



**Guía de práctica módulo F300D****Tabla 3***Guía pedagógica para el desarrollo de prácticas de laboratorio sobre flujo compresible F300D*

 	<b>UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</b>
<b>ASIGNATURA: LABORATORIO DE PROCESOS I</b>	
GUÍA PEDAGÓGICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE FLUJO COMPRESIBLE	
<b>PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS:</b> Esta guía tiene como propósito fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje de los conceptos fundamentales del flujo compresible mediante la experimentación directa con módulos de turbinas de una etapa. Se busca que el estudiante interactúe con un sistema real, aplicando herramientas de medición y control que le permitan comprender la relación entre variables termodinámicas y mecánicas, como el torque, la potencia, el consumo específico de aire y la eficiencia isoentrópica. De este modo, se promueve la integración coherente entre los conocimientos teóricos adquiridos en clase y la experiencia práctica en el laboratorio, resaltando la importancia de observar y analizar el comportamiento del sistema en condiciones reales de operación para consolidar una formación técnica más sólida, aplicada y significativa.	
<b>MICROCOMPETENCIAS:</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Desarrolla habilidades para evaluar el comportamiento de sistemas reales relacionados con el flujo compresible, fortaleciendo su criterio ingenieril y su capacidad para resolver problemas de manera rigurosa, integrando de manera efectiva los principios de la termodinámica aplicada y la mecánica de fluidos en contextos prácticos de análisis y toma de decisiones.</li><li>• Analiza e interpreta datos experimentales obtenidos en el laboratorio a través del uso de equipos de flujo compresible, como turbinas de impulso y de reacción, identificando y comprendiendo las relaciones entre variables clave del sistema, y representando gráficamente estas relaciones para explicar las tendencias y variaciones en el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de operación.</li><li>• Formula informes técnicos claros, concisos y bien estructurados a partir de la práctica experimental con equipos de turbina, empleando terminología técnica apropiada, organizando la información de manera lógica y coherente, utilizando correctamente las fuentes bibliográficas consultadas, y atendiendo a los estándares formales de presentación, redacción y ortografía, demostrando competencia en la comunicación escrita en contextos de ingeniería.</li><li>• Aporta constructivamente al trabajo colaborativo durante las prácticas de laboratorio, mediante el ejercicio de una comunicación asertiva, la cooperación activa y el liderazgo orientado al logro de metas comunes, comunicando de forma clara y efectiva, tanto oralmente como por escrito, las ideas y explicaciones necesarias para el desarrollo exitoso de la práctica.</li><li>• Participa activamente en la ejecución de la práctica experimental, colaborando en la recolección y validación de datos, y promoviendo el trabajo en equipo y el intercambio de ideas como estrategias clave para la resolución de problemas técnicos derivados de la actividad.</li></ul>	

**ESTRATEGIAS DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE:**

- **Preparación previa:** Busca crear en el estudiante un contacto previo con el equipo que contribuya significativamente al aprendizaje mediante el uso de un documento previo que ilustre los diferentes elementos del equipo junto a una explicación breve de su operación, posteriormente se evaluarán los conocimientos previos necesarios para la ejecución de la práctica. Para ello, los estudiantes contestarán un cuestionario antes de participar en la actividad. Esto contribuirá a reducir los accidentes, lograr una buena gestión del tiempo y asegurar el cumplimiento de los implementos de seguridad necesarios.
- **Desarrollo de la experimentación:** Corresponde al desarrollo y aplicación de aspectos prácticos de la temática mediante el desarrollo de experimentos empleando los equipos de turbinas para el estudio del flujo compresible y sus temas relacionados al emplear un modelo de experimentación para mejorar las habilidades en toma de datos, trabajo en equipo y la capacidad de integrar correctamente los conceptos adquiridos en clase y afianzar los temas practicados.
- **Presentación del informe:** El desarrollo y presentación de un informe posterior a la práctica ayuda a integrar el aprendizaje de los estudiantes, ya que les permite analizar de forma crítica los resultados obtenidos, reforzar la comprensión de los principios teóricos aplicados y demostrar su capacidad para resolver los problemas planteados al inicio de la práctica. Mediante la construcción de un informe que presente gráficos que expliquen las relaciones entre los distintos fenómenos físicos presentes en la temática y conclusiones en base a los objetivos de la práctica, con este ejercicio se fortalecen habilidades esenciales como la redacción técnica, la organización de conceptos, la interpretación de datos y la comunicación efectiva de ideas.

