



## Programa Analítico

# TERMODINÁMICA DE PROCESOS

### Datos Generales

**Nombre de la Actividad Curricular:** TERMODINÁMICA DE PROCESOS

**Código:** 15\_QQF

**Carrera:** Ingeniería Química

**Bloque de Conocimientos al que pertenece:** Tecnologías Básicas

**Año académico:** 2024

### Equipo docente

Nombre:	Cargo:	Dedicación:
Araujo, Paula Zulema	Profesor Asociado	Exclusiva
Cuezzo, Ana María	Jefe de Trabajos Prácticos	Exclusiva
Sánchez Collado, Francisco	Auxiliar Docente Graduado	Semidedicación

### Fundamentación

Manejar los conceptos fundamentales de la termodinámica que se aplican a los procesos de la Ingeniería Química, desde los principios hasta los equilibrios que no involucran transformaciones químicas. Adquirir metodologías para la obtención de información termodinámica para los procesos.

### Resultados de Aprendizaje

**Al finalizar exitosamente el cursado de la actividad curricular el estudiante será capaz de:**

**R.A. 1:** Aplicar las leyes termodinámicas a procesos de Ingeniería Química sin reacción química.

**R.A. 2:** Estimar propiedades termodinámicas de mezclas

**R.A. 3:** Adquirir metodologías para la obtención experimental de propiedades termodinámicas de mezclas.

**R.A. 4:** Calcular distintos tipos de equilibrio entre fases.

### Contenidos

**Contenidos mínimos de la Actividad Curricular:**

Fundamentos de termodinámica. Sistemas de un solo componente, gases ideales y reales, ecuaciones de estado. Primera ley de la termodinámica, entalpía, procesos reversibles. Segunda ley de la termodinámica, irreversibilidad y entropía. Aspectos termodinámicos de la conversión de la energía. Tercera ley de la termodinámica. Propiedades de sistemas homogéneos mono compuestos, fugacidad. Sistemas heterogéneos de un solo componente, diagramas termodinámicos. Procesos homogéneos de



multi componentes. Sistemas heterogéneos de múltiples componentes, regla de las fases, equilibrios líquido-vapor, líquido-gas, líquido-líquido, líquido-líquido -vapor, sólido-líquido.

## Programa Extendido

### Unidad 1: FUNDAMENTOS DE TERMODINÁMICA

Sistema termodinámico, clasificación. Estado termodinámico. Ecuaciones y variables de estado. Propiedades intensivas y extensivas. Proceso, trayectoria. Procesos reversibles e irreversibles. Unidades.

### Unidad 2: PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Ecuación de conservación de materia. Ecuación general de conservación de energía. Trabajos de expansión-compresión, flujo y eje. Casos particulares: sistemas abiertos, cerrados y aislados. Eficiencia termodinámica. Capacidad calorífica y calor específico. Calor sensible y calor latente.

### Unidad 3: PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LOS FLUIDOS

Comportamiento P-V-T de las sustancias puras: punto crítico, punto triple, zona de dos fases, curvas límite y título de un vapor. Diagramas termodinámicos: P-V, P-T, P-H, T-S y H-S. Métodos de estimación de calores latentes y presión de vapor. Tablas de propiedades termodinámicas del agua. Modelos de ecuaciones de estado para gases ideales y reales. Factor de compresibilidad. Parámetros reducidos. Ley de los estados correspondientes. Ecuaciones de estado: viriales, cúbicas y correlaciones generalizadas de los fluidos. Extensión a multicomponentes.

### Unidad 4: SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA

Dirección de los procesos espontáneos. Entropía. Criterios de factibilidad de procesos. Segunda Ley de la Termodinámica. Ecuación general del balance de entropía. Enunciados. Ciclo de Carnot. Teorema de Carnot. Máquinas térmicas.

### Unidad 5: GENERACIÓN DE POTENCIA

Ciclo Rankine simple, principales irreversibilidades. Recalentamiento. Regeneración. Análisis en diagramas T-S. Aplicaciones actuales.

### Unidad 6: REFRIGERACIÓN Y LICUEFACCIÓN

Ciclos de refrigeración. Refrigerantes. Bombas de calor. Análisis en diagramas P-H. Coeficiente de desempeño. Licuefacción.

### Unidad 7: TERMODINÁMICA CLÁSICA. PROPIEDADES DE LOS FLUIDOS PUROS

Relaciones entre las propiedades termodinámicas para una fase, sistemas cerrados y abiertos. Propiedades residuales, cálculo a partir de ecuaciones de estado: viriales, cúbicas y correlaciones generalizadas.



### **Unidad 8: EQUILIBRIO DE FASES PARA COMPONENTES PUROS**

Criterio de equilibrio para componentes puros. Cambio de la energía de Gibbs con la presión. Fugacidad y coeficiente de fugacidad a partir de ecuaciones de estado: viriales, cúbicas y correlaciones generalizadas.

