



Guía pedagógica para el desarrollo de la práctica del módulo F300C

		UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
ASIGNATURA: LABORATORIO DE PROCESOS I		
GUÍA PEDAGÓGICA PARA EL DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO SOBRE FLUJO COMPRESIBLE		
<p>PROPÓSITO DE LAS PRÁCTICAS:</p> <p>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.</p>		
<p>MICROCOMPETENCIAS:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 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. • 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. • 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. • 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. • 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. 		

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*.

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

GUÍA DE OPERACIÓN PARA LA TURBINA DE IMPULSO F300C

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 fluidos):** Flujo compresible y comportamiento del vapor en tuberías. Relación entre presión, temperatura y velocidad del flujo. Coeficiente de fricción y pérdidas en conductos.

Objetivo 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, junto con las variables derivadas de la manipulación de este flujo y su. Para este equipo se busca cumplir los siguientes objetivos particulares:

- 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 para explicar los fenómenos físicos y las relaciones entre estos.
- Comparar el consumo de aire específico, cuando la salida de la turbina a velocidad constante es controlada por:
 - a) Flujo regulado.
 - b) Variación del número de válvulas.
- 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 B.2.**

Vista frontal unidad F300 para la práctica de turbina de impulso

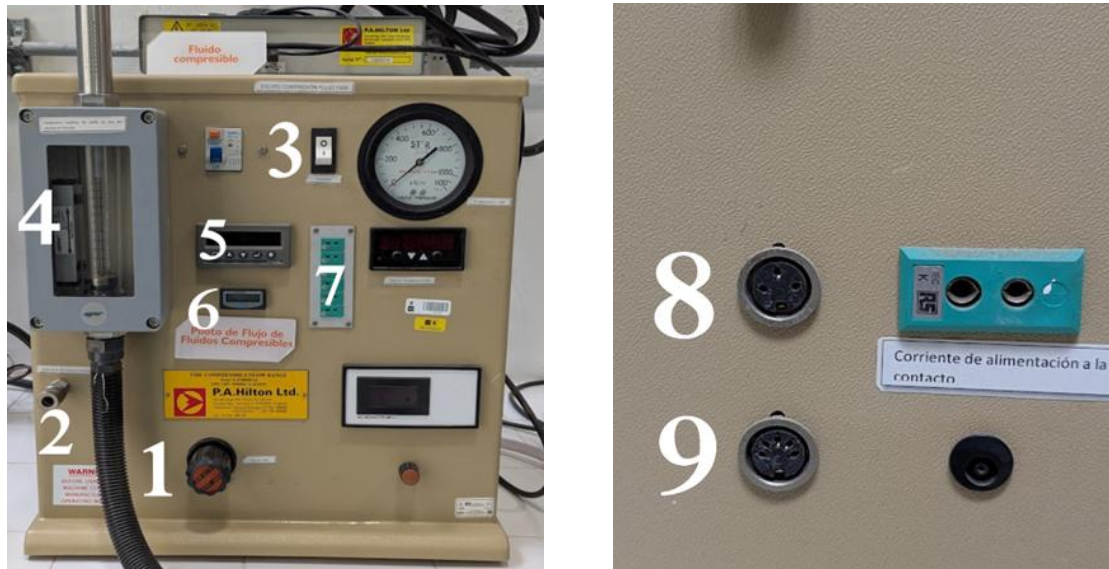


Imagen 1. Enumeración partes unidad F300

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 revoluciones por minuto (RPM)
7. Conexión sensor de temperatura (termopares) e indicador de temperatura.
8. Conexión a sensores de revoluciones por minuto, 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.
 - Desplazar el anillo metálico situado en la parte trasera de la turbina para acceder al orificio de lubricación (Imagen 2).
 - Aplicar 4 gotas del aceite de lubricación y volver a ubicar el anillo metálico.

Figura B.3.