**CRITERIOS DE EVALUACIÓN (100%):**

- **Ejecución efectiva de las actividades propuestas:** El estudiante coopera activamente, escucha a sus compañeros, comparte responsabilidades y apoya al grupo en la resolución de tareas con el fin de llegar a un buen término en el desarrollo de la práctica y la correcta ejecución de todas las fases presentes para cada equipo. (10%)
- **Formulación del informe de la práctica:** El estudiante expresa las ideas con claridad y transmite resultados de forma precisa mediante el uso de gráficos y análisis claros y concisos que sean acordes a la capacidad de respuesta ingenieril. Expresa la capacidad de abordar las distintas situaciones que se presenten durante la práctica, propone soluciones viables, justifica decisiones y corrige los errores cometidos para llegar a conclusiones pertinentes acordes a los objetivos de la práctica. (50%)
- **Organización y gestión del tiempo:** El estudiante planifica bien sus tareas al cumplir con los plazos establecidos de realización y entrega del informe, y organiza adecuadamente los recursos durante la práctica con el fin de optimizar el tiempo empleado para obtener todos los resultados necesarios para su informe en el tiempo asignado para la realización de la sesión. (20%)
- **Análisis de resultados:** El estudiante aplica correctamente las fórmulas e interpreta críticamente las gráficas, explica coherentemente el comportamiento físico observado, da solución a los objetivos planteados en la práctica y es capaz de llegar a conclusiones constructivas con relación al aprendizaje de la temática. (20%)

**Bibliografía:**

P.A HILTON LTD, (2009). *Manual de mantenimiento y funcionamiento experimental: Módulo de turbina F300C.*

Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Essentials of Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications.* McGraw-Hill Education.

## GUÍA DE OPERACIÓN EXPERIMENTAL EN FLUJO COMPRESIBLE: TURBINA DE REACCIÓN F300D

### Pre-Saberes:

- **Termodinámica:** Primera Ley de la Termodinámica aplicada a sistemas abiertos. Conceptos de entalpía y energía interna. Procesos isoentrópicos y su relación con la eficiencia.
- **Mecánica de Fluidos (Manejo de F & S):** Flujo compresible y comportamiento del vapor en tuberías. Relación entre presión, temperatura y velocidad del flujo. Coeficiente de fricción y pérdidas en conductos.

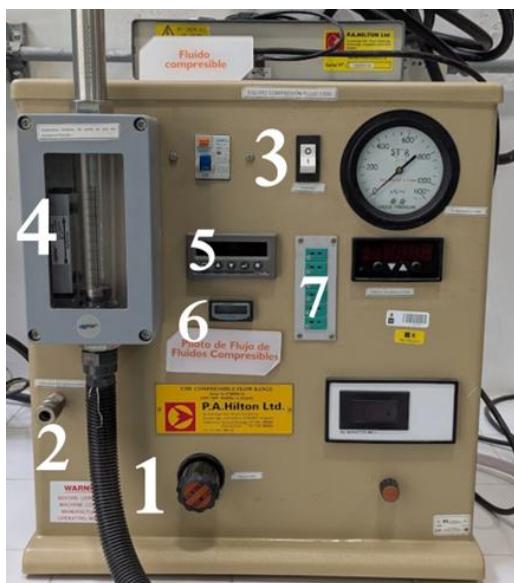
### Objetivos de aprendizaje:

Afianzar los aprendizajes relacionados al tema de flujo compresible mediante el uso de un equipo de turbina de reacción con el fin de observar la relación entre las variables físicas derivadas del trabajo con un flujo de entrada de aire a presión en el equipo.

Para este equipo se busca cumplir los siguientes objetivos particulares:

- Investigar las características del torque con respecto a la velocidad y la potencia con respecto a la velocidad de una turbina de impulso de una etapa.
- Realizar gráficas de variables derivadas de los experimentos (Torque, potencia del eje, consumo de aire específico) en la turbina y analizar el comportamiento de cada una de las curvas.

- Aplicar la primera ley de la termodinámica en un sistema abierto simple llevado a un estado estable.
- Determinar la eficiencia isoentrópica de una turbina.
- Construcción de la curva de retardo y la estimación del efecto de las resistencias debido a la fricción mecánica y del fluido.