### **Unidad 9: PROPIEDADES DE SISTEMAS MULTICOMPONENTES**

Relaciones fundamentales entre las propiedades termodinámicas para mezclas. Potencial químico. Propiedades parciales molares. Mezcla de gases ideales y reales. Soluciones ideales y reales. Propiedades de exceso. Actividad y coeficiente de actividad.

### **Unidad 10: EQUILIBRIO DE FASES PARA MEZCLAS**

Criterio de equilibrio de fases para sistemas multicomponentes. Comportamiento cualitativo. Cálculo del equilibrio líquido-vapor en mezclas reales (enfoques  $\gamma/\phi$  y  $\phi/\phi$ ). Modelos termodinámicos para la estimación del coeficiente de actividad. Modelos termodinámicos para la estimación del coeficiente de fugacidad a partir de ecuaciones de estado. Cálculos de punto de rocío y burbuja. Destilación instantánea. Ley de Henry. Equilibrio líquido-líquido (L-L). Equilibrio líquido-líquido-vapor (L-L-V). Equilibrio sólido-líquido (S-L). Equilibrio sólido-sólido-líquido (S-S-L).

---

## **Bibliografía**

- Smith, J. M., Van Ness, H. C. y Abbott, M. M. (2007). Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química, 7ma ed., McGraw-Hill. ISBN-13: 978-9-70-106147-3. LIBRO. Biblioteca FACET y en Área disponible 4ta, 5ta, 6ta y 7ma ed.
- Elliott, J. R., Lira, C. T. y Lira, C. T. (2012). Introductory Chemical Engineering Thermodynamics, 2nd ed., Prentice Hall. ISBN-13: 978-0-13-606854-9. LIBRO disponible en el área.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D. y Bailey, M. B. (2018). Fundamentals of Engineering Thermodynamics, 9th ed., John Wiley & Sons. ISBN-13: 978-1-119-39138-8. LIBRO. En el área x 1 y formato electrónico. Ed. traducida 1998, en el área. Electrónico en <https://elibro.net/es/lc/facet/>
- Cengel, Y. A. y Boles, M. A. (2006). Termodinámica, 5ta ed., Mc Graw-Hill. ISBN-10: 970-10-5611-6. Electrónico en <https://elibro.net/es/lc/facet/> y LIBRO en el área 4ta edición.

---

## **Carga horaria**

**Carga horaria total de la Actividad Curricular: 128**

**Carga horaria de Tecnologías Básicas: 90**

**Carga horaria de Tecnologías Aplicadas: 38**

**Duración del dictado en semanas: 16**

**Cantidad en horas de:**

- Clases semanales: 8
- Horas totales dedicadas a Laboratorios presenciales: 6
- Horas totales dedicadas a evaluaciones: 12



## Metodología aplicada

### Plan de actividades:

- **Clases teórico-prácticas.** Desarrollo de los conceptos teóricos de la Termodinámica de Procesos aplicados a problemas. Resolución de ejercicios y discusión de aplicaciones. Identificación, formulación y resolución de problemas relacionados a procesos, a modificaciones físicas y energéticas de la materia. Estrategias de abordaje, definición de modelos y métodos para establecer relaciones termodinámicas. Análisis de resultados numéricos y coherencia con la realidad. Desarrollo de problemas con la asistencia de software específico de uso libre.
- **Prácticas de Laboratorio.** Realización de prácticas de laboratorio que permitan fortalecer los conceptos de equilibrios de fase, las suposiciones y los modelos termodinámicos que permiten analizar de forma rigurosa los equilibrios.
- **En el aula virtual** de la asignatura (FACET VIRTUAL), se encuentra disponible: programa, cronograma, avisos, las presentaciones que soportan el dictado de las clases, los trabajos prácticos, las guías de laboratorio y un foro de consultas. <http://facetvirtual.facet.unt.edu.ar/>

### Distribución de actividades:

- **Clases teórico-prácticas:** 80% obligatorias. Cada trabajo práctico cuenta con problemas que se realizan en clases presenciales interactivas con los alumnos (obligatorios). Para continuar el proceso de análisis crítico, se les propone a los alumnos, que avancen con la resolución de problemas de forma autónoma (sugeridas).
- **Prácticas de Laboratorio.** Obligatorias. Actividad grupal. 100% de asistencia y aprobación.
- **Autoevaluaciones** son actividades sugeridas que las resuelven a través de FACET VIRTUAL.

### Mecanismos de seguimiento de los aprendizajes:

- **Participación en clase:** Se realizan preguntas durante las clases para identificar el grado de participación y comprensión de los estudiantes.
- **Evaluaciones teórico prácticas:** 2 (dos) con respectivas recuperaciones (en el período correspondiente)
- **Autoevaluaciones** teórico-prácticas: 10 (diez)
- **Evaluación del alumno en equipos de trabajo de laboratorio.** Realización de informes grupales por cada práctica.

