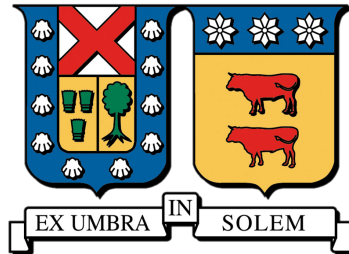


UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA  
DEPARTAMENTO DE MECÁNICA  
VIÑA DEL MAR - CHILE



PROPUESTA METODOLÓGICA PARA EL DESARROLLO DE GUÍAS  
DIDÁCTICAS EN LA OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE  
BANCOS DE PRUEBA DE CONTROL DE FLUIDOS DEL  
LABORATORIO DE TERMOFLUIDOS DEL DEPARTAMENTO DE  
MECÁNICA USM - SEDE VIÑA DEL MAR

Memoria de Titulación Presentada por  
JOAQUÍN ELÍAS LAGOS BECERRA

Como Requisito Parcial para Optar al Título de  
Ingeniería en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería

Profesor Guía:  
Mg. Ing. Cristian Enrique Cuadra Urbina

Abril de 2026



## CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

### 1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción):  Memoria o trabajo de título  Tesis de Postgrado

Propuesta Metodológica para el Desarrollo de Guías Didácticas en la Operación y Puesta en Marcha de Bancos de

Título del trabajo: Prueba de Control de Fluidos del Laboratorio de Termofluidos del Departamento de Mecánica USM - Sede Viña del Mar

Nombre del candidato(a): Joaquín Elías Lagos Becerra

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería

Campus: Sede Viña del Mar Departamento: Mecánica

### 2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Cristian Enrique Cuadra Urbina, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

### 3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses  12 meses  2 años  3 años  5 años  10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

---

---

---

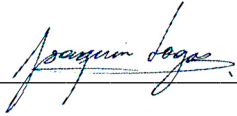
### 4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 21/04/2026 Firma: 

CRISTIAN CUADRA URBINA  
DOCENTE DEPARTAMENTO  
DE MECÁNICA

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 21/04/2026 Firma: 

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

## Resumen

La presente investigación tiene como propósito principal el diseño de una propuesta metodológica para la implementación de guías didácticas orientadas a la operación y puesta en marcha de los módulos de control de fluidos (Nivel-Presión y Temperatura-Caudal) del Laboratorio de Termofluidos de la Universidad Técnica Federico Santa María. El estudio surge de la necesidad de optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje, integrando equipamiento de estándar industrial compuesto por PLC, HMI e instrumentación de campo a las competencias formativas del Departamento de Mecánica.

La metodología abarcó el diagnóstico técnico de los bancos de prueba, su vinculación con los perfiles de egreso de las carreras técnicas y de ingeniería, y la elaboración de protocolos estandarizados de seguridad, mantenimiento y operación.

Se diseñaron y validaron ejercicios prácticos que permiten simular procesos industriales de bombeo y transferencia de calor.

Como resultado, este trabajo proporciona una herramienta pedagógica que fomenta la autonomía estudiantil y la rigurosidad técnica, permitiendo vincular efectivamente los principios teóricos de la mecánica de fluidos y la termodinámica con la práctica experimental requerida en el campo laboral.

**Palabras clave:** guías didácticas, bancos de prueba, control de fluidos, automatización industrial, instrumentación.

### **Abstract**

The main purpose of this research is to design a methodological proposal for the implementation of didactic guides oriented towards the operation and commissioning of the fluid control modules (Level-Pressure and Temperature-Flow) at the Thermofluids Laboratory of the Federico Santa María Technical University. The study arises from the need to optimize the teaching-learning process by integrating industrial-standard equipment comprising PLCs, HMIs, and field instrumentation into the educational competencies of the Department of Mechanics.

The methodology encompassed the technical diagnosis of the test benches, their alignment with the graduation profiles of both technical and engineering programs, and the development of standardized protocols for safety, maintenance, and operation.

Practical exercises were designed and validated to simulate industrial pumping and heat transfer processes.

As a result, this work provides a pedagogical tool that fosters student autonomy and technical rigor, effectively linking the theoretical principles of fluid mechanics and thermodynamics with the experimental practice required in the professional field.

**Keywords:** didactic guides, test benches, fluid control, industrial automation, instrumentation.

## Tabla de Contenido

Resumen.....	3
Abstract.....	4
Sigla y Simbología.....	11
Introducción.....	12
Objetivo General.....	14
Objetivos Específicos.....	14
Alcance.....	14
Capítulo 1: Contexto Formativo y Descripción del Equipamiento.....	15
Contexto.....	16
Carreras del Departamento.....	16
Asignaturas.....	17
Contribución al Perfil de Egreso.....	18
Bancos Didácticos.....	19
Descripción General.....	19
Componentes.....	21
Sistema de Control.....	21
Sistema Hidráulico.....	23
Instrumentación.....	26
Funcionamiento General.....	29

Capítulo 2: Desarrollo de Guías Didácticas y Protocolos de Operación .....	31
Introducción al Capítulo 2 .....	32
Mantenimiento del Equipo.....	33
Identificación de Componentes.....	34
Puesta en Marcha .....	35
Modo de Operación.....	36
Ejercicio Propuesto N°1.....	39
Ejercicio Propuesto 1.2 .....	41
Ejercicio Propuesto N°2.....	44
Ejercicio Propuesto 2.2 .....	46
Conclusión de la Propuesta.....	48
Capítulo 3: Validación Experimental de la Propuesta Didáctica .....	49
Introducción al Capítulo 3 .....	50
Metodología de Validación .....	51
Validación Ejercicio Propuesto N°1 .....	52
Puesta en Marcha .....	52
Inicio de Operación.....	53
Fase A: Configuración de Frecuencia y Presión .....	53
Fase B: Llenado Controlado del Estanque 2.....	56
Fase C: Activación del Trasvasije y Retorno .....	58

Validación Ejercicio Propuesto 1.2 .....	60
Metodología y Procedimiento .....	61
Datos Experimentales y Resultados .....	61
Análisis de Resultados .....	62
Conclusiones Finales .....	63
Recomendaciones y Trabajos Futuros .....	65
Referencias.....	67
Apéndice A: Programas de Asignatura .....	68
Apéndice B: Perfiles de Egreso .....	72
Apéndice C: Guía Didáctica MCNP .....	75
Apéndice D: Ejemplo de Rúbrica MCNP .....	81
Apéndice E: Guía Didáctica MCTC .....	83
Apéndice F: Ejemplo de Rúbrica MCTC.....	90

## Índice de Tablas

Identificación de componentes .....	34
Datos y cálculos requeridos por el estudiante para el MCNP.....	42
Datos y cálculos requeridos por el estudiante para el MCTC.....	47
Registro de tiempos y caudales.....	61
Termodinamica y Transferencia de Calor .....	68
Electro Oleoneumática.....	68
Taller de Mantenimiento Industrial.....	69
Taller de Mantenimiento Neumático y Oleohidráulico .....	69
Fundamento de Automatismo y Control.....	70
Instrumentación y Control .....	70
Taller de Mantenimiento .....	71
Mecánica de Fluidos .....	71

## Índice de Figuras

Módulo de control de nivel y presión .....	20
Módulo de control de temperatura y caudal .....	20
Diagrama de conexión del sistema de control .....	22
Diagrama de conexión del sistema hidráulico MCNP .....	24
Diagrama de conexión del sistema hidráulico MCTC .....	25
Diagrama general de proceso MCNP.....	28
Diagrama general de proceso MCTC .....	28
Diagrama de flujo del funcionamiento general.....	30
Identificación de los elementos.....	34
Pantalla de inicio.....	36
Ventana VDF.....	36
Ventana de nivel.....	37
Ventana de presión .....	37
Ventana de proceso 1 .....	38
Ventana de proceso 2 .....	38
Pantalla de carga .....	52
Ingresar valor de consigna .....	53
Encender electrobomba.....	54
Visualización de presión .....	55
Modular válvula .....	56
Visualizar estado de la v/v proporcional.....	56

Visualización de nivel .....	57
Configuración v/v ON-OFF y v/v proporcional .....	58
Monitorear proceso .....	59
Monitorear estanques .....	59
Ejemplo de rúbrica .....	60
Gráfico combinado.....	62

## Sigla y Simbología

### Sigla

MCNP	:	Módulo de Control de Nivel y Presión.
MCTC	:	Módulo de Control de Temperatura y Caudal.
HMI	:	Interfaz Hombre-Máquina ( <i>Human Machine Interface</i> ).
P&ID	:	Diagrama de Tuberías e Instrumentación ( <i>Piping and Instrumentation Diagram</i> ).
PLC	:	Controlador Lógico Programable ( <i>Programmable Logic Controller</i> ).
RTD	:	Detector de Temperatura de Resistencia ( <i>Resistance Temperature Detector</i> ).
VDF	:	Variador de Frecuencia.
USM	:	Universidad Técnica Federico Santa María.

### Simbología

$\Delta t$	:	Variación de tiempo o tiempo de llenado.
$Q$	:	Caudal volumétrico.
$\dot{m}$	:	Caudal másico
$c_p$	:	Calor específico
cm	:	Centímetros (Unidad de longitud/nivel).
HI/LO	:	Indicadores de nivel Alto ( <i>High</i> ) y Bajo ( <i>Low</i> ).
HP	:	Caballos de fuerza, unidad de potencia mecánica ( <i>Horsepower</i> ).
Hz	:	Hertz (Unidad de frecuencia).
mA	:	Miliamperios (Unidad de corriente eléctrica para señales de control).
mBar	:	Milibar (Unidad de presión).
VAC	:	Voltios de Corriente Alterna (Unidad de tensión eléctrica).

## Introducción

La formación de profesionales en el ámbito de la ingeniería y el mantenimiento industrial exige una constante actualización tecnológica, especialmente en lo que respecta a la integración de sistemas de automatización y control de procesos. En este contexto, la vinculación entre los fundamentos teóricos y la experiencia práctica resulta esencial para que los estudiantes desarrollen las competencias necesarias para desenvolverse en un entorno industrial cada vez más tecnificado.

El Departamento de Mecánica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Sede Viña del Mar, ha reforzado recientemente su infraestructura académica mediante la adquisición de bancos de prueba especializados para el control de fluidos, específicamente módulos de control de Nivel-Presión y Temperatura-Caudal. Estos equipos, dotados de tecnología estándar industrial como Controladores Lógicos Programables (PLC) e Interfaces Hombre-Máquina (HMI), representan una herramienta pedagógica de alto valor; sin embargo, su incorporación exitosa al currículo académico requiere algo más que su mera instalación física.

Surge, por tanto, la necesidad de optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en áreas críticas como la mecánica de fluidos y la termodinámica aplicada, asegurando que la interacción del estudiante con esta tecnología sea segura, autónoma y rigurosa. La presente investigación aborda esta problemática mediante el diseño de una propuesta metodológica para el desarrollo de guías didácticas y protocolos de operación estandarizados.

El objetivo central de este trabajo es proponer la implementación de estas pautas didácticas para fortalecer la formación académica en el manejo y control de variables de procesos. Para ello, la investigación se estructura en torno al diagnóstico de la información

técnica disponible, la elaboración de los procedimientos operativos y la validación experimental de su efectividad mediante casos aplicados en el laboratorio de Termofluidos. A través de esta metodología, se busca no solo facilitar la puesta en marcha de los equipos, sino también consolidar una herramienta de aprendizaje que integre eficazmente el conocimiento conceptual con la práctica experimental.

### **Objetivo General**

Proponer la implementación de pautas didácticas con uso de los Módulos de control Nivel–Presión y Temperatura-Caudal para un fortalecimiento de la formación académica en el manejo y control de variables en sistemas de fluido.

### **Objetivos Específicos**

1. Analizar las especificaciones técnicas de los bancos de prueba del laboratorio de Termofluidos para vincular sus capacidades operativas con las competencias de los perfiles de egreso y las asignaturas del Departamento de Mecánica.
2. Diseñar un conjunto de guías didácticas y protocolos estandarizados que orienten la puesta en marcha, operación segura y mantenimiento básico de los módulos de control de fluidos.
3. Validar la propuesta metodológica mediante la ejecución de experiencias prácticas en el laboratorio, evaluando la efectividad de las guías en el proceso de operación y control de variables.

### **Alcance**

Este trabajo se centra en las 6 carreras del departamento de mecánica, el cual ofrece carreras técnicas y de ingeniería; Y en específico para aquellas asignaturas que están directamente relacionadas con el laboratorio de Termofluidos.

## **Capítulo 1: Contexto Formativo y Descripción del Equipamiento**

## **Contexto**

Con el fin de situar la propuesta metodológica en su entorno real de aplicación, es fundamental caracterizar primero el entorno académico y técnico donde se implementarán las guías. En este sentido, el presente capítulo describe la justificación de este equipamiento en la formación profesional, las actividades en el banco de prueba, el funcionamiento de sus componentes y su representación esquemática con diagramas de flujo y planos técnicos. También incluye un listado de elementos con sus especificaciones técnicas, base para guías didácticas en operación y puesta en marcha, eje central de esta tesis.

En virtud de lo anterior, y para identificar a los beneficiarios directos de estas herramientas pedagógicas, se presenta a continuación el detalle de las carreras del departamento.

### **Carreras del Departamento**

El Departamento de Mecánica imparte 6 carreras que responden a las demandas del entorno industrial y energético. Estas carreras son:

- Ingeniería en Mantenimiento Industrial.
- Técnico Universitario en Energías Renovables.
- Técnico Universitario en Mecánica Industrial.
- Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial.
- Técnico Universitario en Mecánica Automotriz.
- Técnico Universitario en Minería y Metalurgia.

## **Asignaturas**

A continuación se presenta el listado de asignaturas del departamento de mecánica obtenido de *Programas académicos* (USM, 2017). Asignaturas cuyos objetivos están directamente relacionados con el laboratorio de Termofluidos.

