação das principais ferramentas utilizadas em integração de processos, seguindo-se a aplicação à integração energética que apresenta maior facilidade de compreensão e menor complexidade. A utilização das metodologias de integração energética começou a ser largamente utilizadas aquando do primeiro choque petrolífero que levou ao aumento do custo da energia. O último capítulo, a integração mássica é uma matéria de maior complexidade onde as ferramentas utilizadas são em tudo idênticas, mas onde a preocupação ambiental é ainda mais marcada, pois a sua correta utilização permite reduzir os efluentes emitidos em processos químicos contribuindo para melhorar a eficiência dos processos.

12. Evidence of the syllabus coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

This curricular unit provides students with a structured and progressive learning experience focused on the objectives and competencies to be acquired through the presentation of the main tools used in process integration. It begins with energy integration, which offers easier comprehension and lower conceptual complexity. The adoption of energy integration methodologies became widespread following the first oil crisis, as a response to the rising cost of energy.

The final part of the course addresses mass integration, which is more complex, although it uses similar tools. In this context, environmental concerns become even more significant, as the proper application of mass integration techniques can reduce effluent emissions from chemical processes, thereby contributing to greater process efficiency and sustainability.

13. Metodologias de ensino e de aprendizagem específicas da unidade curricular articuladas com o modelo pedagógico

As aulas teóricas (50%) correspondem à exposição de conceitos teóricos. As aulas teórico-práticas (50%) correspondem à apresentação de problemas e casos de estudo, recorrendo a software específico para a sua resolução.

A unidade curricular "Integração de Processos" adota uma abordagem de ensino centrada no desenvolvimento de competências teóricas e práticas, combinando sessões expositivas com uma forte componente aplicada. As aulas teóricas são orientadas para a apresentação sistematizada dos conceitos fundamentais da integração energética e mássica, promovendo a compreensão dos princípios e metodologias associados à otimização de processos químicos.

Nas aulas teórico-práticas, os estudantes são desafiados a aplicar os conhecimentos adquiridos na resolução de problemas reais e casos de estudo, recorrendo a software especializado para análise e síntese de redes de permutadores de calor e de massa. Esta componente prática visa promover o pensamento crítico e a capacidade de decisão em contextos de engenharia complexos, em consonância com os princípios do modelo pedagógico orientado para a resolução de problemas e a integração do conhecimento.

A avaliação distribuída, composta por dois trabalhos práticos e um exame final, reforça a aprendizagem ativa e contínua ao longo do semestre. A estrutura avaliativa privilegia a consolidação progressiva dos conteúdos e a aplicação integrada de conhecimentos, permitindo ao estudante demonstrar competências técnicas, analíticas e de comunicação essenciais ao perfil do engenheiro químico moderno.

13. Teaching and learning methodologies specific to the curricular unit articulated with the pedagogical model

Theoretical classes (50%) consist of the presentation of theoretical concepts. Theoretical-practical classes (50%) involve the discussion of problems and case studies, using specific software for their resolution.

The curricular unit "Process Integration" adopts a teaching approach focused on the development of both theoretical and practical skills, combining expository lectures with a strong applied component. Theoretical classes are designed to systematically present the fundamental concepts of energy and mass integration, fostering a deep understanding of the principles and methodologies associated with chemical process optimization.

In the theoretical-practical sessions, students are challenged to apply the acquired knowledge to the resolution of real-world problems and case studies, using specialized software for the analysis and synthesis of heat and mass exchanger networks. This practical component aims to promote critical thinking and decision-making skills in complex engineering contexts, aligning with a pedagogical model based on problem-solving and knowledge integration.

The continuous assessment, consisting of two practical assignments and a final exam, reinforces active and ongoing learning throughout the semester. The assessment structure favors the progressive consolidation of content and the integrated application of knowledge, enabling students to demonstrate technical, analytical, and communication skills essential to the profile of a modern chemical engineer.

14. Avaliação

A avaliação da unidade curricular é realizada de forma distribuída, com exame final obrigatório.

As componentes da avaliação são as seguintes:

- Trabalho prático 1 (TP1): pedagogicamente não fundamental e sem classificação mínima.
- Trabalho prático 2 (TP2): pedagogicamente fundamental e com classificação mínima de 8,0 valores.
- Exame final (EF): classificação mínima obrigatória de 9,5 valores.

