Adscripciones experimentales en termodinámica como puente entre el cursado y la investigación

RÍOS SEGURA, Mateo[1]; SUÁREZ BARRAZA, Victoria[1]; TORRES, Pilar[1]; NUNES, Lorenzo[1]; TURCO, Nicolás[1]; FURLÁN LLODRÁ, Octavio[1]; MOYANO, Lisandro[1]; ORLANDINI, Adelina[1,2]; BAROLIN, Sebastián[1,2]; MALARRÍA, Jorge[1,2]

[1]Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. [2] Instituto de Física Rosario (UNR.IFIR.CONICET)

Palabras claves: adscripción, experiencia de laboratorio, diseño experimental.

Contextualización

Se presentan tres experiencias de adscripción desarrolladas en la cátedra Física Experimental II, de **tercer año de la Licenciatura en Física** (FCEIA - UNR), centradas en **fenómenos clásicos de termodinámica**. En los tres casos el trabajo incluyó el análisis del modelo físico, montaje experimental, toma y análisis de datos, así como elaboración de manuales de uso y comunicación de resultados.

1 semestre · 6 h de laboratorio + 4 h externas por semana · 7 adscriptos en 3 grupos · 2025–2026

Termómetro de gas a volumen constante

El termómetro de gas a volumen constante mide la temperatura a partir de la presión de un gas confinado, basándose en la ley de Gay-Lussac de proporcionalidad para la temperatura y presión del mismo, a volumen constante: $T=aP+T_0$.

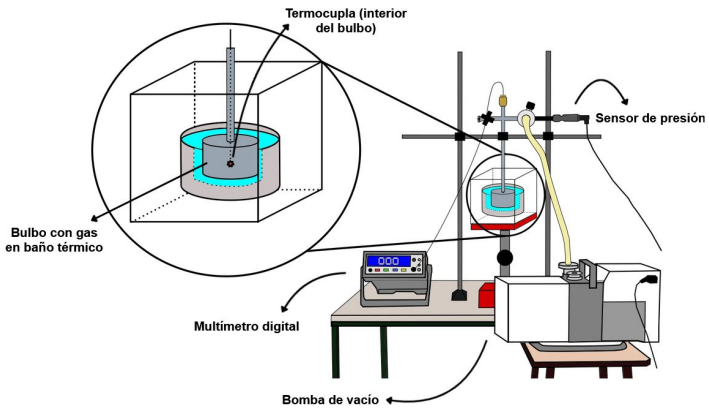


Fig. 1: Esquema del arreglo experimental: bulbo con aire sumergido en un baño térmico y conectado a un sensor de presión. La temperatura del gas se mide con una termocupla en el interior del bulbo.

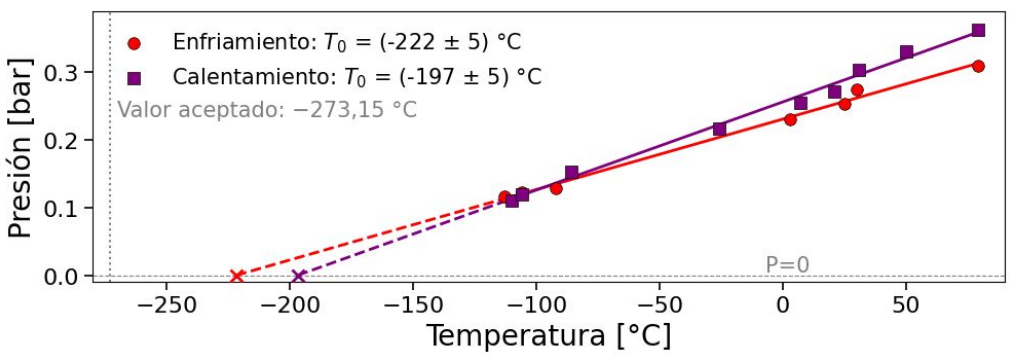


Fig. 2: Presión en función de la temperatura para los casos de enfriando y calentamiento del gas. Las rectas extrapoladas cortan P = 0 en T_0. La línea vertical indica el valor aceptado.

Se obtuvo T_{0+} **= (- 222 ± 5) ºC** al enfriar el gas y T_{0-} **= (- 197 ± 5)ºC** calentándolo. La diferencia entre ambos sentidos sugiere que el gas no alcanzaba el equilibrio térmico en cada punto. Aun así, se verifica la ley de Gay-Lussac y el resultado es satisfactorio para un dispositivo con fines didácticos.