Estas asignaturas tienen sus respectivas horas prácticas de Laboratorios/Talleres en su programa académico para que se pueda ajustar a las actividades propuestas en este trabajo (ver Apéndice A: Programas de Asignaturas).

### ***Semestre Impar***

- Termodinámica y transferencia de calor
- Electro Oleoneumática
- Taller de Mantenimiento Industrial

### ***Semestre Par***

- Taller de Mantenimiento Neumático y Oleohidráulico
- Fundamento de Automatismo y Control
- Instrumentación y Control
- Taller de Mantenimiento

***Ambos Semestres:*** Mecánica de Fluidos.

Todas estas asignaturas tienen relación directa con estos bancos didácticos, ya que trabajan con hidráulica, instrumentación, control y termodinámica.

## Contribución al Perfil de Egreso

Las seis carreras impartidas por el Departamento de Mecánica, tanto en sus niveles técnicos como de ingeniería, comparten un eje fundamental: la necesidad de operar, mantener y diagnosticar sistemas industriales bajo estrictos estándares de seguridad y eficiencia. En este contexto, la implementación de las guías didácticas y el uso de los bancos de prueba de control de fluidos aportan de manera transversal a los perfiles de egreso de todo el departamento (ver Apéndice B: Perfiles de Egreso).

Esta propuesta metodológica fortalece la formación profesional al permitir que los estudiantes interactúen con tecnología de estándar industrial (PLC, HMI e instrumentación de campo) similar a la que encontrarán en los sectores de minería, energía, manufactura y servicios. Al utilizar estos protocolos estandarizados, el estudiante entrena competencias críticas comunes a todas las especialidades, tales como:

- **Diagnóstico y Monitoreo:** La capacidad de interpretar variables físicas (presión, temperatura, caudal) para evaluar la funcionalidad de un activo y detectar fallas incipientes.
- **Rigor Operacional y Seguridad:** La aplicación sistemática de procedimientos de trabajo seguro durante la puesta en marcha y operación de equipos, cumpliendo con las normativas de calidad exigidas en la industria.
- **Vinculación Tecnológica:** El desarrollo de habilidades prácticas para manejar sistemas de automatización y control, facilitando la integración de equipos multidisciplinarios y la adaptación a diversas áreas, desde plantas de energías renovables hasta procesos metalúrgicos o automotrices.

De esta manera, la utilización de los módulos de Termofluidos bajo la metodología propuesta asegura que los egresados no solo dominen los fundamentos teóricos, sino que posean la experiencia práctica necesaria para desempeñarse eficientemente en el montaje, operación y mantenimiento de sistemas complejos.

## **Bancos Didácticos**

### **Descripción General**

Los bancos didácticos analizados son sistemas modulares compuestos por equipos de automatización y control de estándar industrial. Su diseño permite visualizar y simular estructuras de procesos que involucran el monitoreo y la gestión de variables físicas clave, tales como nivel, presión, caudal y temperatura.

La finalidad de estos paneles es replicar métodos de control de procesos, utilizando un Controlador Lógico Programable (PLC) como unidad central de procesamiento y decisión.

El funcionamiento se basa en un lazo de control cerrado: el PLC recibe señales eléctricas de entrada provenientes de los dispositivos de campo (sensores o elementos sensitivos primarios), los cuales miden el estado de las variables del proceso. De acuerdo con la lógica programada y las señales recibidas, el controlador envía datos a las salidas correspondientes para accionar los elementos finales de control (actuadores), regulando así el comportamiento del proceso (Manual institucional, s.f.).

**Figura 1.1**

*Módulo de control de nivel y presión*



**Figura 1.2**

*Módulo de control de temperatura y caudal*



## Componentes

Los componentes del banco didáctico se obtuvieron del *Manual de operación: Banco didáctico “Nivel–Presión”* (USM, Sede José Miguel Carrera, s.f.). Se dividen en 3 categorías de componentes; Sistema de Control, Sistema Hidráulico e Instrumentación.

### *Sistema de Control*

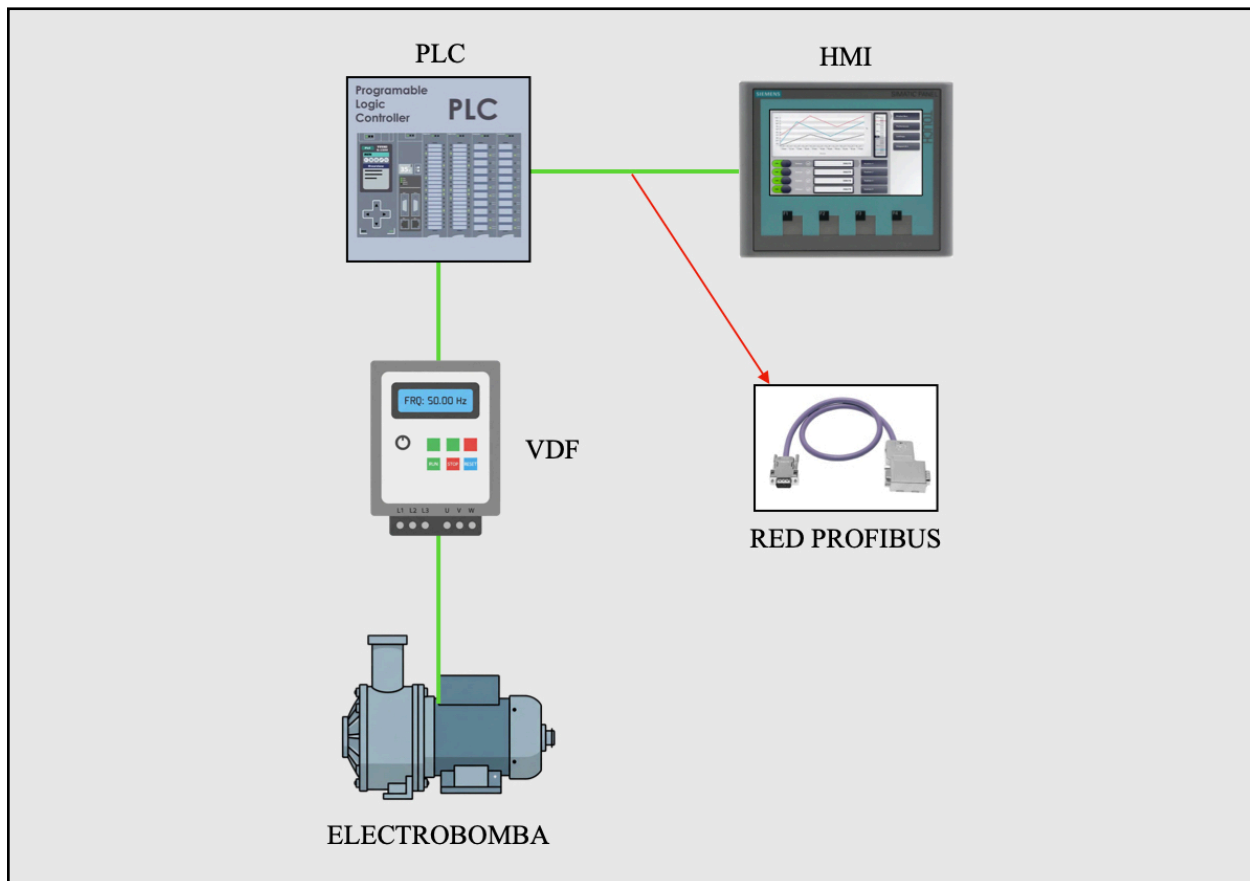
- **PLC S7-300 - SIEMENS.** Este equipo recibe señales de dispositivos de campo y, según su programación, realiza acciones de control para obtener resultados esperados en variables de proceso. Se comunica con los dispositivos mediante señales digitales o analógicas, o directamente a través de protocolos como PROFIBUS DP.
- **VDF MICROMASTER 440 - SIEMENS.** Este equipo controla el motor eléctrico de la bomba hidráulica, modulándolo según el valor de consigna ingresado en toda la escala de frecuencia. Evita picos de corriente en el arranque, comparado con el método estrella-delta, mediante la modulación de la frecuencia de salida. El valor se ingresa en la Pantalla HMI, que se comunica con el PLC y este con el VDF a través de PROFIBUS DP.
- **HMI KTP600 - SIEMENS.** La pantalla HMI (Interface Hombre-Máquina) monitorea valores del PLC de manera amigable y transmite datos para controlar acciones, como ajustar un Set-Point o activar elementos discretos.
- **Red PROFIBUS DP.** PROFIBUS es un bus de campo estandarizado de alta velocidad que transmite datos desde dispositivos de campo a un dispositivo maestro, como un PLC, para monitoreo y control. El PLC se comunica con el VDF, que actúa como esclavo Profibus.

La Figura 1.3 muestra el diagrama de conexión general del sistema de control implementado en ambos bancos didácticos. Esta arquitectura representa la interconexión de los componentes clave para la automatización y supervisión de la electrobomba.

El sistema se basa en un Controlador Lógico Programable (PLC) que actúa como unidad central, comunicándose con una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) para la supervisión del operador. El PLC comanda un Variador de Frecuencia (VDF) que regula la potencia de la electrobomba, y todos los dispositivos se enlazan mediante una red industrial PROFIBUS para el intercambio de datos.

**Figura 1.3**

*Diagrama de conexión del sistema de control*



### ***Sistema Hidráulico***

- **Electrobomba PEDROLLO 1 HP.** Este equipo eleva agua a través de la línea hidráulica según la frecuencia de modulación. Como bomba centrífuga, trabaja continuamente sin dañarse si un dispositivo bloquea el flujo. Requiere agua en la línea para funcionar bien; de lo contrario, puede averiarse y dañar el motor.
- **Radiador Hidráulico (Mesa Temperatura-Caudal).** Este dispositivo reduce la temperatura del fluido mediante un ventilador eléctrico integrado, facilitando el intercambio de temperatura entre el ambiente y la línea.
- **Válvula de Bola Manual.** Elemento de control que permite regular el paso de agua entre el estanque y la bomba.
- **Estanques de Agua.**
  - a. ***Estanque Rectangular.*** corresponde al estanque que posee el depósito de agua para alimentar la bomba, en este estanque están insertos sensores de nivel, temperatura y calefactor.
  - b. ***Estanque Cilíndrico.*** corresponde al estanque donde se encuentra el indicador de nivel y un transmisor de nivel en su base. Con esto se obtiene un monitoreo del estado del líquido en su interior.

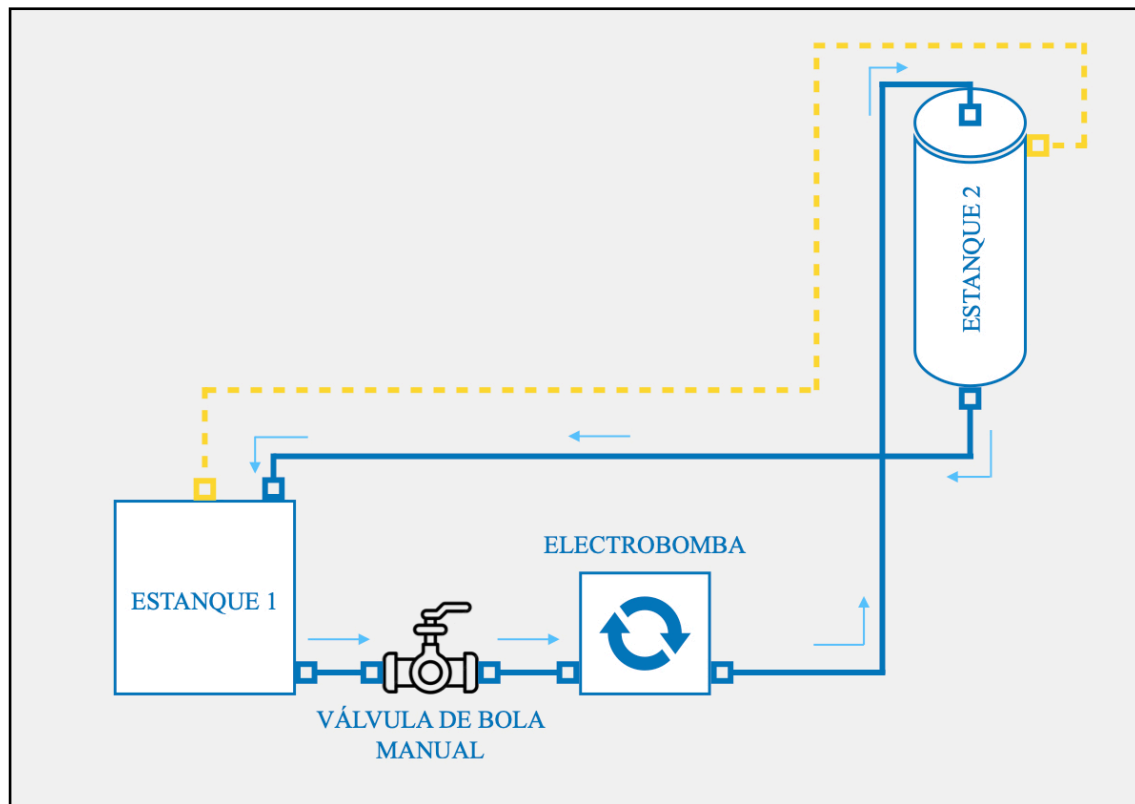
La Figura 1.4 muestra el ciclo del sistema hidráulico del Módulo de Control de Nivel y Presión el cual comienza en el Estanque Rectangular, que funciona como el depósito principal de agua.

Primero el fluido pasa por la Válvula de Bola Manual. Este elemento de control permite regular o cortar el paso de agua hacia la línea de succión de la Electrobomba.

Una vez en la bomba, el fluido es impulsado a través de toda la línea hidráulica. Siendo necesario activar el proceso de trasvasije para que fluido pueda salir del Estanque Cilíndrico e ingresar nuevamente al Estanque Rectangular.