Localización del orificio de lubricación en las turbinas

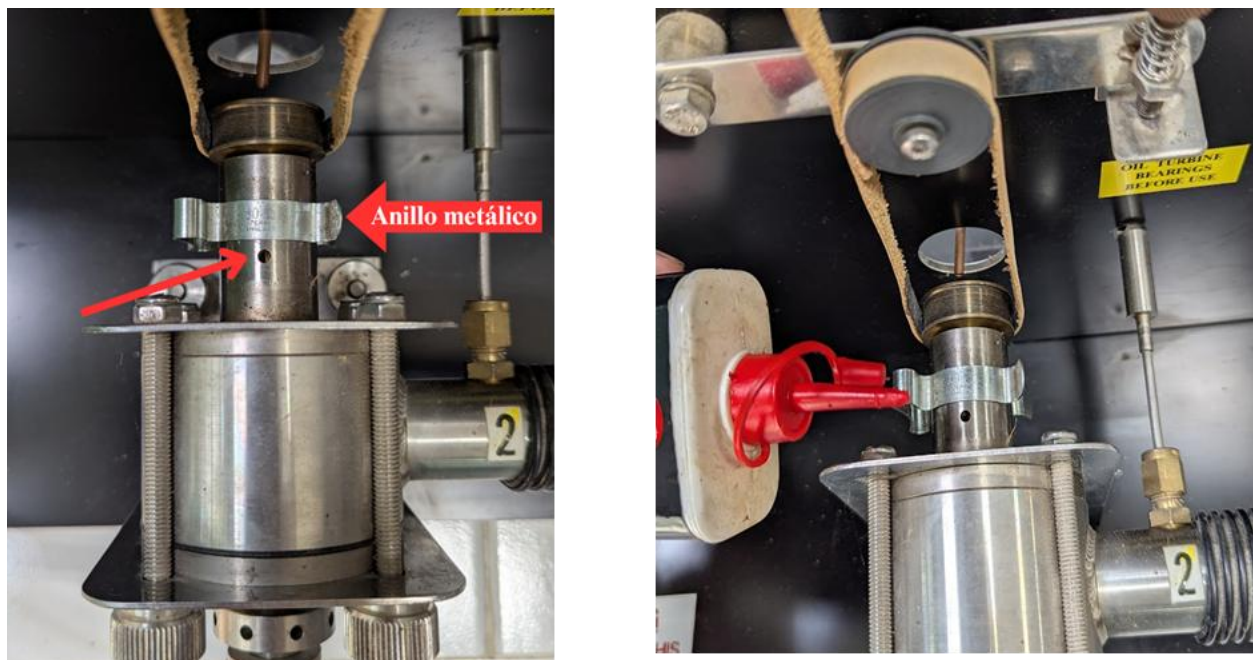
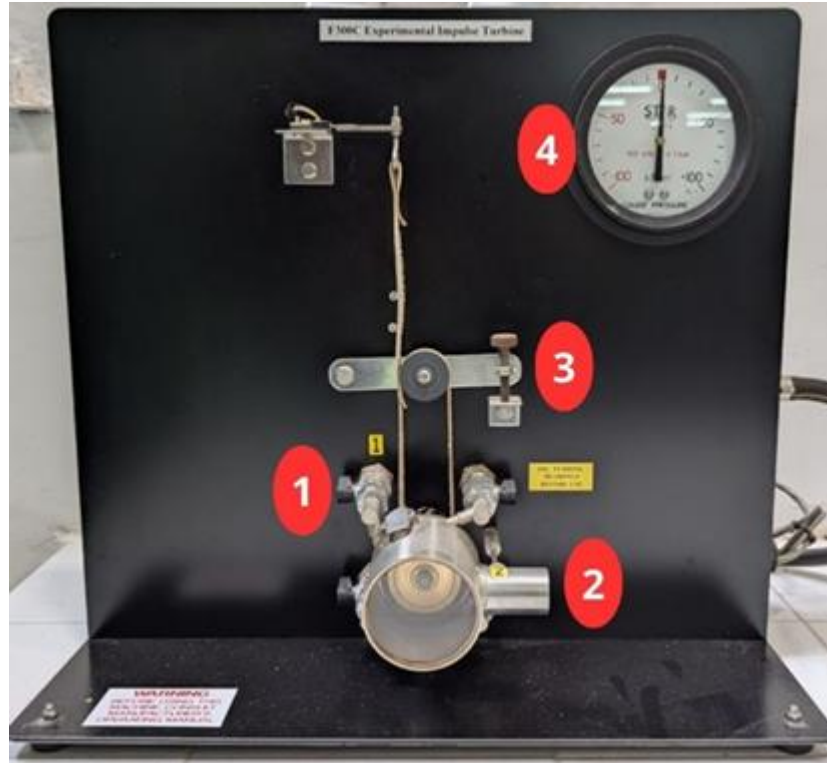