Radiación de cuerpo negro

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la potencia radiada por unidad de área de un cuerpo negro es $R = \sigma(T^4 - T_0^4)$, con $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ **W/m²K⁴**. Para medirla se utilizó una termopila de Moll que convierte la radiación en voltaje. La constante de Stefan-Boltzmann σ se obtuvo juntando tres mediciones independientes:

- **Constante de proporcionalidad (m)** → Medición de **V vs T⁴** en el rango infrarrojo
- **Sensibilidad de la termopila (τ)** → Calibración cruzada con **sensor UV** de referencia
- **Coeficiente de atenuación de R con la distancia (F)** → Cálculo computacional con un método de **Monte-Carlo**

$$V = m\left(T^4 - T_0^4\right) \quad \Longrightarrow \quad m = F\sigma\tau$$

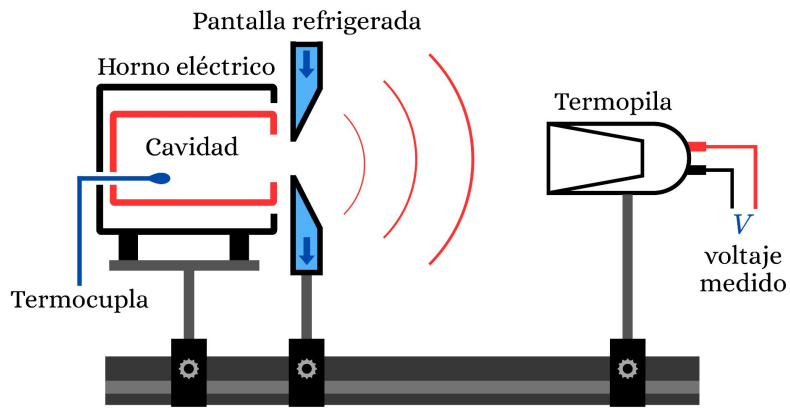


*Fig. 2: Configuración óptima en donde la **pantalla refrigerada** bloquea la radiación de las paredes externas del horno .*

Se obtuvo σ **= (3,0 ± 0,3).10⁻⁸ W/m²K⁴**, aproximadamente la mitad del valor aceptado. Se presume que la discrepancia con el valor aceptado se debe a una sensibilidad no homogénea en todo el rango espectral. En **conclusión**, se logró así un diseño experimental repetible para estimar el valor de σ.

Transferencia de calor de Fourier

El **problema de Stefan** suele ser utilizado para explicar el fenómeno físico del avance de la interfaz sólido-líquido de una sustancia, dada una transferencia de calor conductiva. Para resolverlo se utilizó un **modelo de derivada fraccionaria**. *Guevara, D.E.: "Un problema fraccionario unidimensional de Stefan con condición de tipo convectiva".*

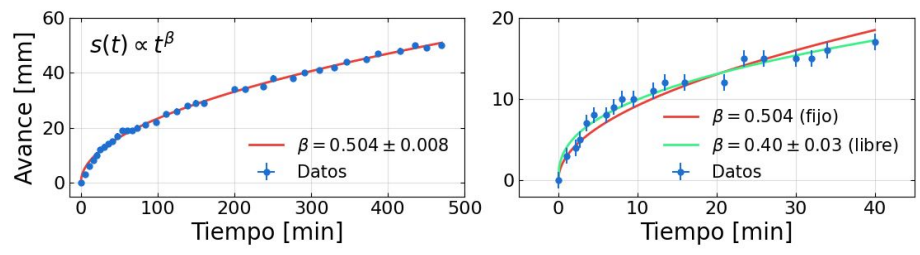


Fig. 4: Avance de la frontera **s** en función del tiempo para agua (izquierda) y gelatina (derecha).