**Figura 1.4**

*Diagrama de conexión del sistema hidráulico MCNP*



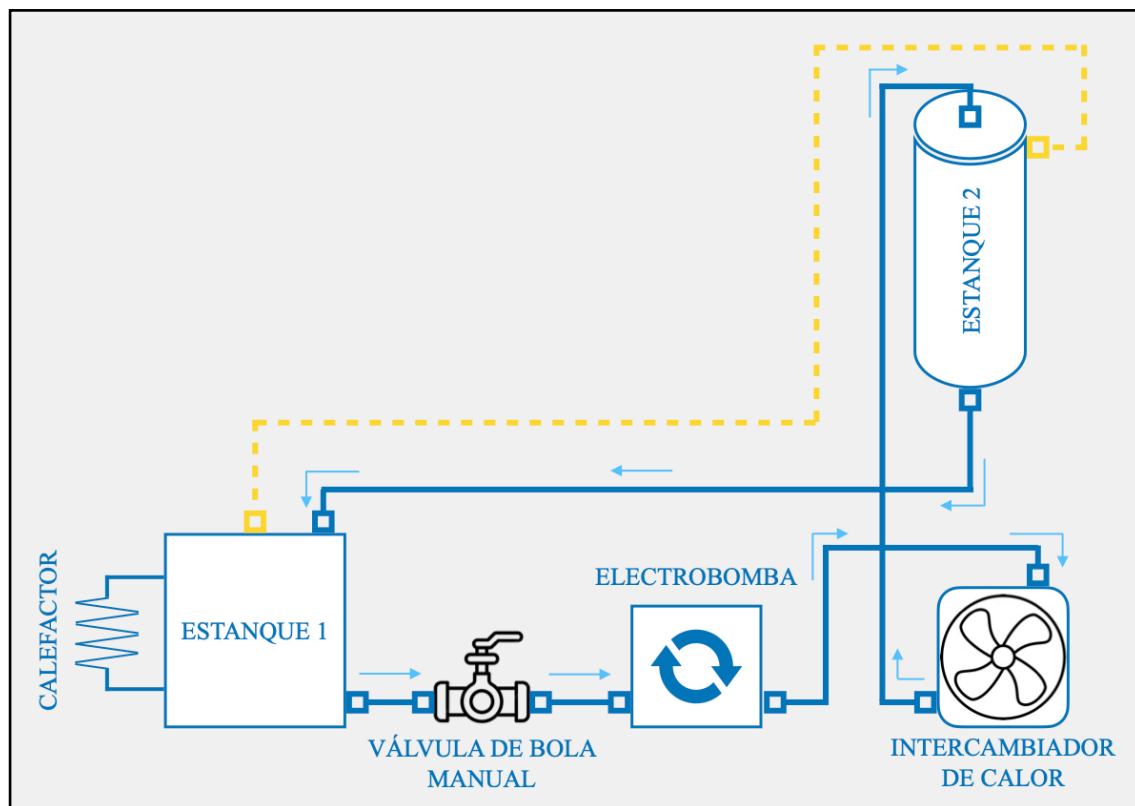
La Figura 1.5 muestra el ciclo del Sistema Hidráulico del Módulo de Control de Temperatura y Caudal.

A diferencia del MCNP, el Estanque Rectangular es un componente activo del proceso, ya que no solo alimenta el sistema, sino que también incluye sensores de nivel, temperatura y un calefactor para acondicionar el fluido.

Además, para gestionar la energía térmica del sistema (añadida por el Calefactor), el fluido atraviesa un Radiador Hidráulico. Este dispositivo utiliza un ventilador eléctrico para forzar un intercambio de calor entre el agua y el ambiente, reduciendo su temperatura antes de que retorne al estanque principal.

**Figura 1.5**

*Diagrama de conexión del sistema hidráulico MCTC*



### ***Instrumentación***

- **Transmisor de Nivel Ultrasónico SIEMENS.** Este dispositivo mide el nivel de líquido en el estanque calculando la diferencia entre la superficie y la posición del sensor, utilizando los valores de altura mínima y máxima del estanque.
- **Transmisor de Presión SIEMENS.** Este dispositivo combina sensor y transmisor en un solo cuerpo, generando una señal eléctrica normalizada según la presión para medir el flujo de agua y verificar que la bomba eleva el caudal de líquido.
- **Sensor de Nivel capacitivo SIEMENS.** Este dispositivo detecta niveles de materiales sólidos y líquidos con una sonda capacitiva ajustable para mayor sensibilidad, eliminando la necesidad de componentes mecánicos que requieren más mantenimiento.
- **Válvula Solenoide Proporcional DANFOSS.** Este dispositivo regula el flujo proporcionalmente mediante una señal normalizada de 4 a 20 mA recibida por la bobina superior.
- **Válvula Solenoide On-Off DANFOSS.** Este dispositivo controla el flujo de fluido al abrir o cerrar la válvula mediante una señal eléctrica que activa la bobina, generando un campo magnético que gira el eje de la válvula a la posición deseada.
- **Flujometro Magnético MAG SIEMENS (Mesa Temperatura-Caudal).** Este dispositivo mide el caudal en la línea usando el principio de inducción de Faraday y consta de dos elementos:
- **Sensor de Flujo.** Contiene bobinas y electrodos para generar un campo magnético en el fluido a medir.

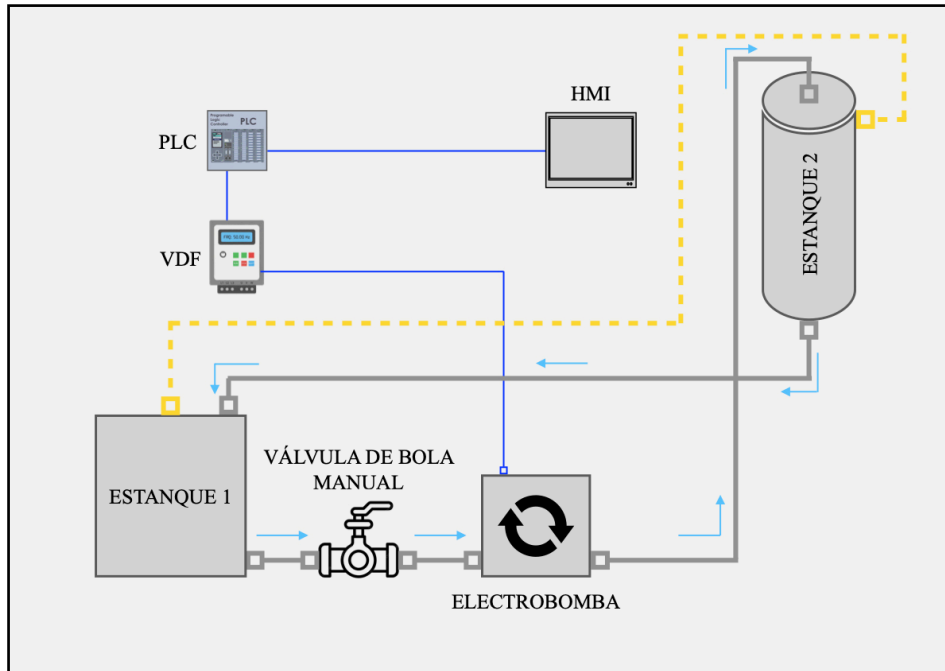
- **Transmisor de Flujo.** Convierte señales eléctricas del sensor en una señal normalizada, visible en su display o transmitida como señal de salida o protocolo de comunicación.
- **Sensor Transmisor de Temperatura DANFOSS (Mesa Temperatura-Caudal).**
  - a. **Sensor RTD PT100.** detecta cambios de temperatura mediante un material conductor que varía su resistencia según la temperatura.
  - b. **Transmisor de Temperatura.** Convierte la señal de resistencia de los sensores RTD en una señal normalizada de 4 a 20mA y está dentro del cabezal del housing del sensor.

### *Elementos Complementarios*

- **Tablero de Fuerza.** Contiene todos los componentes eléctricos de seguridad y accionamiento, una fuente de 12V para el ventilador del radiador, y una alimentación monofásica de 220VAC.
- **Tablero de Control.** El tablero de Control alberga componentes eléctricos de seguridad, relés para dispositivos de control y equipos como PLC y VDF.
- **Calefactor.** Este dispositivo aumenta la temperatura del agua en función de la corriente que circule a través de él.

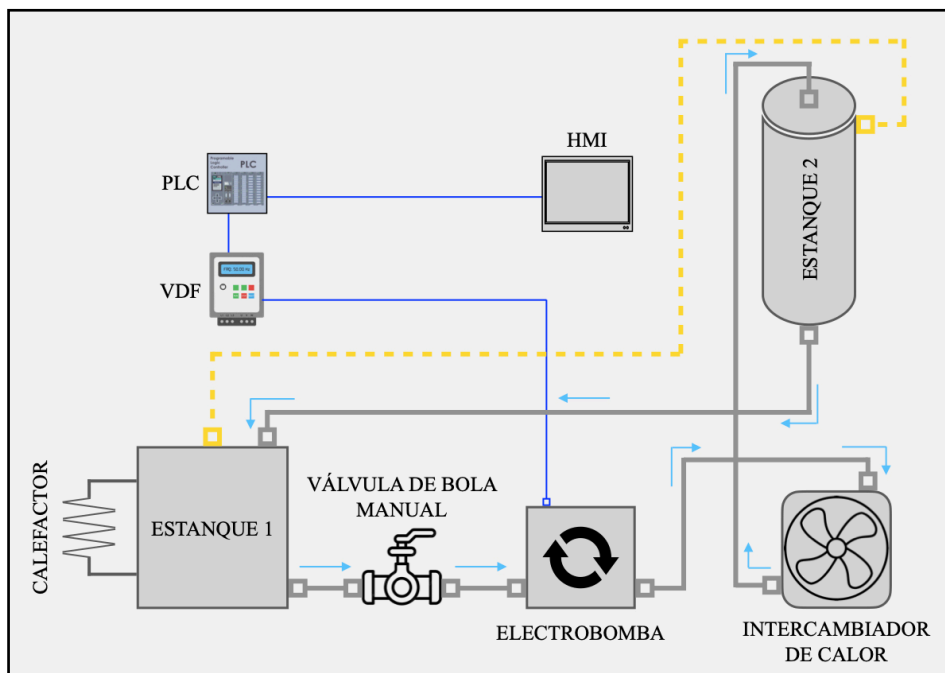
**Figura 1.6**

*Diagrama general de proceso MCNP*



**Figura 1.7**

*Diagrama general de proceso MCTC*



## Funcionamiento General

El módulo de control Nivel–Presión permite simular un proceso industrial de bombeo y control de variables hidráulicas mediante instrumentación y control automático. A través del sistema compuesto por un PLC Siemens S7-300, un variador de frecuencia (VDF Micromaster 440), una interfaz HMI KTP600, y diversos sensores y actuadores, se pueden monitorear y regular los parámetros de nivel y presión de manera dinámica y controlada.

Para iniciar, el equipo debe estar conectado a la corriente eléctrica y es fundamental asegurarse de que la válvula de bola manual (que alimenta la bomba desde el estanque 1) esté abierta para evitar que la bomba trabaje en seco.

Una vez el sistema está energizado, toda la operación se comanda desde la pantalla HMI. El primer paso es establecer una consigna o "Set-Point" de velocidad para la electrobomba; esto se hace ingresando un valor porcentual en la ventana del Variador de Frecuencia (VDF). Al activar la "Partida de Bomba", el VDF energiza el motor y ajusta su frecuencia de operación para que corresponda a la consigna ingresada.

Inmediatamente, el Transmisor de Presión detecta el flujo en la línea, y esta variable se puede monitorear en tiempo real desde la ventana "Presión".

Para simular el proceso de llenado de un segundo depósito (el estanque cilíndrico), se ingresa a la ventana "Válvulas" y se modula la apertura de la válvula proporcional. Esto permite un flujo controlado de líquido hacia el estanque 2. El aumento del nivel en este estanque se visualiza en la ventana "Nivel", gracias al transmisor ultrasónico.

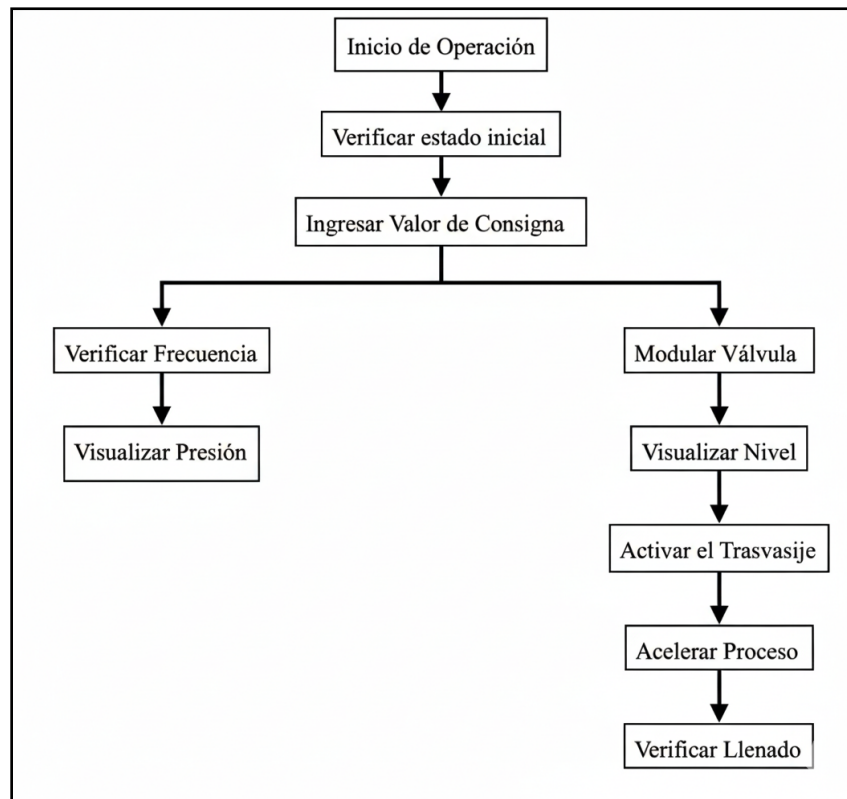
Cuando el estanque 2 alcanza un nivel determinado, se puede iniciar el proceso de "trasvasije" (retorno del líquido al estanque principal). Esto se logra activando la válvula solenoide ON-OFF desde la misma ventana de "Válvulas".