Imagen 2. Ubicación del espacio de lubricación en la turbina

Figura B.4.*Vista frontal unidad F300C***OPERACIÓN DE LA UNIDAD F300C (TURBINA DE IMPULSO)***Imagen 3. Turbina de impulso***Elementos del equipo F300C:**

1. Válvulas de cierre parcial de la boquilla de entrada
2. Salida de aire a la unidad F300
3. Tornillo de ajuste para la polea de frenado
4. Medidor de presión de entrada

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 B.5.

Llave de flujo de entrada en su posición bloqueada y libre



Imagen 4. llave flujo de aire de entrada, posición bloqueada y libre respectivamente

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/m²]).
3. Anotar los valores de revoluciones por minuto (6), tensión (5) y flujo de aire de salida del rotámetro (4) cuando pasen los 90 segundos.
4. Ajustar el tornillo de freno hasta disminuir el valor de rpm del paso número 2 en un 15% de su valor inicial, el tornillo tensiona la polea de freno al apretar el tornillo en sentido horario.
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 realizarán 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.

$$\text{Torque (T)} = \text{Fuerza (Dinamómetro)}[N] * 0.0145 [m] \text{ Radio del eje} \quad (\text{Ec.1})$$

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

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

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

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

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

Liberar la tensión de freno, cerrar la válvula de presión y lubricar la turbina

Fase 2: Consumo de aire específico según el impulso inicial y el número de válvulas.

Maxima presión dde trabajo 40

1. Verificar que las cuatro válvulas de cierre parcial ubicadas a los laterales de la turbina se encuentren abiertas (ubicadas de manera paralela a cada tubo).
2. Abrir la válvula de flujo de aire F300 (1) hasta que la presión de entrada alcance 60 [kN/m²].
3. Ajustar el tornillo de freno hasta que se alcance la velocidad establecida para cada grupo de trabajo.
4. Una vez los valores se estabilicen, registrar los datos de velocidad rotacional, presión de entrada, fuerza del freno y flujo de aire en el rotámetro (4).
5. Cerrar la válvula de flujo F300 (1) para que la presión disminuya hasta alcanzar 40 [kN/m²].
6. Aflojar el tornillo de freno de tal manera que la turbina regrese a la misma velocidad asignada inicialmente a cada grupo.
7. Una vez se estabilicen los valores anotar los datos de manera similar al paso 4.
8. Repetir el paso 5, 6 y 7 con disminuciones de presión distintas y progresivamente menores Ejemplo: 25 [kN/m²], 15 [kN/m²], 5 [kN/m²], hasta que la velocidad rotacional establecida no se pueda alcanzar.
9. Cerrar una de las válvulas de cierre parcial de la turbina y repetir el procedimiento de los pasos 2 al 8 realizando la respectiva toma de datos.
10. Repetir el procedimiento hasta que solo quede una válvula de cierre parcial abierta.
11. Calcular y tabular los datos de potencia del eje y consumo específico del aire para cada una de las mediciones:

$$P_s = T * Velocidad\ rotacional$$

(Ec. 2)

$$P_s = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [N] * 0.0145 [m] \text{ Radio del eje} * \frac{2\pi}{60} [s^{-1}] \\ * \text{velocidad rotacional [RPM]}$$

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

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

12. Realizar una gráfica que compara consumo específico de aire vs potencia del eje y analizar la interacción entre estos dos elementos.

Fase 3: Aplicación de la primera ley de la termodinámica a un sistema abierto sencillo sometido a un caudal constante.