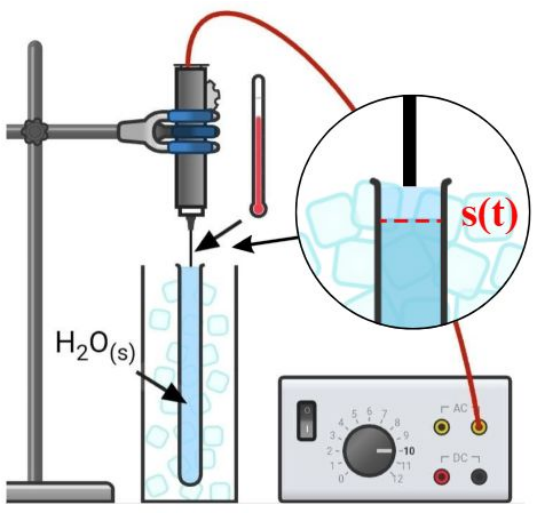


Fig. 4: Dispositivo formado por una barra contenida en un recipiente aislante, de forma tal que el flujo de calor se da únicamente en el extremo superior de la misma, mediante un soldador de estaño. Se presenta como **s(t)** a la frontera de cambio de fase de la sustancia contenida en la barra.

A tiempos largos, el agua sigue el comportamiento de **Stefan clásico** (β = 0,51 ± 0,02), mientras que la gelatina se ajusta a un modelo de **Stefan fraccionario** con β = 0,36 ± 0,02 (**subdifusivo**). A tiempos cortos los roles se invierten: la gelatina responde al modelo **clásico** (β = 0,51 ± 0,01) y el agua muestra un comportamiento **superdifusivo**, descrito por **Stefan fraccionario** con β = 0,67 ± 0,03. Se concluye que el dispositivo diseñado permite caracterizar cuantitativamente el avance de la frontera de transición mediante el modelo de transferencia de calor de Fourier.

Observaciones

En todos los grupos se observó, en general a partir del tercer mes, que los estudiantes: proponían cambios al diseño sin intervención docente, identificaban y resolvían fuentes de error, reformulaban la medición ante resultados inesperados y consultaban cada vez menos para tomar decisiones.

Conclusiones: impacto en los estudiantes

El esquema propuesto en este tipo de adscripciones acercó a los estudiantes de grado a las maneras del trabajo científico real, fomentando la autonomía, la toma de decisiones y la colaboración interdisciplinaria con gente del Instituto de Física Rosario (IFIR) y el taller mecánico. El trabajar fuera del marco de la materia permitió que los estudiantes se enfrentaran a limitaciones usuales del trabajo científico: tiempos ajustados, frustración ante la falta de resultados rápidos, falta de elementos y búsqueda de reemplazos.

2 dispositivos incorporados como trabajos prácticos, con manuales escritos por los adscriptos · El 3º previsto para 2027 · Todos los resultados presentados en otras reuniones en formato póster o charla.

Adscripciones experimentales en termodinámica como puente entre el cursado y la investigación

RÍOS SEGURA, Mateo[1]; SUÁREZ BARRAZA, Victoria[1]; TORRES, Pilar[1]; NUNES, Lorenzo[1]; TURCO, Nicolás[1]; FURLÁN LLODRÁ, Octavio[1]; MOYANO, Lisandro[1]; ORLANDINI, Adelina[1,2]; BAROLIN, Sebastián[1,2]; MALARRÍA, Jorge[1,2]

[1]Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario. [2] Instituto de Física Rosario (UNR.IFIR.CONICET)

Palabras claves: adscripción, experiencia de laboratorio, diseño experimental.

Contextualización

Se presentan tres experiencias de adscripción desarrolladas en la cátedra Física Experimental II, de **tercer año de la Licenciatura en Física** (FCEIA - UNR), centradas en **fenómenos clásicos de termodinámica**. En los tres casos el trabajo incluyó el análisis del modelo físico, montaje experimental, toma y análisis de datos, así como elaboración de manuales de uso y comunicación de resultados.

1 semestre · 6 h de laboratorio + 4 h externas por semana · 7 adscriptos en 3 grupos · 2025–2026

Termómetro de gas a volumen constante

El termómetro de gas a volumen constante mide la temperatura a partir de la presión de un gas confinado, basándose en la ley de Gay-Lussac de proporcionalidad para la temperatura y presión del mismo, a volumen constante: $T=aP+T_0$.