Para gestionar el vaciado del estanque 2 (acelerar el trasvasije), el operador puede ajustar el caudal de entrada reduciendo la apertura de la válvula proporcional. Finalmente, el retorno del agua al estanque 1 se verifica en la ventana "Proceso", donde se puede observar la activación de los sensores de nivel capacitivos (HI y LO).

La Figura 1.8 muestra el concepto resumido del funcionamiento general del MCNP.

**Figura 1.8**

*Diagrama de flujo del funcionamiento general*



## **Capítulo 2: Desarrollo de Guías Didácticas y Protocolos de Operación**

## **Introducción al Capítulo 2**

Una vez establecidos los antecedentes, el contexto formativo del Departamento de Mecánica y las especificaciones técnicas de los bancos de prueba del laboratorio de Termofluidos, este capítulo se dedica a desarrollar la propuesta metodológica que constituye el eje central de esta investigación.

El presente capítulo tiene como objetivo principal proponer y detallar un conjunto de pautas didácticas orientadas a la correcta puesta en marcha, operación y mantenimiento de los Módulos de control Nivel-Presión y Temperatura-Caudal.

Tal como se fundamentó anteriormente, el desarrollo de estas guías surge de la necesidad de optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje en áreas clave como la mecánica de fluidos, la termodinámica y la automatización.

La implementación de estos protocolos busca estandarizar los procedimientos de uso, fomentar la rigurosidad en el manejo del equipamiento y, fundamentalmente, fortalecer la integración entre el conocimiento conceptual y la experiencia experimental en el laboratorio de Termofluidos.

A continuación, se presentará el marco metodológico de esta propuesta. Se detallará la estructura de las guías didácticas, los procedimientos de operación específicos para cada módulo, las consideraciones de seguridad pertinentes y el "marco teórico" de uso que permitirá a los estudiantes adquirir competencias relevantes en control e instrumentación.

## Mantenimiento del Equipo

El mantenimiento del equipo se enfoca principalmente en el cuidado de la Electrobomba, ya que es un componente crítico para el funcionamiento del sistema.

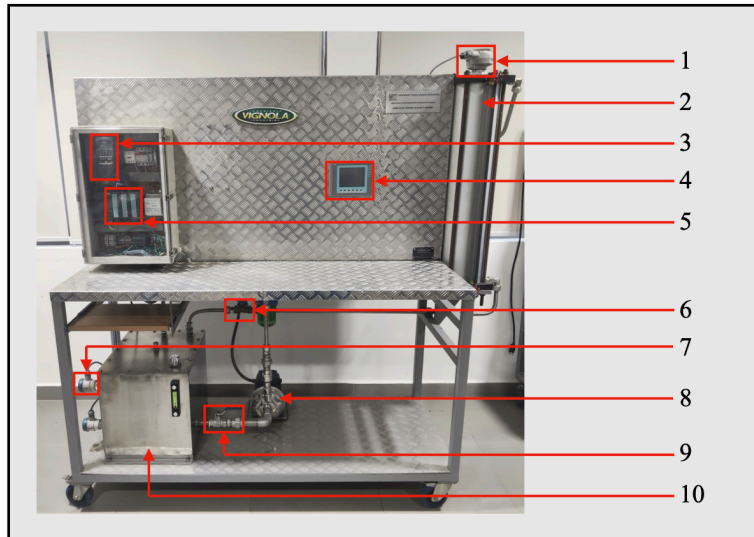
1. **Verificación de la Válvula de Bola Manual.** Antes de cualquier operación, se debe abrir la válvula de bola manual. Esta válvula permite el paso del agua desde el estanque hacia la bomba.
2. **Evitar Operación en Seco.** La electrobomba PEDROLLO 1 HP debe tener agua en su línea para un buen funcionamiento. Si la bomba trabaja sin fluido, puede sufrir averías y dañar el motor.
3. **Revisión de Alarmas (VDF).** En caso de un problema, el panel del Variador de Frecuencia (VDF) Micromaster 440 mostrará un código de alarma en su display. Este código debe ser verificado en el manual específico de ese equipo para su diagnóstico.
4. **Limpieza de Filtros.** Cerrar la válvula de bola manual, desmontar el vaso del filtro y lavar la malla con agua a presión para eliminar sólidos suspendidos, ya que un filtro obstruido genera cavitación en la bomba, lo que se traduce en vibraciones mecánicas.

El diseño de los módulos de control es de bajo mantenimiento, por lo que algunos componentes, como el sensor de nivel capacitivo SIEMENS, se utilizan precisamente para evitar elementos mecánicos que requerirían mayor mantención.

### Identificación de Componentes

**Figura 2.1**

*Identificación de los elementos*



**Tabla 2.1**

*Identificación de componentes*

Identificación	Componente
1	Transmisor de Nivel Ultrasónico
2	Estanque 2
3	VDF
4	HMI
5	PLC
6	Válvula Solenoide On-Off
7	Sensor de Nivel Capacitivo
8	Electrobomba 1HP
9	Válvula de Bola Manual
10	Estanque 1

### **Puesta en Marcha**

Para la puesta en marcha y operación del banco didáctico Nivel-Presión, es necesario seguir los siguientes pasos:

1. **Conexión eléctrica.** Enchufar el cable de alimentación domiciliario a la corriente eléctrica.
2. **Verificación Inicial.** Compruebe que todos los dispositivos del sistema se encuentren desactivados o en su estado inicial.
3. **Inicio de Operación.** Una vez conectado el cable de alimentación, la interfaz de operador (HMI) se encenderá automáticamente por lo que el Módulo quedará listo para comenzar a operar.

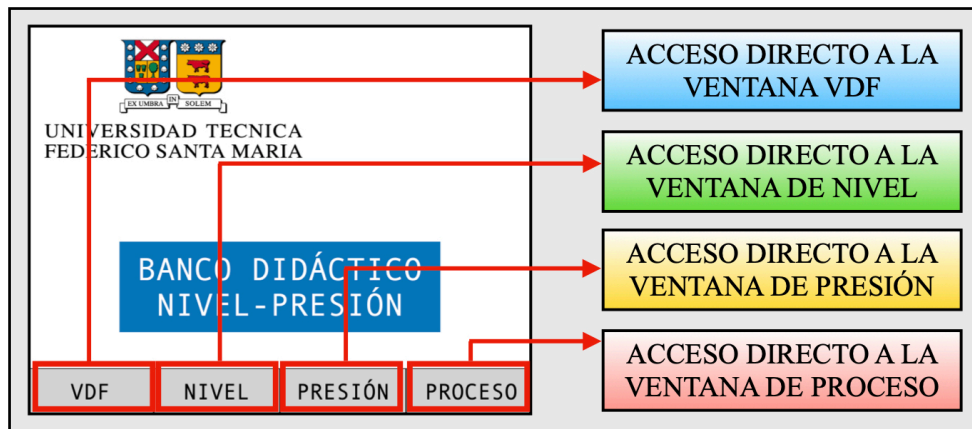
Para evitar daños en la bomba, se debe asegurar de abrir la válvula de bola manual que permite el paso del agua desde el estanque hacia la bomba antes de comenzar.

### Modo de Operación

**Pantalla de Inicio.** Esta pantalla (Figura 2.2) del módulo de control de Nivel y Presión permite visualizar los 4 datos más importantes del sistema (VDF, nivel, presión y proceso).

**Figura 2.2**

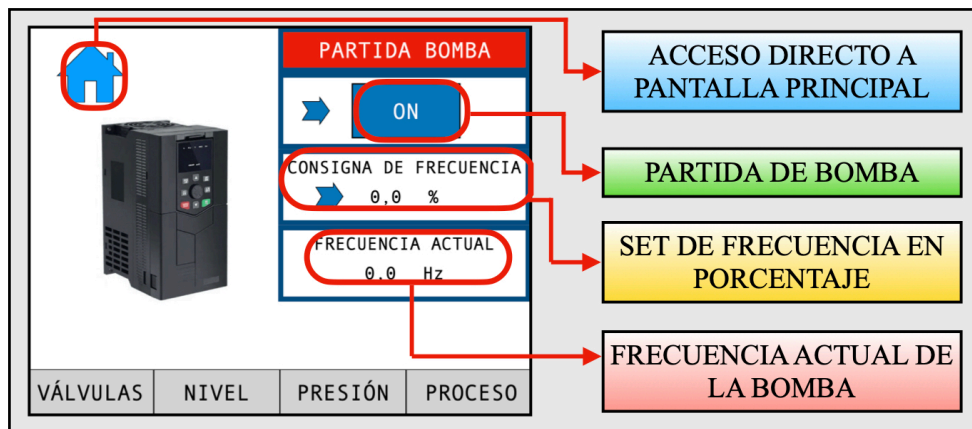
*Pantalla de inicio*



**VDF.** Ventana donde se visualiza el estado del Variador de Frecuencia en relación a su velocidad Hz, desde aquí se puede dar partida al motor y asignar un valor de consigna en porcentaje como se muestra en la Figura 2.3.

**Figura 2.3**

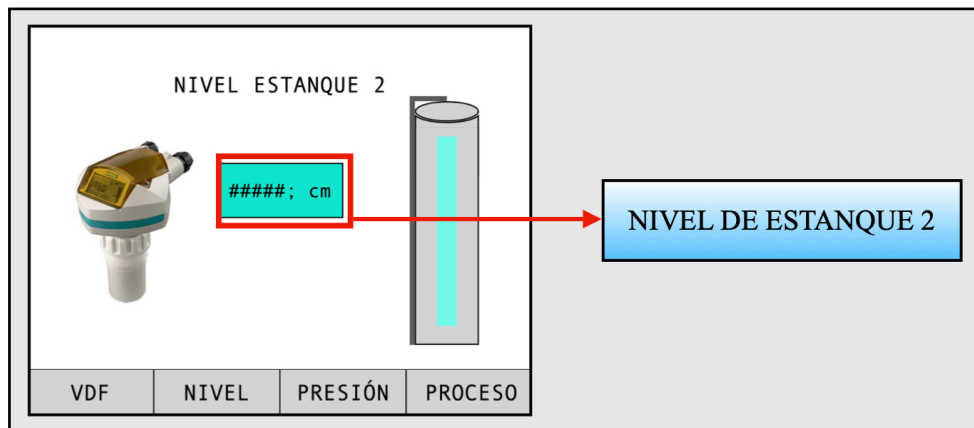
*Ventana VDF*



**Nivel.** En la Figura 2.4, se visualiza el nivel de llenado en el estanque 2 donde se encuentra el Transmisor de nivel Ultrasónico y su unidad se visualiza en centímetros.

**Figura 2.4**

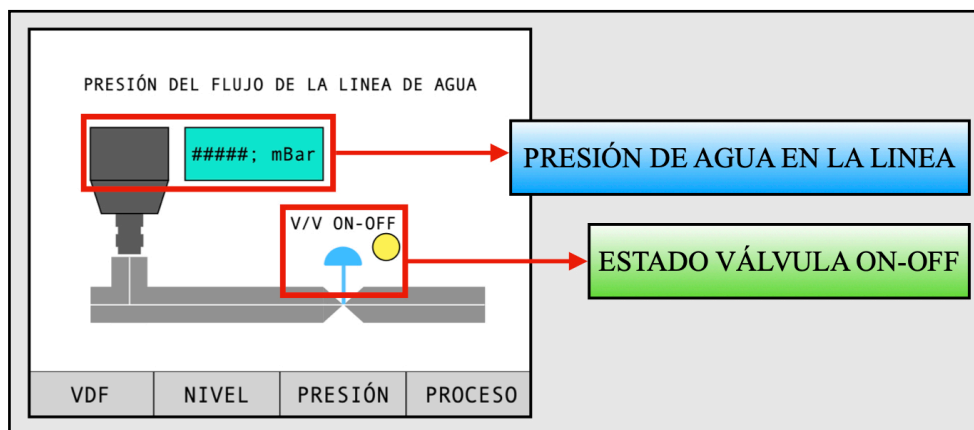
*Ventana de nivel*



**Presión.** En la Figura 2.5, se visualiza la presión de la línea, donde está definida en milibares. Además se puede visualizar el estado de la válvula On-Off.

**Figura 2.5**

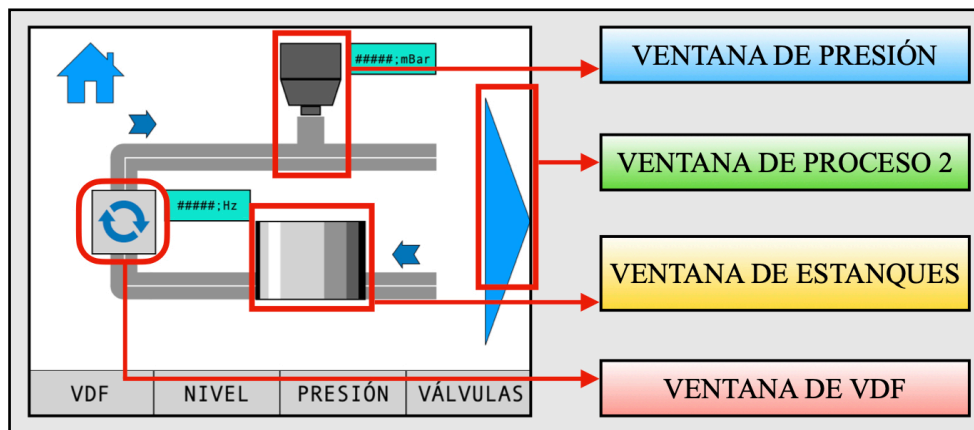
*Ventana de presión*



**Proceso.** En esta ventana (Figura 2.6 y Figura 2.7) se puede visualizar el estado del proceso completo, pasando por cada componente y teniendo el resumen del estado de cada instrumento de campo. Esta ventana está ligada a una continuación del proceso donde se encuentra el estado de las válvulas y el estanque cilíndrico. Cada imagen del proceso permite un acceso directo a la ventana del componente.