A classificação final (CF) é calculada da seguinte forma:

$$CF = 0,70 \times EF + 0,10 \times TP1 + 0,20 \times TP2$$

Para aprovação, o estudante deve satisfazer simultaneamente os seguintes critérios:

- Obter uma classificação final CF $\geq$ 9,5 valores ;
- Obter nota igual ou superior a 9,5 valores no exame final (EF);
- Obter nota igual ou superior a 8,0 valores no TP2.

Todas as classificações estão numa escala de 0 a 20 valores.

14. Assessment

The assessment of the curricular unit is carried out through continuous evaluation, with a mandatory final exam.

The evaluation components are as follows:

- Practical assignment 1 (TP1): pedagogically non-essential, with no minimum grade required.
- Practical assignment 2 (TP2): pedagogically essential, with a minimum required grade of 8.0 points.
- Final exam (EF): mandatory, with a minimum required grade of 9.5 points

The final grade (CF) is calculated as follows:

$$CF = 0.70 \times EF + 0.10 \times TP1 + 0.20 \times TP2$$

To pass the course, the student must meet all of the following criteria:

- Achieve a final grade (CF) of at least 9.5 points
- Obtain a grade of at least 9.5 points in the final exam (EF);
- Obtain a grade of at least 8.0 points in TP2.

All grades are expressed on a scale from 0 to 20.

15. Demonstração da coerência das metodologias de ensino com os objetivos de aprendizagem da unidade curricular

Tendo em conta os objetivos de aprendizagem da unidade curricular, a metodologia de ensino adotada revela-se coerente e eficaz, pois promove a aquisição integrada de conhecimentos teóricos e competências práticas fundamentais para a otimização de processos químicos. A combinação de aulas teóricas com sessões teórico-práticas permite aos estudantes compreender os conceitos subjacentes à integração energética e mássica, ao mesmo tempo que, desenvolvem capacidades de aplicação desses conhecimentos em problemas técnicos concretos.

O recurso a software especializado nas aulas teórico-práticas reforça esta coerência, ao permitir a simulação e análise de redes de permutadores de calor e redes de uso de massa, em linha com os objetivos de domínio das metodologias de análise do ponto de estrangulamento e de síntese de redes. Além disso, os trabalhos práticos e o exame final incentivam a aprendizagem ativa e a consolidação progressiva dos conteúdos, assegurando que os estudantes adquiram as competências previstas, incluindo a eficiência na utilização de energia e massa, contribuindo assim para a promoção de processos sustentáveis e seguros.

15. Evidence of the teaching methodologies coherence with the curricular unit's intended learning outcomes

Taking into account the intended learning outcomes of the curricular unit, the adopted teaching methodology proves to be coherent and effective, as it promotes the integrated acquisition of theoretical knowledge and practical skills essential for the optimization of chemical processes. The combination of theoretical lectures with theoretical-practical sessions enables students to understand the underlying concepts of energy and mass integration while developing the ability to apply this knowledge to real technical problems.

The use of specialized software in the theoretical-practical classes reinforces this coherence, allowing for the simulation and analysis of heat exchanger and mass networks, in line with the objectives of mastering pinch analysis and network synthesis methodologies. Furthermore, the practical assignments and final exam foster active learning and progressive content consolidation, ensuring that students acquire the expected competencies, including the efficient use of energy and materials, thereby contributing to the development of sustainable and safe processes.

16. Bibliografia de consulta/existência obrigatória

1. Smith. R., *Chemical Process Design and Integration* , 2th ed., John Wiley & Sons Ltd., 2016.
2. Klemes J., [*Handbook of Process Integration \(PI\) - Minimisation of Energy and Water Use, Waste and Emissions*](#), 2th ed., Woodhead Publishing Series in Energy, 2022
3. Kemp,I.C., *Pinch Analysis and Process Integration: A User Guide on Process Integration for Efficient Use of Energy* , 2th ed., Butterworth-Heinemann of Elsevier, 2006
4. Shenoy, U. V., *Heat Exchanger Network Synthesis* , Gulf Publishing Comp., Houston (USA), 1995.
5. The Institution of Chemical Engineers, *User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy* , Rugby (UK), 1992

17. Observações

Unidade Curricular Obrigatória

Data de aprovação em CTC: 2024-07-17

Data de aprovação em CP: 2024-06-26