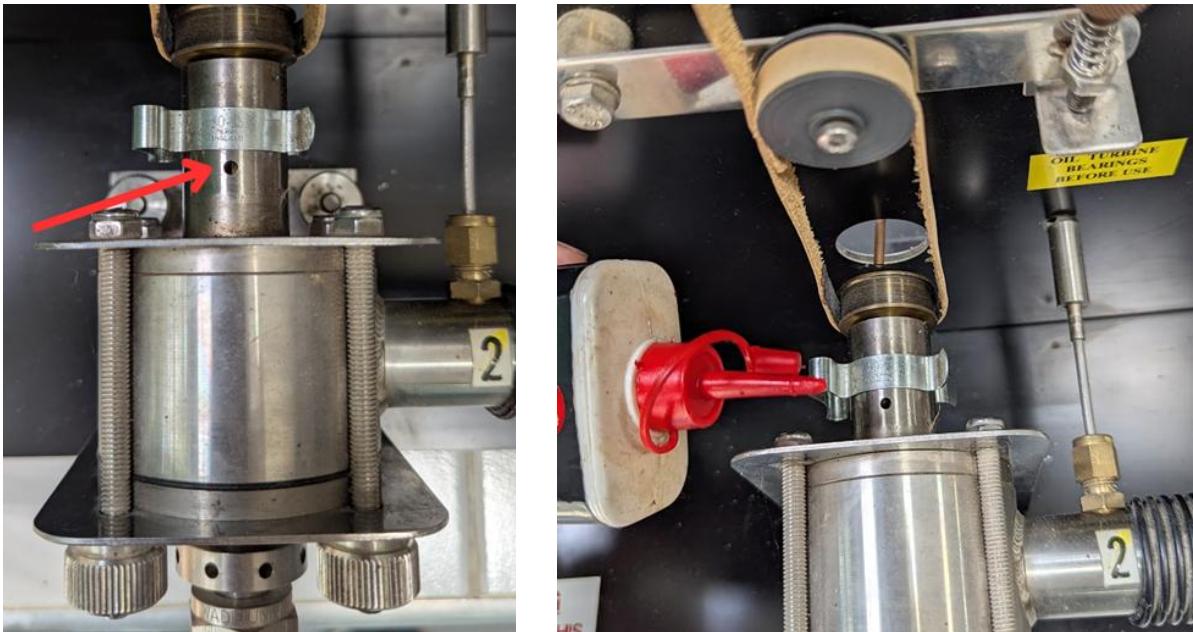
**Unidad F300:****Figura C.1.***Enumeración de partes Unidad F300***Elementos indicados en la imagen 1:**

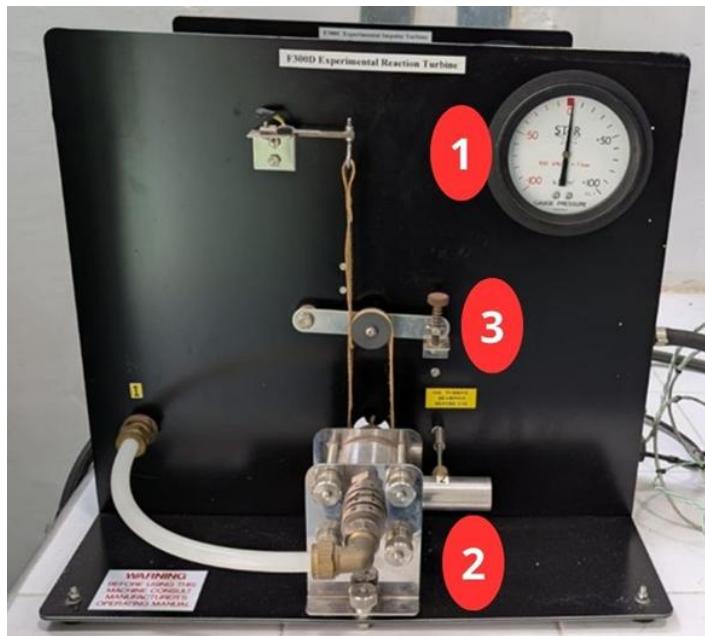
1. Válvula invertida flujo de entrada
2. Salida de aire hacia la turbina
3. Interruptor de encendido
4. Medidor de caudal de salida

5.      Dinamómetro
6.      Medidor de RPM
7.      Conexión sensor de temperatura (termopares) e indicador de temperatura.
8.      Conexión a sensores RPM (cable gris, lateral izquierdo de la unidad).
9.      Conexión sensores dinamómetro (cable negro, lateral izquierdo de la unidad).