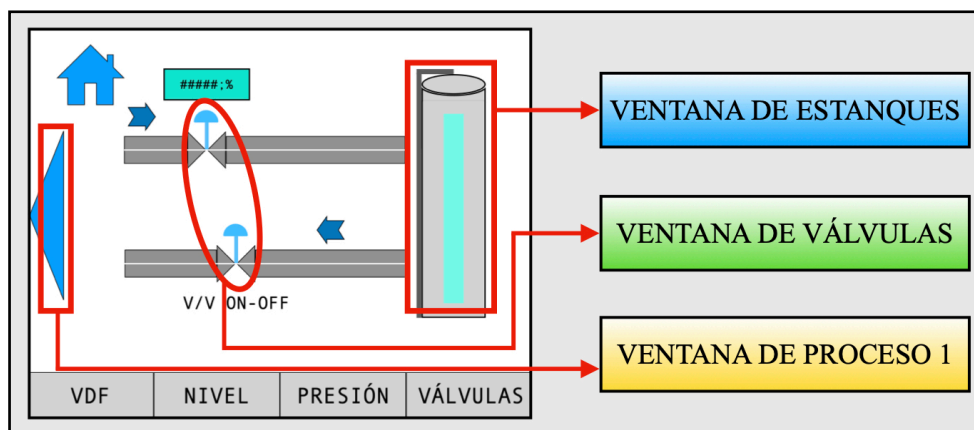
**Figura 2.6**

*Ventana de proceso 1*



**Figura 2.7**

*Ventana de proceso 2*



## Ejercicio Propuesto N°1

El Ejercicio Propuesto N°1 se establece como una actividad introductoria esencial, diseñada específicamente para que el estudiante se familiarice con la interfaz HMI, la navegación por las ventanas de control y la respuesta dinámica del Módulo de Control de Nivel y Presión antes de proceder con experiencias experimentales de mayor complejidad.

### Módulo de Control de Nivel y Presión

1. **Configurar Frecuencia.** Ingresar a la ventana VDF en la pantalla HMI e ingrese un valor de consigna (Set-Point) del 50%.
2. **Activar la Bomba.**
  - a. Verificar que el botón de Partida de Bomba esté en estado ON.
  - b. Presionar hasta que su estado cambie a OFF. Esto energizará la bomba.
  - c. Confirmar que la "Frecuencia Actual" de la bomba indique 25 Hz (correspondiente al 50% de la consigna).
3. **Monitorear Presión.** Ingresar a la ventana de Presión para visualizar la presión del agua en la línea, medida por el Transmisor de Presión.
4. **Iniciar Llenado (Estanque 2).**
  - a. Ingresar a la ventana de Válvulas.
  - b. Indicar en la válvula proporcional un valor Modular del 50% para permitir el paso del líquido al estanque 2.
  - c. Se puede monitorear el llenado en la ventana Nivel.

**5. Activar Trasvasije.**

a. Cuando el nivel del estanque 2 alcance los 45 cm, activar el proceso de trasvasije.

b. Para ello, ingresar a la ventana Válvulas y active la válvula ON-OFF.

**6. Acelerar Trasvasije.** Para facilitar el vaciado del estanque 2, reducir el flujo de entrada. Repetir el paso 5, pero ajustar la apertura de la válvula proporcional al 20%.

**7. Verificar Llenado (Estanque 1).** El llenado del estanque 1 se puede confirmar en la ventana Proceso, visualizando la activación del sensor de nivel capacitivo.

Este procedimiento asegura que el operador comprenda la interacción entre las variables de control (frecuencia, apertura de válvulas) y las variables físicas (presión, nivel) en un entorno controlado y seguro.

## Ejercicio Propuesto 1.2

El siguiente ejercicio se propone para realizarlo específicamente en conjunto con el Modulo de Control de Nivel y Presión; Y se basa en la relación entre Frecuencia de Bombeo y Caudal. La rubrica que se propone para entregarle al estudiante se puede ver en el Apéndice D: Ejemplo de Rúbrica MCNP.

### Objetivos de la actividad

- Determinar experimentalmente la relación entre el porcentaje de consigna del Variador de Frecuencia (VDF), que controla la velocidad de la bomba, y el tiempo de llenado del Estanque 2 (elevado).
- Calcular el caudal volumétrico promedio ( $Q$ ) para diferentes ajustes del VDF y correlacionarlo con la velocidad de la bomba.

$$Q_{prom} = \frac{\Delta Volumen}{\Delta Tiempo} = \frac{V_{estanque\ 2\ (Total)}}{\Delta t_{llenado}}$$

### Montaje y Procedimiento

Se requiere un dato conocido: el volumen total del Estanque 2, desde el nivel cero hasta el nivel máximo del sensor.

1. **Ajuste Inicial:** Asegurar que el Estanque 2 esté completamente vacío antes de cada prueba. Abrir completamente las válvulas de paso para la tubería de llenado.
2. **Configuración del VDF:** Realizar las pruebas para cada porcentaje de consigna del VDF especificado en la Tabla 3.1 (20%, 50%, 75%, y 100%).

### Pasos para cada Consigna del VDF

1. Fijar el VDF al porcentaje de consigna deseado (ej. 20%).
2. Asegurarse de que el Estanque 2 (elevado) esté en el nivel cero.
3. Iniciar un cronómetro simultáneamente con el encendido de la bomba.
4. Observar el sensor de nivel.
5. Detener el cronómetro y la bomba en el momento exacto en que el sensor marca el Nivel Máximo (o el nivel de 50 cm, si es el límite del sensor).
6. Registrar el Tiempo de Llenado ( $\Delta t$ ) en la tabla.
7. Vaciar el Estanque 2 por completo antes de pasar a la siguiente prueba.
8. Repetir el proceso para 50%, 75% y 100% de consigna del VDF.

**Tabla 3.1**

*Datos y cálculos requeridos por el estudiante para el MCNP*

Prueba	Consigna VDF [%]	Tiempo de Llenado ( $\Delta t$ ) [s]	Caudal Promedio ( $Q_{prom}$ ) [L/s]
1	20%	X	X
2	50%	X	X
3	75%	X	X
4	100%	X	X

### Gráfico Requerido

El estudiante debe graficar los resultados, colocando el Caudal Promedio ( $Q_{prom}$ ) en el eje Y y el Porcentaje de Consigna del VDF en el eje X.

### **Preguntas de Análisis**

1. ¿Es la relación entre el porcentaje de consigna del VDF y el caudal volumétrico lineal o no lineal? Explique por qué.
2. Si la consigna se duplica (de 20% a 40% - si se realiza una prueba adicional), ¿el tiempo de llenado se reduce a la mitad? Justifique su respuesta basándose en los principios de las leyes de afinidad de las bombas.
3. ¿Cómo afectaría la presión en la línea (si la pudieras medir) al tiempo de llenado? (A mayor presión, ¿mayor o menor tiempo de llenado?).

### **Resultados Esperados**

La inclusión de una sección de "Preguntas de Análisis" al final de los protocolos experimentales tiene como objetivo fundamental transformar la actividad práctica de una mera ejecución operativa a una experiencia de aprendizaje reflexivo. Mientras que los pasos de puesta en marcha entrenan la competencia procedimental (saber hacer), estas interrogantes buscan consolidar la competencia cognitiva (saber por qué), vinculando directamente el comportamiento del banco de pruebas con los principios teóricos de la mecánica de fluidos.

Esto demuestra que no solo se enseña a "apretar botones" en una pantalla HMI, sino a razonar como ingeniero.

## Ejercicio Propuesto N°2

El Ejercicio Propuesto N°2 cumple la función de inducción operativa para el Módulo de Control de Temperatura y Caudal. Su objetivo es que el estudiante reconozca y valide el funcionamiento de la instrumentación especializada de este banco, específicamente el flujometro magnético y los sensores de temperatura, antes de abordar ensayos de transferencia de calor más avanzados.

### Módulo de Control de Temperatura y Caudal

1. **Verificar Estado Inicial.** Asegurar de que todos los dispositivos del sistema se encuentren desactivados o en su estado inicial antes de comenzar la actividad.
2. **Configurar Frecuencia de la Bomba.** Ingresar a la ventana VDF en la pantalla HMI e introducir un valor de consigna (Set-Point) del 50%.
3. **Activar la Bomba.**
  - a. Verificar que el Botón de Partida de Bomba esté en estado ON.
  - b. Presionar hasta que cambie a OFF; esto indica que la bomba ha sido energizada.
  - c. Confirmar que la “Frecuencia Actual” de la bomba sea 25 Hz, correspondiente al 50% de la frecuencia máxima.
4. **Habilitar Flujo.** Para permitir el flujo de agua a través del Flujometro Magnético:
  - a. Ingresar a la ventana de Válvulas
  - b. Ajustar la válvula proporcional al 50% de apertura (valor Modular).
5. **Verificar Caudal.** Ingresar a la ventana Caudal y confirmar que el flujometro registra el flujo de agua correctamente.

6. **Monitorear Nivel del Estanque.** Para visualizar el nivel del estanque cilíndrico:
  - a. Ingresar a la ventana Proceso.
  - b. Observar el indicador gráfico correspondiente al nivel del estanque.
7. **Activar Trasvasije.** Cuando el nivel del estanque cilíndrico supere el 50%:
  - a. Ingresar nuevamente a la ventana Válvulas.
  - b. Activar la válvula ON-OFF para iniciar el trasvasije hacia el estanque inferior.
8. **Confirmar Descenso de Nivel.** Cuando el nivel del estanque cilíndrico comience a descender, se confirma que el trasvasije hacia el estanque inferior se está realizando correctamente.
9. **Control de Temperatura.** Para complementar la actividad:
  - a. Activar el calefactor para aumentar la temperatura del líquido.
  - b. Activar el ventilador para disminuirla si es necesario.
  - c. Monitorear la medición en la ventana Temperatura, utilizando la lectura del sensor PT-100.
10. **Finalización y Registro:**
  - a. Registre el volumen total trasvasado considerando la potencia del motor a 25 Hz.
  - b. Anotar también el caudal leído en el flujometro en función del tiempo, a modo de comprobación del proceso.

## Ejercicio Propuesto 2.2

Experiencia Práctica: Transferencia de Calor y Eficiencia del Intercambiador.

### Objetivos de la actividad

- Determinar experimentalmente cómo el caudal volumétrico ( $\dot{V}$ ) de un fluido (por ejemplo, agua fría) afecta la eficiencia de un proceso de transferencia de calor.
- Medir la diferencia de temperatura ( $\Delta T$ ) lograda en el fluido caliente para diferentes ajustes de caudal.

### Fundamento Teórico

En un sistema de transferencia de calor, como un intercambiador (aunque sea simple, como un tramo de tubería calentado), la cantidad de calor transferido por unidad de tiempo ( $\dot{Q}$ ) está relacionada con el caudal másico ( $\dot{m}$ ), el calor específico ( $c_p$ ) y el cambio de temperatura ( $\Delta T$ ):

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$$

Como el caudal másico  $\dot{m}$  está directamente relacionado con el caudal volumétrico  $\dot{V}$  ( $\dot{m} \cdot c_p \cdot \dot{V}$ ), si se mantiene la potencia de calentamiento (entrada de calor) constante, un aumento en el caudal resulta en una disminución en el cambio de temperatura ( $\Delta T$ ) del fluido.

### Datos Conocidos Requeridos

- Densidad del agua ( $\rho \approx 1000 \text{ kg/m}^3$ ).
- Calor específico del agua ( $c_p \approx 4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ ).
- Potencia de calentamiento ( $\dot{Q}_{\text{in}}$ ) del elemento calefactor (debe ser un valor fijo y conocido).

### Montaje y Procedimiento

- Fijar la potencia del elemento calefactor a un valor constante y moderado (Ej. 30°C).
- Dejar que el sistema se estabilice hasta que la temperatura del agua en el punto de entrada (o del fluido caliente) sea estable.
- Identificar el mecanismo para controlar el caudal (VDF)
- Seleccionar al menos tres niveles de caudal distintos (Bajo, Medio, Alto) que el sistema pueda mantener de forma estable.

**Tabla 3.2**

*Datos y cálculos requeridos por el estudiante para el MCTC*

Prueba	Nivel de Caudal	Caudal Volumétrico [L/min]	$T_{\text{entrada}}$ [C°]	$T_{\text{salida}}$ [C°]	$\Delta T$ [C°] = $T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}$
1	30%	X	X	X	X
2	50%	X	X	X	X
3	100%	X	X	X	X

### Preguntas de Análisis

1. ¿Cómo se comporta el cambio de temperatura ( $\Delta T$ ) a medida que el caudal volumétrico aumenta?
2. Si la potencia de calentamiento ( $\dot{Q}_{\text{in}}$ ) fue constante, ¿por qué la  $\dot{Q}$  efectiva calculada es diferente o menor a  $\dot{Q}_{\text{in}}$ ?
3. ¿Cuál de los caudales probados se podría considerar "más eficiente" si el objetivo fuera calentar el agua a la mayor temperatura posible?

### **Conclusión de la Propuesta**

La implementación de estos ejercicios en los módulos de Nivel y Presión y de Temperatura y Caudal permite una transición efectiva entre la teoría y la práctica de ingeniería. A través de las guías desarrolladas, se logran los siguientes resultados.