1. Anotar el valor de la temperatura inicial del sistema.
2. Se debe manipular la válvula de flujo de entrada (1) hasta alcanzar el valor máximo de presión con las 4 válvulas de la turbina abiertas y con el freno completamente libre.
3. Ajustar el freno de tal forma que se reduzca la velocidad obtenida en el paso anterior a la mitad (normalmente alrededor de 20.000 rpm).
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 registrar la medida de todos los sensores (Temperatura, Velocidad de giro y presión) y la fuerza de la banda de freno.
6. Calcular la potencia del eje con los valores obtenidos en el paso 3.

$$T = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [N] * 0.0145 [m] \text{ Radio del eje} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$T [=] Nm$$

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

$$P_s = T [N * m] * \frac{2\pi}{60} [s^{-1}] * \# \text{ de vueltas [RPM]}$$

7. Asumir la capacidad calorífica C_p del aire a temperatura ambiente como $1.004 \left[\frac{kJ}{Kg \cdot K^\circ} \right]$, para calcular el cambio de la entalpía usando los valores de la termocupla 1 y 2 vistos en el panel (7), para alternar entre el número de termocuplas es necesario usar los botones de flecha situados en el panel:

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

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

$$Q = m [\text{Caudal de salida (4)}] * \Delta h + P_s \quad (\text{Ec. 5})$$

Fase 4: Determinación de la eficacia isentrópica de una turbina.

1. Lubricar la turbina antes de encenderla.
2. Ajustar la válvula de presión inicial F300 (1) hasta alcanzar la presión indicada al grupo, con el tornillo de carga suelto y las 4 válvulas de la turbina abiertas.
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 y se mantenga por un minuto.
5. Observar y anotar los datos mostrados por los sensores y calcular la potencia del eje:

$$T = \text{Fuerza (Dinamómetro)} [N] * 0.0145 [m] \text{ Radio del eje} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$T [=] Nm$$

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

$$P_s = T [Nm] * \frac{2\pi}{60} [s^{-1}] * \# \text{ de vueltas [RPM]}$$

$$P_s = [Watts]$$

Temperatura absoluta de entrada:

$$T_1 = T_e + 273^\circ K \quad (\text{Ec. 5})$$

Presión absoluta de entrada (1):

$$P_{1Abs} = P_{atm} + P_{Entrada} \quad (\text{Ec. 6})$$

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

$$P_{2Abs} = P_{Atm} \quad (\text{Ec. 7})$$

Relación de presión de la turbina:

$$R_p = \frac{P_1}{P_2} \quad (\text{Ec. 8})$$

Temperatura de salida después de la expansión isoentrópica:

$$T_Y = \frac{T_1}{R_p^{(1.4-1)/1.4}} \quad (\text{Ec. 9})$$

Índice del cambio de entalpía isentrópico:

$$H = m * C_p (T_1 - T_Y) [W] \quad (\text{Ec. 10})$$

Eficacia isentrópica externa:

$$n = 100\% * \frac{P_s}{H} \quad (\text{Ec. 11})$$

Fase 5: Construcción de la curva de retardo y estimación de resistencias por fricción mecánica y de fluidos

1. Soltar en su totalidad el tornillo de freno para que la turbina no tenga resistencia por la polea.
2. Aumentar el flujo de aire en la unidad principal F300 (1) a valores pequeños de presión, entre 10 y 20 [kN/m²].

3. Determinar la tasa de actualización del tablero medidor de RPM (6), esto se logra registrando el tiempo que tarda en cambiar el valor en pantalla a medida que aumenta o disminuye la velocidad de la turbina, usando cronómetro.
4. Propulsar la turbina hasta alcanzar su máxima velocidad (revisar que no haya tensión en la polea y estén abiertas las 4 válvulas de cierre).
5. Cerrar rápidamente la válvula de flujo de entrada (1).
6. Anotar las actualizaciones del valor en la pantalla indicadora de RPM según el intervalo de tiempo determinado en el paso 3 a medida que desciende la velocidad en la turbina.
7. Repetir este procedimiento dos veces más y promediar los valores de cada intervalo.
8. Construir la gráfica de Tiempo Vs Velocidad angular, donde el momento cero es cuando se cierra de golpe la válvula de presión inicial F300 (1).
9. Analizar el efecto del tiempo sobre la pérdida de velocidad angular para determinar si existen cambios en la tasa de frenado dependiendo de la velocidad angular.

-No bloquear la válvula de presión durante la practica

Colocar el apagado después de la primera fase

Pasos del apagado del equipo

Bajar la presión hasta 0

Desajustar la tensión del tornillo de freno

Cerrar la válvula del compresor del laboratorio

Apagar el equipo

Desconectar el equipo