### **Consideraciones preliminares**

- La operación del equipo requiere del uso de EPP (Elementos de protección personal):
  - Bata
  - Pantalón y zapatos cerrado
  - Gafas
  - Tapones de protección auditiva.
- El manejo del equipo requiere de una lubricación de la turbina con aceite 3 en 1 antes de su puesta en marcha:
  - Ubicar la disponibilidad de lubricante 3 en 1, si no se encuentra en el área de trabajo, preguntar al técnico encargado del laboratorio).
  - Retirar la arandela móvil situada en la parte trasera de la turbina para acceder al espacio de lubricación (Imagen 1).
  - Aplicar 4 gotas del aceite de lubricación y volver a ubicar la arandela móvil.

**Figura C. 2.***Lubricación turbina de reacción F300D**Imagen 2. Ubicación del espacio de lubricación en la turbina*

**Operación de la unidad F300D (Turbina de reacción)****Figura C.3.***Partes funcionales turbina de reacción F300D**Imagen 3. Turbina de reacción***Elementos del equipo F300D:**

1. Medidor de presión de entrada
2. Salida de aire a la unidad F300
3. Tornillo de ajuste para la polea de frenado

**Fase 1: relación entre Torque y Potencia VS velocidad**

1. Ajustar la presión de entrada al valor asignado a su grupo de trabajo (Documento en Excel para el diseño de experimentos) empleando la válvula reguladora de flujo (1) del equipo F300, esta válvula tiene dos posiciones.

**Figura C. 4.**

*Llave mariposa, posición libre y bloqueada*



*Imagen 4. llave mariposa, posición libre y bloqueada*

Las imágenes muestran las posiciones de la válvula: libre y bloqueada respectivamente, para cambiar entre posiciones es necesario tirar o empujar la válvula según corresponda, esta es una válvula **inversa** por lo que para abrir el flujo en el equipo se debe girar la válvula en el sentido horario y para cerrarla se debe girar en el sentido antihorario, una vez el flujo inicial aumente la turbina debería comenzar a girar.

2. Mantener el flujo estable en el valor asignado inicialmente por 90 segundos, aumentar o disminuir el flujo si se llegan a presentar fluctuaciones en la presión de la turbina (Fluctuaciones tolerables de 2 a 4 [kN/m<sup>2</sup>]).
3. Cuando las condiciones sean estables (después de 90 segundos) anotar los valores de rpm por minuto (6), tensión (5) y flujo de aire de salida del rotámetro (4)
4. Ajustar el tornillo de freno en sentido horario hasta disminuir el valor de rpm del paso anterior en un 15% de su valor inicial.
5. Anotar nuevamente los valores de las variables previamente registradas cuando el sistema se estabilice (se tolera una variación de hasta 1500 revoluciones por minuto o cantidades cercanas al valor objetivo).
6. Reducir progresivamente las revoluciones por minuto (RPM) de la turbina en intervalos equivalentes al 15% del valor inicial, ajustando la tensión de la polea hasta detener completamente la turbina. Por ejemplo, si la práctica inicia en 10 000 RPM, los registros de datos se realizan en aproximadamente 8500 RPM, 7000 RPM, 5500 RPM y así sucesivamente hasta llegar a 0 RPM.
7. Calcular y tabular los datos calculados de torque y potencia del eje para cada una de las mediciones, usando Excel.

- $T = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [\text{N}] * \text{Radio del eje} [\text{m}]$  (Ec. 1)

$$T [=] \text{Nm}$$

- Potencia del eje ( $P_s$ ) =  $T * \text{Velocidad rotacional}$  (Ec. 2)

$$P_s = T [\text{Nm}] * 2\pi / 60 [\text{s}^{-1}] * \text{velocidad rotacional [RPM]}$$

$$P_s = [\text{Watts}]$$

8. Construir en una misma gráfica las relaciones de: Torque Vs Velocidad rotacional y Potencia del eje Vs Velocidad rotacional.
9. Analizar sus interacciones respectivas y el porqué de sus comportamientos.