- **Dominio Procedimental y de Interfaz:** El estudiante se familiariza con la interfaz HMI y la navegación por ventanas de control , logrando una correcta puesta en marcha de dispositivos como bombas y variadores de frecuencia.
- **Validación de Instrumentación Industrial:** Se asegura el reconocimiento y validación operativa de sensores críticos, tales como transmisores de presión, sensores de nivel capacitivos, flujómetros magnéticos y sensores de temperatura PT-100.
- **Análisis Dinámico y Cuantitativo:** Actividades como el cálculo del caudal volumétrico promedio ( $Q_{prom}$  ) y su correlación con la frecuencia de bombeo permiten al alumno entender la relación entre variables de control y variables físicas.
- **Desarrollo de Pensamiento Ingenieril:** El uso de preguntas de análisis basadas en principios técnicos, como las leyes de afinidad de las bombas, transforma la operación mecánica en un aprendizaje reflexivo.

En síntesis, esta propuesta metodológica garantiza que el operador no solo adquiera la capacidad de ejecutar procesos (saber hacer), sino también la competencia cognitiva para razonar el comportamiento de los fluidos bajo condiciones industriales controladas.

### **Capítulo 3: Validación Experimental de la Propuesta Didáctica**

### **Introducción al Capítulo 3**

Tras haber definido el contexto formativo y las características técnicas del equipamiento en el Capítulo 1, y habiendo desarrollado la propuesta metodológica de las guías didácticas y protocolos de operación en el Capítulo 2, el presente capítulo tiene como objetivo la validación experimental de dicha propuesta.

Este capítulo detalla la ejecución práctica de los ejercicios diseñados, simulando una experiencia de laboratorio real llevada a cabo bajo la guía de los protocolos propuestos. El propósito es demostrar que las pautas permiten una operación segura, eficiente y didáctica de los bancos de prueba de control de fluidos del laboratorio de Termofluidos.

El caso aplicado se divide en dos fases experimentales correspondientes a los dos módulos disponibles:

1. **Ejecución en el Módulo de Control de Nivel y Presión:** Enfocado en la hidrodinámica, el control de presión en línea y el manejo de volúmenes en los estanques.
2. **Ejecución en el Módulo de Control de Temperatura y Caudal:** Enfocado en la transferencia de calor, medición de flujo magnético y la respuesta térmica del sistema.

## **Metodología de Validación**

Para la realización de este caso aplicado, se siguieron estrictamente los pasos de "Puesta en Marcha" y los "Ejercicios Propuestos" detallados en el Capítulo 2. Se utilizaron los siguientes recursos e instrumentos identificados en la descripción técnica:

- **Equipamiento:** Banco didáctico de Nivel-Presión y Banco didáctico de Temperatura-Caudal.
- **Instrumentación de Control:** PLC Siemens S7-300 , HMI KTP600 y VDF Micromaster 440.
- **Instrumentación de Campo:** Transmisores de nivel ultrasónico y capacitivo, transmisor de presión, flujometro magnético y válvulas proporcionales Danfoss.

A continuación, se documenta el procedimiento paso a paso, integrando observaciones técnicas y el análisis de las variables obtenidas.

## Validación Ejercicio Propuesto N°1

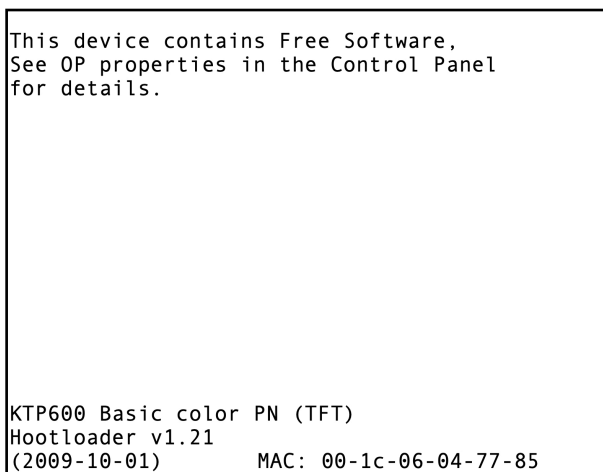
### Puesta en Marcha

Siguiendo las pautas de mantenimiento preventivo, se procedió a la inspección inicial del equipo y puesta en marcha

1. **Verificación Hidráulica:** Se confirmó visualmente que el Estanque Rectangular (Estanque 1) contuviera el nivel de agua suficiente para operar.
2. **Apertura de Válvula Manual:** Se procedió a abrir completamente la válvula de bola manual situada entre el estanque y la electrobomba Pedrollo 1 HP.
3. **Energización:** Se conectó el equipo a la red monofásica de 220VAC y se verificó el encendido del HMI.

### Figura 3.1

#### *Pantalla de carga*



*Nota.* La pantalla de carga es la primera imagen que se muestra al enchufar el módulo y dura apenas unos segundos antes de iniciar el sistema.

## Inicio de Operación

### *Fase A: Configuración de Frecuencia y Presión*

La Figura 3.2 muestra la ventana "VDF" en la pantalla HMI. Siguiendo la guía, se ingresó una consigna de frecuencia del 50%.

**Figura 3.2**

*Ingresar valor de consigna*

50				
A	1	2	3	ESC
B	4	5	6	BSP
C	7	8	9	+/-
D	E	F	0	,
←	→		←	↵

La entrada de datos se realiza mediante un teclado numérico emergente en la interfaz KTP600, diseñado para minimizar errores de digitación y asegurar que el operario ingrese valores dentro del rango de operación seguro (0-100%). Este valor porcentual es procesado por la lógica del PLC S7-300, el cual escala la señal digital para enviarla como una consigna de frecuencia al variador a través de la red PROFIBUS DP. La selección de un Set-Point inicial del 50% permite una observación clara de la respuesta del sistema sin exigir el máximo rendimiento de los activos desde el inicio.

Al activar el botón "ON" (Figura 3.3), el Variador de Frecuencia moduló la velocidad del motor hasta alcanzar los 25 Hz estables.

**Figura 3.3**

*Encender electrobomba*

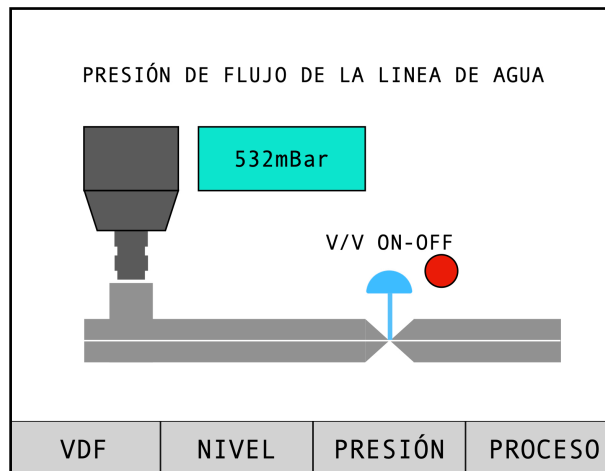


Se observó que la electrobomba alcanza la frecuencia de 25 Hz de manera progresiva, gracias a la rampa de aceleración configurada en el VDF Micromaster 440. Esta respuesta es fundamental para evitar golpes de ariete en la tubería y proteger los sellos mecánicos de la bomba Pedrollo. La confirmación visual de la "Frecuencia Actual" en la pantalla HMI valida la integridad de la comunicación industrial y asegura que el motor está operando sincronizado con la lógica de control.

Inmediatamente, se navegó a la ventana "Presión" (Figura 3.4). El transmisor de presión indicó un aumento progresivo en la línea de descarga, estabilizándose en un valor de operación medido en mBar.

**Figura 3.4**

*Visualización de presión*



*Nota.* Se visualiza la presión de la línea en milibares y la v/v ON-OFF apagada

La estabilización de la presión en 532 mBar bajo una frecuencia de 25 Hz permite verificar experimentalmente la curva de rendimiento de la bomba a media carga. Esta medición es un indicador crítico de salud del activo; una presión constante y sin oscilaciones confirma la ausencia de aire en la línea de succión y garantiza que la válvula de bola manual se encuentra en la posición de apertura correcta, evitando riesgos de cavitación o trabajo en seco que podrían dañar el motor.

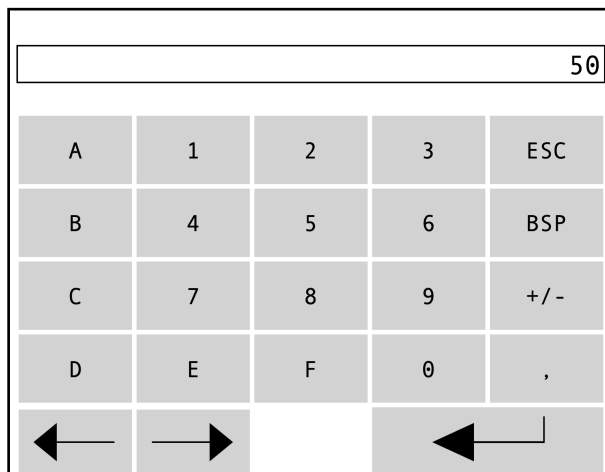
**Fase B: Llenado Controlado del Estanque 2**

Para iniciar el trasvasije de fluido hacia el estanque cilíndrico (Estanque 2), se procedió a la apertura de la válvula solenoide proporcional.

En la ventana “Válvulas” (Figura 3.5 y Figura 3.6), se ajustó la apertura al 50%.

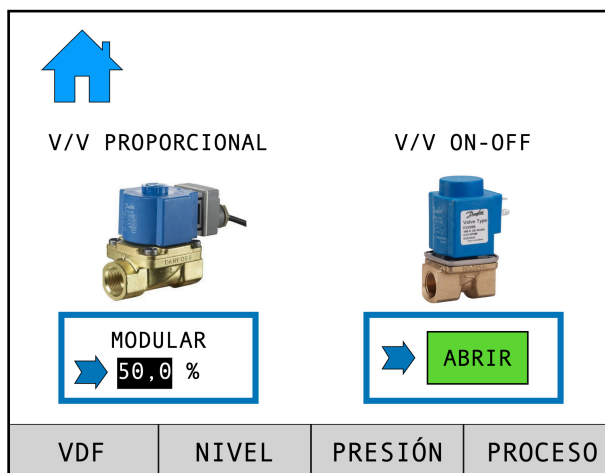
**Figura 3.5**

*Modular válvula*



**Figura 3.6**

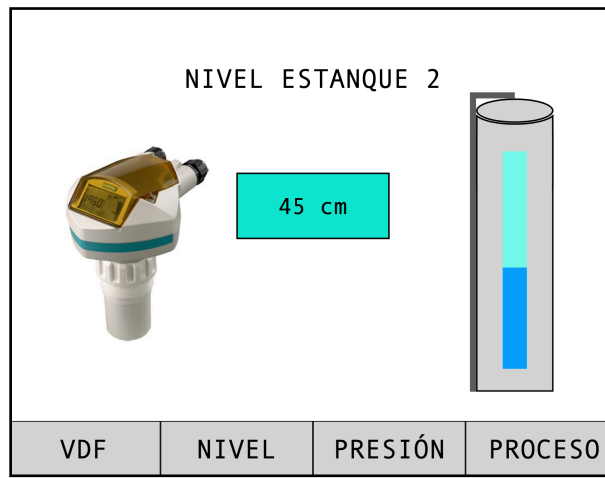
*Visualizar estado de la v/v proporcional*



La Figura 3.7 muestra como el sensor de nivel ultrasónico Siemens comenzó a registrar el incremento de nivel en el Estanque 2 en centímetros. La respuesta del sistema permitió observar el comportamiento temporal de la variable nivel.

**Figura 3.7**

*Visualización de nivel*



El uso del transmisor de nivel ultrasónico permite una lectura continua y sin contacto, lo que facilita al estudiante el cálculo de la tasa de llenado  $\frac{dh}{dt}$  en tiempo real desde la HMI. El valor objetivo de 45 cm se estableció para permitir un análisis hidrodinámico suficiente, manteniendo un margen de seguridad adecuado antes de que el fluido alcance el borde superior del estanque cilíndrico o active las alarmas de nivel alto (HI) de los sensores capacitivos.

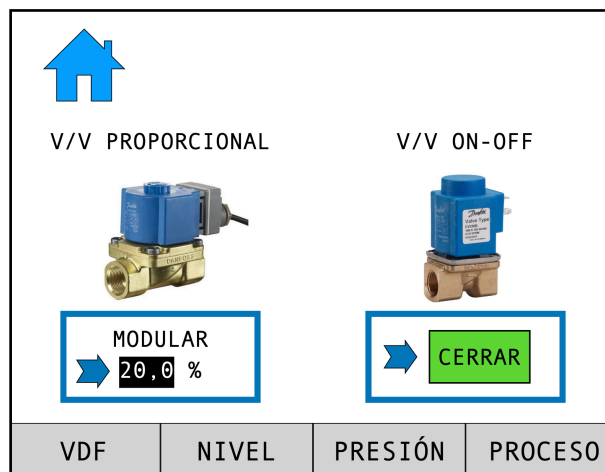
### ***Fase C: Activación del Trasvasije y Retorno***

Al alcanzar el nivel objetivo de 45 cm indicado en la guía, se procedió a cerrar el ciclo hidráulico.

1. Se activó la Válvula Solenoide ON-OFF desde el HMI. Esto permitió que el agua acumulada en el Estanque 2 retornara por gravedad al Estanque 1.
2. Para demostrar el control de flujo de entrada, se redujo la válvula proporcional al 20%.