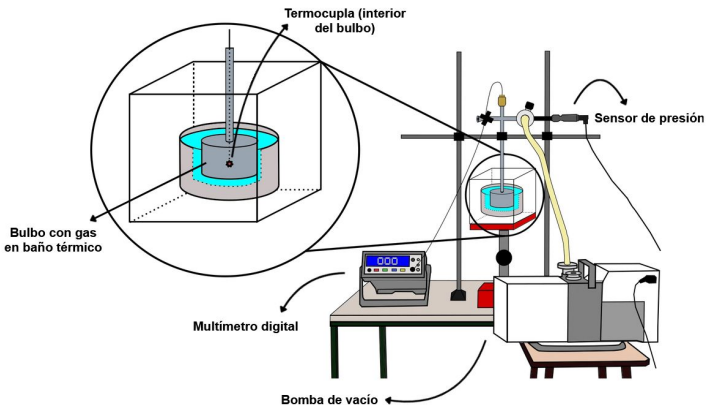


Fig. 1: Arreglo experimental: bulbo con aire sumergido en un baño térmico y conectado a un sensor de presión. La temperatura del gas se mide con una termocupla en el interior del bulbo.

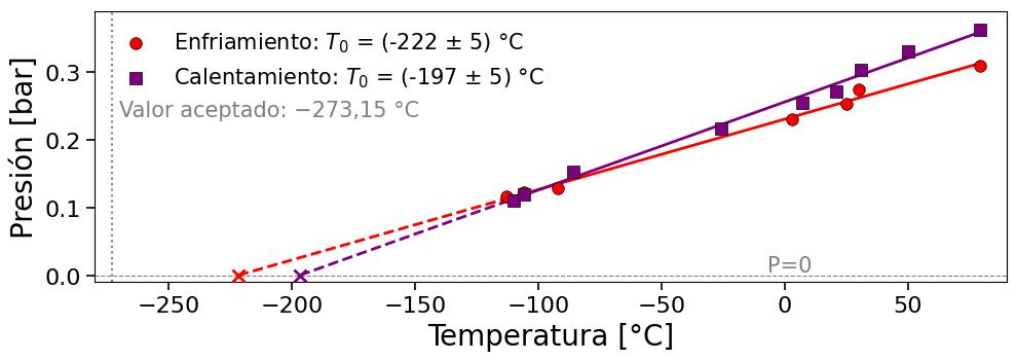


Fig. 2: Presión en función de la temperatura para los casos de enfriando y calentamiento del gas. Las rectas extrapoladas cortan P = 0 en T_0. La línea vertical indica el valor aceptado.

Se obtuvo T_{0+}**=(-222 ± 5)°C** enfriando el gas y T_{0-}**=(-197 ± 5)°C** calentándolo. La diferencia entre ambos sentidos sugiere que el gas no alcanzaba el equilibrio térmico en cada punto. Aun así, se verifica la ley de Gay-Lussac y el resultado es satisfactorio para un dispositivo con fines didácticos.

Radiación de cuerpo negro

La ley de Stefan-Boltzmann establece que la potencia radiada por unidad de área de un cuerpo negro es $R = \sigma(T^4 - T_0^4)$, con $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}$ **W/m²K⁴**. Para medirla se utilizó una termopila de Moll que convierte la radiación en voltaje. La constante de Stefan-Boltzmann σ se obtuvo juntando tres mediciones independientes:

- **Constante de proporcionalidad** (**m**) → Medición de **V vs T⁴** en el rango infrarrojo
- **Sensibilidad de la termopila** (τ) → Calibración cruzada con **sensor UV** de referencia
- **Coeficiente de atenuación de R con la distancia** (**F**) → Cálculo computacional con un método de **Monte-Carlo**

$$V = m\left(T^4 - T_0^4\right) \quad \Longrightarrow \quad m = F\sigma\tau$$

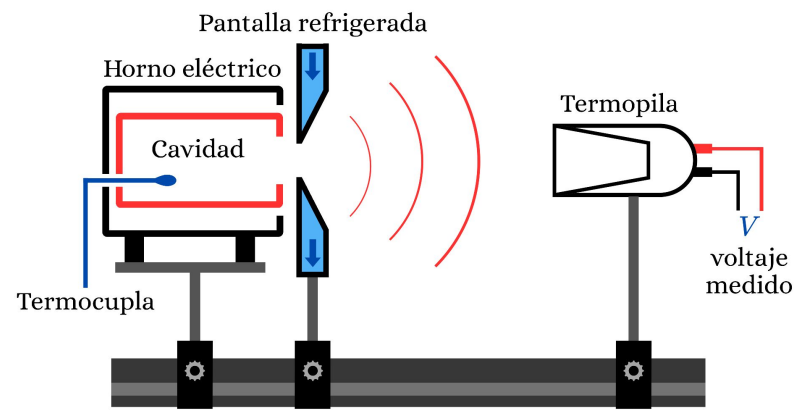


*Fig. 2: Configuración óptima en donde la **pantalla refrigerada** bloquea la radiación de las paredes externas del horno .*