**Fase 2, aplicación de la primera ley de la termodinámica a un sistema abierto sencillo sometido a un caudal constante.**

1. Lubricar la turbina antes de ponerla en marcha y anotar el valor de la temperatura inicial del sistema.
2. Se debe manipular la válvula de flujo de entrada (1) hasta alcanzar la presión máxima con el freno completamente libre (girar tornillo de freno en sentido antihorario para des tensionar la polea).
3. Cuando los valores se estabilizan, ajustar el freno de tal forma que se reduzca la velocidad obtenida en el paso anterior a la mitad.
4. Mantener la configuración lograda en el paso 3 hasta que la temperatura de salida de aire de la turbina se estabilice (visto en el panel F300 en el medidor digital con el número 2).
5. Observar y registrar la medida de todos los sensores y la fuerza de la banda de freno.
6. Calcular la potencia del eje con los valores obtenidos en el paso 3.

$$T = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [N] * \text{Radio del eje} [m] \quad (\text{Ec. 1})$$

$$T [=] \text{Nm}$$

$$\text{Potencia del eje (Ps)} = T * \text{Velocidad rotacional} \quad (\text{Ec.2})$$

$$Ps = T [\text{Nm}] * 2\pi/60 [\text{s}^{-1}] * \text{velocidad rotacional [RPM]}$$

$$Ps = [\text{Watts}]$$

7. Asumir el  $C_p$  del aire a temperatura ambiente es  $1.004 \text{ [kJ /kg K]}$ , para calcular el cambio de la entalpía usar:

$$\Delta h = C_p (t_2 - t_1) \quad (\text{Ec. 4})$$

8. Calcular el calor generado por el sistema a partir de:

$$\dot{m} = \text{Flujo de aire en rotametro (4)}$$

$$\text{Consumo específico de aire} = \frac{\dot{m}}{P_s} \quad (\text{Ec. 3})$$

$$Q = \dot{m} * \Delta h + P_s \quad (\text{Ec. 5})$$

### Fase 3, determinación de la eficacia isentrópica de una turbina.

1. Lubricar la turbina antes de encenderla.
2. Ajustar la válvula de presión inicial hasta alcanzar la presión indicada al grupo con la carga del freno libre.
3. Aumentar la tensión del freno hasta reducir las revoluciones a la mitad (50%) de la alcanzada en el paso anterior.
4. Mantener la configuración lograda en el paso 3 hasta que la temperatura de salida de aire de la turbina se estabilice.
5. Observar y anotar los datos mostrados por los sensores y calcular:

Potencia del eje:

$$T = \text{Fuerza (Dinámómetro) [N]} * \text{Radio del eje [m]} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$T [=] \text{Nm}$$

$$\text{Potencia del eje (Ps)} = T * \text{Velocidad rotacional} \quad (\text{Ec. 2})$$

$$Ps = T [\text{Nm}] * 2\pi / 60 [\text{s}^{-1}] * \text{velocidad rotacional [RPM]}$$

$$Ps = [\text{Watts}]$$

- Temperatura absoluta de entrada

$$Tl = Te + 273 \quad (\text{Ec. 6})$$

- Presión absoluta de entrada (1)

$$P1 \text{ abs} = Patm + Pentrada \quad (\text{Ec. 7})$$

- Presión absoluta de salida (2) (ignorando la resistencia del tubo y del caudalímetro)

$$P2 \text{ abs} = Patm \quad (\text{Ec. 8})$$

- Relación de presión de la turbina

$$Rp = P1 / P2 \quad (\text{Ec. 9})$$

- Temperatura de salida después de la expansión isoentrópica

$$Ty = Ti / Rp^{(1.4 - 1) / 1.4} \quad (\text{Ec. 10})$$

- Índice del cambio de entalpía isentrópico

$$H = m * Cp(Tl - Ty) [w] \quad (\text{Ec. 11})$$

- Eficacia isentrópica externa

$$n = 100\% * Ps/H \quad (\text{Ec. 12})$$

### Referencias para fórmulas:

P.A HILTON LTD, (2009). Manual de mantenimiento y funcionamiento experimental:  
Módulo de turbina F300D.

1.  $T = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [\text{N}] * 0.0145 [\text{m}] \text{ Radio del eje}$
2.  $Ps = T * \text{Velocidad rotacional}$
3.  $\dot{m} (\text{Consumo específico de aire}) = \dot{m}/Ps$
4.  $\Delta h = Cp \cdot (t_2 - t_1)$
5.  $Q = m [\text{flujo másico}] * (h_2 - h_1) + Ps$
6.  $T_1 = Te + 273$
7.  $P_1 \text{ abs} = P \text{ Atm} + P \text{ entrada}$
8.  $P_2 \text{ abs} = P \text{ Atm}$
9.  $R_p = P_1/P_2$
10.  $T_y = T_1/R_p^{(1.4-1/1.4)}$
11.  $H = m * Cp(T_1 - T_y) [w]$
12.  $n = 100\% * Ps/H$