**Figura 3.8**

*Configuración v/v ON-OFF y v/v proporcional*

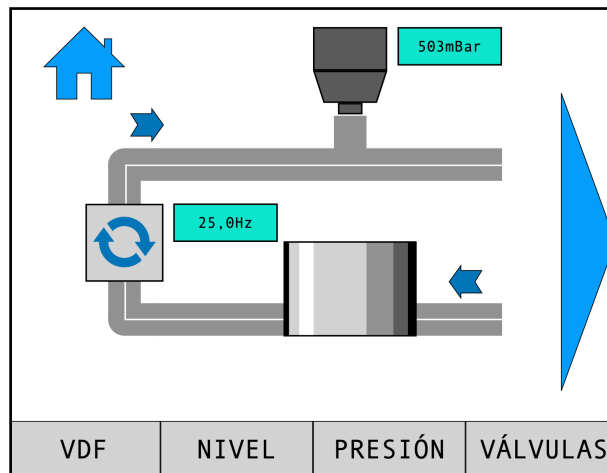


Al reducir la apertura de la válvula proporcional al 20% mientras el trasvasije está activo, se crea un desbalance controlado entre el caudal de entrada y el de salida. Este procedimiento es clave para que el estudiante comprenda el principio de conservación de la masa en sistemas de estanques comunicados. La visualización de la válvula ON-OFF en estado "ABRIR" (o CERRAR según el ciclo) confirma que el actuador Danfoss ha respondido a la señal discreta del PLC, permitiendo que el retorno por gravedad hacia el estanque principal se realice de forma segura.

Análisis: En la ventana de Proceso (Figura 3.9) y luego ingresando a la ventana de Estanques (Figura 3.10), se observó que la velocidad de subida del nivel disminuyó, validando el control proporcional del flujo.

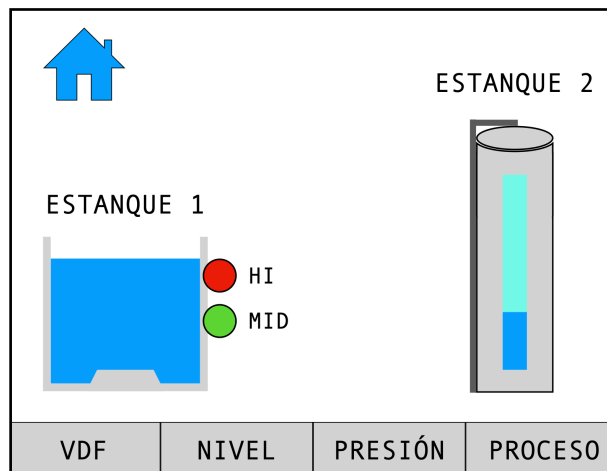
**Figura 3.9**

*Monitorear proceso*



**Figura 3.10**

*Monitorear estanques*



## Validación Ejercicio Propuesto 1.2

El siguiente ejercicio se realizará siguiendo la estructura del ejercicio propuesto 1.2 del capítulo 2 y la rúbrica del apéndice D.

### Figura 3.11

#### Ejemplo de rúbrica

Actividad Práctica N°1		
Asignatura	Carrera	Departamento
MECÁNICA DE FLUIDOS	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	MECÁNICA
Docente	Nombre Correo	
Nombre de Actividad	Relación entre Frecuencia de Bombeo y Caudal	
Objetivos de la Actividad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar experimentalmente la relación entre el porcentaje de consigna del VDF y el tiempo de llenado.</li> <li>Calcular el caudal volumétrico promedio y correlacionarlo con la velocidad de la bomba.</li> </ul>	
Instrucciones Generales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Disponer y usar EPP y ropa de trabajo</li> <li>Cada estudiante se debe ubicar en sector que el docente indicará.</li> <li>Observar cada elemento y/o equipo usado. Hacer los registros de información</li> </ul>	
Actividad		
<ol style="list-style-type: none"> <li>Ingresar un valor de consigna del 50%.</li> <li>Activar la bomba pulsando el botón de partida para que su estado cambie a OFF.</li> <li>Revisar que la frecuencia actual de la bomba indique 25 Hz.</li> <li>Modular válvula proporcional al 50%.</li> <li>Iniciar un cronómetro simultáneamente con el proceso de llenado.</li> <li>Detener el cronómetro y la bomba en el momento exacto en que el sensor marca 45 cm.</li> <li>Registrar tiempo de llenado (<math>\Delta t</math>) en la tabla.</li> <li>Vaciar el Estanque 2 por completo antes de pasar a la siguiente prueba.</li> <li>Repetir el proceso para 30%, 75% y 100% de consigna del VDF.</li> </ol>		

## Metodología y Procedimiento

1. Se definieron 4 niveles de consigna en el VDF: 30%, 50%, 75% y 100%.
2. Se ajustó la válvula proporcional al 20% de apertura según instrucción.
3. Para cada prueba, se cronometró el tiempo necesario para alcanzar un nivel de 45 cm en el estanque 2.
4. Se registró el tiempo ( $\Delta t$ ) y se procedió al vaciado total antes de la siguiente medición.

## Datos Experimentales y Resultados

Para los cálculos, se estimó un área de base del estanque de 2000 cm<sup>2</sup> (50 cm x 40 cm), resultando en un volumen de control de 90 Litros al llegar a la marca de 45 cm.

**Tabla 3.1**

*Registro de tiempos y caudales*

Prueba	Consigna VDF	Tiempo de Llenado ( $\Delta t$ )	Caudal Promedio ( $Q_{prom}$ )
1	30%	300 s	0.30 L/s
2	50%	120 s	0.75 L/s
3	75%	80 s	1.125 L/s
4	100%	60 s	1.50 L/s

*Nota.* Los tiempos se registraron con un cronómetro al iniciar el proceso de llenado en el estanque 2

### ***Fórmulas Aplicadas***

Volumen de Control:

$$\Delta V = Area \times Altura = 2000 \text{ cm}^2 \times 45 \text{ cm} = 90,000 \text{ cm}^3 = 90 \text{ L}$$

Caudal Promedio:

$$Q_{prom} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

## Análisis de Resultados

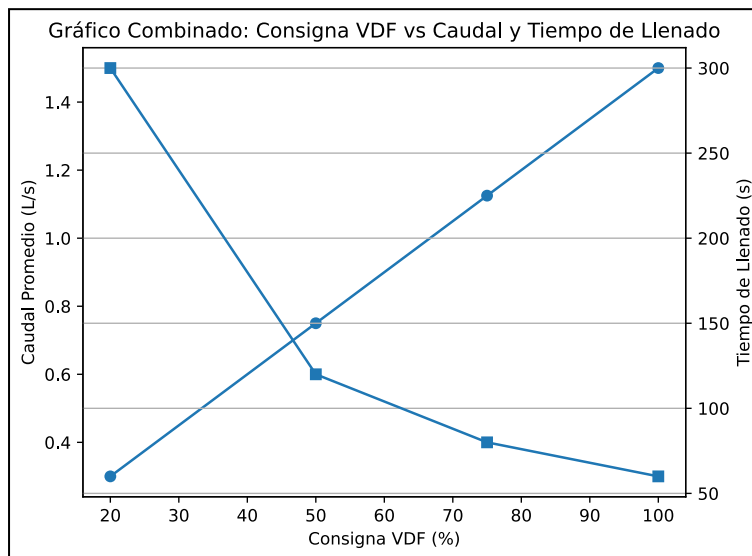
Se observa una relación lineal entre la consigna del VDF y el caudal obtenido. Esto se ajusta a las Leyes de Afinidad de Bombas, las cuales establecen que:

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Donde el caudal es proporcional a la velocidad de giro ( $n$ ). En nuestro caso, al duplicar la consigna de 30% a 50%, el caudal aumenta proporcionalmente, lo que reduce el tiempo de llenado.

**Figura 3.12**

*Gráfico combinado*



*Nota.* Al aumentar la frecuencia se incrementa el caudal y se reduce el tiempo de llenado.

## Conclusiones Finales

La presente investigación permitió el diseño y validación de una propuesta metodológica estandarizada para la puesta en marcha y operación de los bancos de prueba de control de fluidos en el Laboratorio de Termofluidos. Tras el desarrollo del trabajo, se han obtenido las siguientes conclusiones:

### 1. Cumplimiento de Objetivos y Pertinencia Académica

- Se logró diseñar un conjunto de guías didácticas y protocolos de seguridad que transforman el uso de los módulos MCNP y MCTC en una experiencia de aprendizaje estructurada y segura.
- La propuesta vincula efectivamente el equipamiento industrial con las competencias de las 6 carreras del Departamento de Mecánica, asegurando que el uso de los bancos no sea solo operacional, sino que fortalezca el perfil de egreso en áreas de diagnóstico y monitoreo.
- Se integraron exitosamente conceptos teóricos de termodinámica y mecánica de fluidos con la práctica tecnológica de estándar industrial, utilizando equipos como PLC S7-300, HMI KTP600 y variadores de frecuencia.

### 2. Validación Experimental y Resultados Técnicos

- La ejecución de las experiencias prácticas demostró que las guías permiten una transición efectiva entre la teoría y la práctica.
- En la validación del Ejercicio Propuesto 1.2, se confirmó experimentalmente la relación lineal entre la frecuencia de bombeo y el caudal, cumpliendo con las Leyes de Afinidad de Bombas.

- Se verificó que el uso de Variadores de Frecuencia (VDF) para el control de procesos es superior a métodos tradicionales de estrangulamiento, proporcionando beneficios críticos para el mantenimiento como el ahorro energético y la reducción del desgaste mecánico en sellos y rodamientos.

### 3. Impacto en la Formación Profesional

- La implementación de esta metodología fomenta la autonomía estudiantil y la rigurosidad técnica necesaria en el campo laboral.
- El estudiante no solo aprende a operar interfaces HMI, sino que desarrolla la capacidad de realizar un análisis dinámico y cuantitativo de variables físicas como presión, temperatura y nivel.
- Se establecieron pautas de mantenimiento preventivo y diagnóstico temprano (monitoreo de condición) que son esenciales para preservar la vida útil de los activos del laboratorio.

### **Síntesis Final**

En conclusión, este trabajo proporciona una herramienta pedagógica integral que optimiza el proceso de enseñanza-aprendizaje en el Departamento de Mecánica. La propuesta garantiza que los futuros egresados posean la experiencia práctica requerida para el montaje, operación y mantenimiento de sistemas industriales complejos, consolidando el vínculo entre la Universidad Técnica Federico Santa María y las exigencias actuales de la industria.

## Recomendaciones y Trabajos Futuros

**Implementación Académica Formal:** Se recomienda integrar de manera permanente las guías diseñadas en los programas de asignatura del Departamento de Mecánica, específicamente en cátedras como "Mecánica de Fluidos", "Instrumentación y Control" y "Fundamento de Automatismos y Control". Esto permitiría evaluar el impacto pedagógico a largo plazo en el rendimiento académico de los estudiantes.

**Desarrollo de Control en Lazo Cerrado (PID):** Dado que el banco cuenta con un PLC Siemens S7-300 y variadores de frecuencia, una evolución natural de este trabajo sería el diseño de guías para la configuración de controladores PID. Esto permitiría a los alumnos practicar la sintonización de variables para mantener niveles o presiones constantes de forma automática ante perturbaciones en el sistema.

**Monitoreo Remoto y Conectividad:** Aprovechando las capacidades de comunicación de la red PROFIBUS y la interfaz HMI, se propone como trabajo futuro la implementación de un sistema de monitoreo remoto a través de un servidor web o protocolos industriales inalámbricos. Esto facilitaría la visualización de datos en tiempo real desde fuera del laboratorio, alineándose con las tendencias de Industria 4.0.

**Plan de Mantenimiento Preventivo Especializado:** Basándose en los componentes críticos identificados, como la electrobomba Pedrollo y el radiador hidráulico, se sugiere desarrollar un plan de mantenimiento preventivo detallado que incluya análisis de vibraciones o termografía, permitiendo a los estudiantes de la carrera de Mantenimiento Industrial aplicar técnicas de diagnóstico predictivo sobre activos reales.

**Escalamiento de la Metodología:** La estructura de guías didácticas validada en esta tesis puede ser replicada para otros equipos existentes en el Laboratorio de Termofluidos o en otras sedes de la universidad. Esto permitiría estandarizar la formación práctica y asegurar que todo el equipamiento didáctico cuente con protocolos de operación seguros y rigurosos.

**Integración de Simuladores Digitales:** Se propone desarrollar "gemelos digitales" de los módulos MCNP y MCTC. Esto permitiría a los estudiantes realizar pruebas virtuales previas a la operación física, reduciendo riesgos de daños por errores de configuración y optimizando el tiempo de uso presencial en el laboratorio.

*Adicionalmente implementar:*

- *medidor de potencia eléctrica*
- *Un aislador térmico para las cañerías y no perder calor*

*Todo esto para poder medir de mejor manera la eficiencia global ( $T^{\circ}1 - T^{\circ}2$ ) del Módulo de Control de Temperatura en Caudal.*

## Referencias

Departamento de Ingeniería Mecánica USM. (s.f.). *Carreras*. Universidad Técnica Federico

Santa María. Recuperado el 30 de noviembre de 2025, de

<https://mecanica.jmc.usm.cl/carreras/>.

Universidad Técnica Federico Santa María. (2017, abril 20). *Programas académicos*.

[https://siga.usm.cl/prog\\_oai/oai\\_academia.jsp](https://siga.usm.cl/prog_oai/oai_academia.jsp).

Universidad Técnica Federico Santa María. (s.f.). *Manual de operación: Banco didáctico*

“Nivel–Presión” [Manual institucional, Sede José Miguel Carrera].

Google. (2025). *Gemini*. (Versión del 13 de noviembre de 2025) [Modelo de lenguaje de gran

tamaño]. <https://gemini.google.com/>.

Edibon. (s.f.). *Equipamiento técnico para formación e investigación*.

<https://www.edibon.com/es/>.

## Apéndice A: Programas de Asignatura

Las tablas A1 a A8 han sido obtenidas del repositorio institucional de la Universidad Técnica Federico Santa María (Siga USM) disponible en [https://siga.usm.cl/prog\\_oai/oai\\_academia.jsp](https://siga.usm.cl/prog_oai/oai_academia.jsp).