Se obtuvo σ **= (3,0 ± 0,3).10⁻⁸ W/m²K⁴**, aproximadamente la mitad del valor aceptado. Se presume que la discrepancia con el valor aceptado se debe a una sensibilidad no homogénea en todo el rango espectral. En **conclusión**, se logró así un diseño experimental repetible para estimar el valor de σ.

Transferencia de calor de Fourier

El **problema de Stefan** suele ser utilizado para explicar el fenómeno físico del avance de la interfaz sólido-líquido de una sustancia, dada una transferencia de calor conductiva.

Para resolverlo se utilizó un **modelo de derivada fraccionaria**, motivado por el trabajo de tesina de Licenciatura en Matemática de Guevara, D.E.: "*Un problema fraccionario unidimensional de Stefan con condición de tipo convectiva*".

Avance de la frontera $s(t) \propto t^{\beta}$

- A *tiempos largos* se encontró que

Agua → $\beta = 0,51 \pm 0,02$ **Stefan clásico.**

Gelatina → $\beta = 0,36 \pm 0,02$ **Stefan fraccionario.**

La **gelatina** se comporta como una sustancia **subdifusiva**.

- A *tiempos cortos* se encontró que

Agua → $\beta = 0,67 \pm 0,03$ **Stefan fraccionario.**

Gelatina → $\beta = 0,51 \pm 0,01$ **Stefan clásico.**

El **agua** se comporta como una sustancia **superdifusiva**.

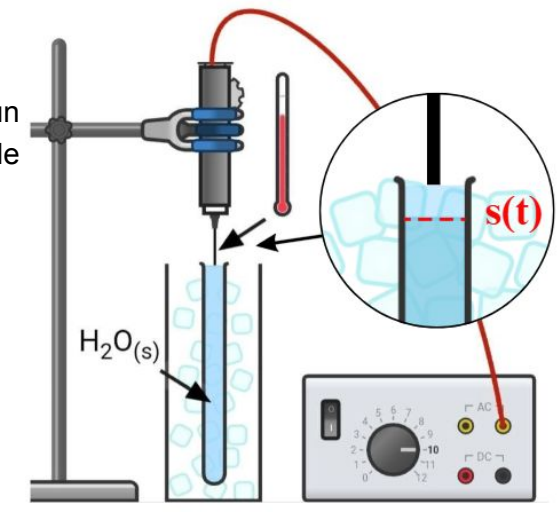


Fig. 4: Dispositivo formado por una barra contenida en un recipiente aislante, de forma tal que el flujo de calor se da únicamente en el extremo superior de la misma, mediante un soldador de estaño. Se presenta como **s(t)** a la **frontera de cambio de fase** de la sustancia contenida en la barra. El aislante consistió en una probeta de vidrio, recubierta de lana de vidrio y aluminio, y rellena de hielo molido.

Observaciones

En todos los grupos se observó, en general a partir del tercer mes, que los estudiantes: proponían cambios al diseño sin intervención docente, identificaban y resolvían fuentes de error, reformulaban la medición ante resultados inesperados y consultaban cada vez menos para tomar decisiones.

Conclusiones: impacto en los estudiantes

El esquema propuesto en este tipo de adscripciones acercó a los estudiantes de grado a las maneras del trabajo científico real, fomentando la autonomía, la toma de decisiones y la colaboración interdisciplinaria con gente del Instituto de Física Rosario (IFIR) y el taller mecánico. El trabajar fuera del marco de la materia permitió que los estudiantes se enfrentaran a limitaciones usuales del trabajo científico: tiempos ajustados, frustración ante la falta de resultados rápidos, falta de elementos y búsqueda de reemplazos.

2 dispositivos incorporados como trabajos prácticos, con manuales escritos por los adscriptos · El 3° previsto para 2027 · Todos los resultados presentados en otras reuniones en formato póster o charla.