## Recursos empleados

### Espacios:

- Aula Disponible del Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial (4-0-1).
- Laboratorio de Termodinámica de Procesos 4-2-19
- Laboratorio Físicoquímica 4-3-01.

### Equipos:

- Materiales de vidrio de laboratorio (matraces Erlenmeyers, pipetas, propipetas, buretas, etc.); reactivos (n-heptano, 1-propanol, agua, acetona y ciclohexano)
- Refractómetro de Abbé;



- Varióstato
- Equipo de destilación.

#### **Medios tecnológicos:**

- Proyector multimedia del Departamento de Ingeniería de Procesos y Gestión Industrial.
- Computadoras portátiles personales de los docentes.
- Softwares de uso libre: TermoGraf, Thermonator
- Aula virtual extendida (FACET Virtual)

---

## Evaluación

#### **Método/s empleados:**

Evaluación individual escrita, Evaluativos teóricos de seguimiento (por ejemplo quizzes), Entrega de trabajos de laboratorio, individuales o grupales

#### **Condiciones para la aprobación de la Actividad Curricular:**

1. Asistencia al menos al 80% de las clases teórico prácticas
2. Aprobar el 100% de los trabajos prácticos de laboratorio.
3. Aprobar las dos evaluaciones parciales teórico-prácticas o sus recuperaciones, con una calificación igual o superior a 4.

---

## Correlativas académicas

- Física II
- Cálculo III
- Química General e Inorgánica



## Ejes y enunciados multidimensionales y transversales

Esta Actividad Curricular aporta a los siguientes ejes y enunciados multidimensionales y transversales de la carrera en el nivel que se indica:

Ejes y enunciados multidimensionales y transversales	Nivel
Identificación, formulación y resolución de problemas de ingeniería	Alto
Concepción, diseño y desarrollo de proyectos de ingeniería	Bajo
Gestión, planificación, ejecución y control de proyectos de ingeniería	No aporta
Utilización de técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería	Medio
Generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones tecnológicas	No aporta
[Fundamentos para el desempeño en equipos de trabajo	Medio
Fundamentos para una comunicación efectiva	Bajo
Fundamentos para una actuación profesional ética y responsable	Bajo
Fundamentos para evaluar y actuar en relación con el impacto social de su actividad profesional en el contexto global y local	No aporta
Fundamentos para el aprendizaje continuo	Alto
Fundamentos para el desarrollo de una actitud profesional emprendedora	No aporta

## Investigación

### Proyectos de investigación relacionados a la asignatura en la que participen los docentes

- Desarrollo de productos agroindustriales con alto valor agregado en la región del NOA. Entidad financiadora: Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán Duración: desde 01/01/2023 hasta 31/12/2026 Investigador responsable: Paula Z. Araujo.
- Estrategias de Ingeniería de sistemas de Procesos para el diseño y operación de biorrefinerías sustentables y sus cadenas de suministro. Entidad financiadora: Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán Duración: desde 01/01/2023 hasta 31/12/2026 Investigador responsable: Fernando D. Mele
- Producción de harina de batata a escala industrial para la inclusión social. Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Técnica de Nación - INOVAT Duración: desde 01/07/2023 hasta 31/07/2024 Investigador responsable: Nora I. Perotti Tipo de participación: integrante-Dra. Paula Z. Araujo;
- Captura y utilización de CO<sub>2</sub> biogénico en la agroindustria del NOA como estrategia para la mitigación del cambio climático y la diversificación productiva. Entidad financiadora: Agencia Nacional de Promoción de la Investigación, el Desarrollo Tecnológico y la Innovación. Duración: desde 01/01/2022 hasta 31/12/2024 Investigador responsable: Fernando D. Mele



- Captura y utilización de CO<sub>2</sub> biogénico en la agroindustria del NOA como estrategia para la mitigación del cambio climático y la diversificación productiva. Entidad financiadora: CONICET Duración: desde 01/01/2022 hasta 31/12/2024 Investigador responsable: Fernando D. Mele

#### **Proyectos de investigación relacionados a la asignatura en la que participen los estudiantes**

- Desarrollo de productos agroindustriales con alto valor agregado en la región del NOA. Entidad financiadora: Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán Duración: desde 01/01/2023 hasta 31/12/2026 Investigador responsable: Dra. Paula Z. Araujo

---

## **Extensión**

#### **Proyectos de Extensión relacionados a la asignatura en la que participen los docentes**

- Producción de harina de batata a escala industrial para la inclusión social. Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Técnica de Nación - INOVAT Duración: desde 01/07/2023 hasta 31/07/2024 Investigador responsable: Nora I. Perotti

#### **Proyectos de Extensión relacionados a la asignatura en la que participen los estudiantes**

- Producción de harina de batata a escala industrial para la inclusión social. Entidad financiadora: Ministerio de Ciencia y Técnica de Nación - INOVAT Duración: desde 01/07/2023 hasta 31/07/2024 Investigador responsable: Nora I. Perotti
-