### Tabla A1

#### *Termodinámica y Transferencia de Calor*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura el alumno comprenderá los procesos termodinámicos y el proceso de transferencia de calor aplicado a maquinaria industrial, presente en procesos productivos. Además, podrá verificar el estado de operación de los equipos.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE2.1.1. Diagnosticar estados de equipo mediante parámetros o variables de operación, proponiendo acciones de mantenimiento, según estándares de calidad, seguridad y medio ambiente.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 1,5 horas semanales

### Tabla A2

#### *Electro Oleoneumática*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura, los alumnos aprenden el funcionamiento y las características técnicas de componentes neumáticos, electroneumáticos, hidráulicos y electrohidráulicos. Además, aprenden a interpretar su simbología normalizada en planos y a realizar circuitos según los requerimientos técnicos.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE 2.1.1. Desarrollar montaje y puesta en marcha de sistemas, máquinas y equipos mecánicos, neumáticos y oleohidráulico, según especificaciones técnicas. CE 2.2.2. Analizar el funcionamiento eficiente del proceso industrial, de acuerdo a criterios operativos y funcionales de cada equipo, según características técnicas definidas. Competencias Transversales Sello USM CG2.- Aplicar las ciencias básicas necesarias para sustentar las actividades propias de la especialidad.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 3 horas semanales

**Tabla A3***Taller de Mantenimiento Industrial*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura el estudiante desarrolla las actividades propias del mantenimiento industrial, reconociendo maquinaria, herramientas y sus procesos en instrumentación y equipos industriales, para analizar el estado de componentes y mecanismos de máquinas.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE1.1.2. Elaborar presupuestos en base a planes operativos de mantenimiento, utilizando metodologías validadas, optimizando la distribución de los recursos y cumpliendo con los lineamientos establecidos por la empresa. CE2.2.1. Determinar tareas de mantenimiento y estimación de los recursos asociados, de acuerdo con resultados de diagnósticos de falla, preservando la continuidad operacional de un proceso productivo, según normativa de calidad, seguridad y medio ambiente.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 4,5 horas semanales

**Tabla A4***Taller de Mantenimiento Neumático y Oleohidráulico*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura el alumno estudiará las especificaciones técnicas de los componentes empleados en sistemas oleo hidráulicos y neumáticos, para diagnosticar fallas y así generar las acciones de mantenimiento necesarias para un buen funcionamiento de los sistemas, diagnosticando su funcionalidad y el reconocimiento de las acciones preventivas y reactivas.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE1.1.2. Elaborar presupuestos en base a planes operativos de mantenimiento, utilizando metodologías validadas, optimizando la distribución de los recursos y cumpliendo con los lineamientos establecidos por la empresa. CE2.1.2. Diagnosticar fallas potenciales de activos físicos, para la detección incipiente de éstas, mediante metodologías de inspección sintomáticas y estándares internacionales. CE2.1.3 Diagnosticar fallos funcionales totales de activos físicos, definiendo acciones de mejora, mediante técnicas de análisis de fallos y estándares internacionales.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 3 horas semanales

**Tabla A5***Fundamento de Automatismo y Control*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura se estudian los procesos de automatización y control industrial. El estudiante aprende a programar y determinar el correcto funcionamiento de un proceso controlado por PLC. Se introduce en los principios de sistemas programables y el uso de instrumentación asociada.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE 2.1.2. Operar máquinas y equipos industriales de producción, considerando estándares de calidad y seguridad. CE 2.2.2. Analizar el funcionamiento eficiente del proceso industrial, de acuerdo a criterios operativos y funcionales de cada equipo, según características técnicas definidas. CG2.- Aplicar las ciencias básicas necesarias para sustentar las actividades propias de la especialidad.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 1,5 horas semanales

**Tabla A6***Instrumentación y Control*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
En esta asignatura el estudiante aplica conceptos de control de procesos, por medio de evaluación de variables claves para diagnosticar el funcionamiento en tiempo real de distintos procesos minero-metalúrgicos. El estudiante diferencia los distintos tipos de lazo de control, con el fin de poder usarlos en procesos industriales diversos, además de interpretar planos del tipo P&ID.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE 3.1.1. Desarrollar actividades de control para el tratamiento de residuos y efluentes en yacimientos mineros. CG6. Utilizar herramientas informáticas actualizadas, para el desempeño de su quehacer profesional.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 1,5 horas semanales

**Tabla A7***Taller de Mantenimiento*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
Esta asignatura desarrolla las competencias para usar herramientas y componentes comunes en el mantenimiento industrial. También cubre la ejecución de órdenes de trabajo, incluyendo el desmontaje, inspección y reparación de máquinas y equipos industriales, con énfasis en la elaboración y aplicación de procedimientos de trabajo seguro.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
<b>Técnico Universitario en Mecánica Industrial</b>
CE 2.1.1. Desarrollar montaje y puesta en marcha de sistemas y equipos mecánicos, neumáticos y oleohidráulicos, según especificaciones técnicas.
CE 2.1.2. Ejecutar programas de mantenimiento, siguiendo procedimientos de trabajo seguro.
<b>Técnico Universitario en Mantenimiento Industrial</b>
CE1. Inspeccionar instalaciones y equipos, detectando fallas y evaluando la funcionalidad de estos a fin de establecer acciones de mantenimiento a seguir.
CE2. Realizar intervención y reparación de equipos y sistemas para restablecer la funcionalidad.
<b>Cantidad de Laboratorio / Talleres:</b> 3 horas semanales

**Tabla A8***Mecánica de Fluidos*

<b>Descripción de la Asignatura</b>
Los estudiantes aplican los conceptos teóricos de la mecánica de fluidos en la resolución de problemas básicos de ingeniería, tales como el diseño de circuitos hidráulicos, la selección de turbomáquinas, el análisis de lubricantes y el diseño de prototipos.
<b>Contribución al Perfil de Egreso</b>
CE2.1.1. Diagnosticar estados de equipo mediante parámetros o variables de operación, proponiendo acciones de mantenimiento, según estándares de calidad, seguridad y medio ambiente.
<b>Cantidad de Laboratorios / Talleres:</b> 2,25 horas semanales

## **Apéndice B: Perfiles de Egreso**

Los siguientes perfiles de egreso corresponden a las 6 carreras del departamento de mecánica y fueron obtenidos de <https://mecanica.jmc.usm.cl/carreras/>.

### **Ingeniería en Mantenimiento Industrial**

El Ingeniero en Mantenimiento Industrial con Licenciatura en Ingeniería de Mantenimiento, cuenta con las competencias necesarias para liderar, planificar, administrar y controlar el plan de mantenimiento; aplicando herramientas metodológicas, considerando indicadores claves y optimizando el proceso, de acuerdo a estándares de calidad, seguridad y medio ambiente. Este profesional posee las capacidades para diagnosticar, evaluar y mantener la funcionalidad de los activos físicos de los procesos productivos, utilizando metodologías basadas en riesgos y técnicas de inspección, pudiendo desempeñarse eficientemente en cualquier empresa o institución de servicio público o privado, en áreas del sector minero, forestal, energía, manufactura, servicios, siderúrgica y transporte, entre otros.

### **T.U. en Energías Renovables**

El Técnico Universitario puede desempeñarse en actividades de montaje, operación y mantenimiento de plantas industriales y domiciliarias de energía renovables; además cuenta con las competencias para planificar, ejecutar y monitorear cada etapa del proceso, bajo normativas de seguridad y estándares de calidad. De igual forma utiliza instrumentos, herramientas y software para el monitoreo y medición necesaria en sistemas de generación de energías renovables. Sus competencias además le permiten desarrollar emprendimientos.

**T.U. en Mecánica Industrial**

El Técnico Universitario en Mecánica Industrial posee una sólida formación tecnológica que lo faculta para incorporarse a la dinámica de la empresa y cuenta con las competencias para desempeñarse eficientemente en actividades de operación, supervisión y planificación en montajes y producción industrial, destacándose por sus competencias que le permiten aplicar tecnologías pertinentes para generar soluciones a problemas técnicos propios de su desempeño profesional. Asimismo, su quehacer, se orienta hacia las actividades de mantenimiento de máquinas y equipos según requerimientos de procesos Industriales, adaptando y desarrollando programas de mantenimiento, bajo procedimientos seguros de trabajo, considerando estándares de calidad definidos.

Su formación técnica le permite ejecutar y controlar las tareas involucradas en los procesos productivos, contribuyendo en el desarrollo de los alcances técnicos, a través de propuestas eficientes que optimicen los procesos involucrados, actuando con rigurosidad, responsabilidad, ética e integrando equipos multidisciplinarios.

**T.U. en Mantenimiento Industrial**

Los Técnico Universitarios en Mantenimiento Industrial se desempeñan en todo el espectro industrial y de servicios, siendo sus competencias requeridas en empresas mineras, de energía, de transporte, celulosa, metalmecánicas, industrias químicas, de alimentos, importadoras y comercializadoras de maquinaria industrial, accesorios, insumos y repuestos.

Su campo ocupacional es amplio, cubriendo las necesidades de las industrias de procesos de obtención de materia prima y energía, empresas de procesos de elaboración de materiales semi elaborados, empresas de productos elaborados, empresas de servicios, instituciones

gubernamentales y empresas de compra, representación y venta de equipamiento y sistemas. Es la minería, la empresa generadora y proveedora de energía y agua, las empresas colaboradoras y proveedoras de productos y servicios de este sector donde se ubican nuestros técnicos.

### **T.U. en Mecánica Automotriz**

El Técnico Universitario en Mecánica Automotriz, egresado de la Universidad Técnica Federico Santa María, posee conocimientos teóricos y prácticos que le permiten otorgar el soporte técnico necesario en la mantención de equipos automotrices, de aplicación vehicular e industrial, logrando diagnosticar fallas, efectuar reparaciones y ejecutar planes de mantenimiento, considerando su impacto medio ambiental. Sus competencias le permiten, además, administrar servicios propios de su especialidad y participar técnicamente en la ejecución de proyectos del rubro automotriz.

El Técnico Universitario en Mecánica Automotriz puede participar técnicamente en la formulación y ejecución de proyectos del rubro automotriz. El desarrollo de sus capacidades técnicas le permite desarrollarse en forma independiente.

### **T.U. en Minería y Metalurgia**

El Técnico Universitario en Minería y Metalurgia, estará capacitado para desempeñarse en cualquier actividad relacionada tanto en Minería (Perforación y Tronadura, Carguío y Transporte y Servicios a la Minería), como Metalurgia (Conminución y Concentración de Minerales) tanto metálica como no metálica, así como también en actividades relacionadas con áridos. Podrán también participar en procesos sustentables de tratamiento y disposición de residuos mineros, con preocupación por el medio ambiente.

**Apéndice C: Guía Didáctica MCNP**



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

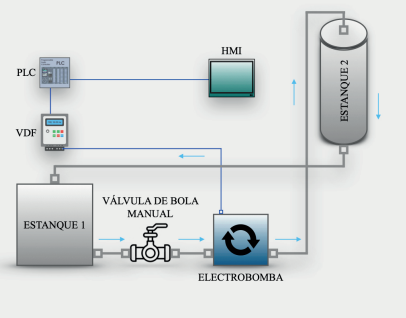
# GUÍA BANCO DIDÁCTICO NIVEL Y PRESIÓN

EQUIPAMIENTO DIDÁCTICO  
PARA LA EDUCACIÓN TÉCNICA E INGENIERÍA

## DIAGRAMA DEL PROCESO



## DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO



**● INTRODUCCIÓN**

La presente Guía Docente del Banco Didáctico Nivel-Presión está orientada a apoyar al profesor en el desarrollo de actividades prácticas de laboratorio vinculadas al monitoreo y control de las variables de nivel y presión, ampliamente utilizadas en procesos industriales.

El banco integra instrumentación industrial real, un sistema hidráulico funcional y control automatizado mediante PLC, permitiendo al estudiante comprender el comportamiento de estas variables y su interacción dentro de un proceso controlado.

**● OBJETIVOS DE APRENDIZAJE**

Al finalizar las actividades prácticas asociadas a este banco didáctico, el estudiante será capaz de:

- Identificar instrumentos industriales para la medición de nivel y presión.
- Comprender el principio de funcionamiento de transmisores ultrasónicos, capacitivos y de presión.
- Analizar el comportamiento del nivel en estanques mediante control de caudal.
- Operar un sistema automatizado utilizando PLC, HMI y variador de frecuencia.
- Interpretar señales industriales normalizadas y estados de control.

**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO**

El Banco Didáctico Nivel-Presión simula un proceso hidráulico de llenado, vaciado y trasvasije entre estanques, permitiendo el estudio de variables físicas fundamentales en la industria.

El sistema es gobernado por un controlador lógico programable (PLC), que recibe señales de los dispositivos de campo y ejecuta acciones de control sobre válvulas y bomba, reproduciendo condiciones reales de operación industrial.

BANCO DIDÁCTICO

**● COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA**

**Sistema de Control**

- PLC S7-300 – SIEMENS
- Variador de Frecuencia Micromaster 440 – SIEMENS
- HMI KTP600 – SIEMENS
- Red de comunicación PROFIBUS DP

Este sistema permite la adquisición de señales, el control del proceso y la supervisión desde la interfaz hombre-máquina.

**Sistema Hidráulico**

- Electrobomba centrífuga PEDROLLO 1 HP
- Válvula de bola manual
- Estanques de agua:
- Estanque rectangular de alimentación
- Estanque cilíndrico de proceso

**Instrumentación**

- Transmisor de nivel ultrasónico SIEMENS
- Transmisor de presión SIEMENS
- Sensor de nivel capacitivo SIEMENS
- Válvula solenoide proporcional DANFOSS
- Válvula solenoide ON-OFF DANFOSS

**SERVICIOS REQUERIDOS**

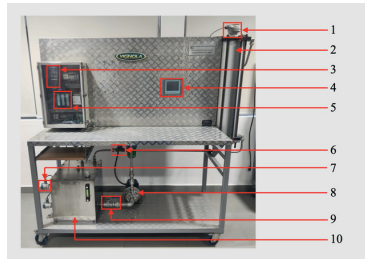
Alimentación eléctrica monofásica.  
Suministro de agua.

**APLICACIÓN DIDÁCTICA**

Automatización y Control de Procesos.  
Instrumentación Industrial  
Mecatrónica.

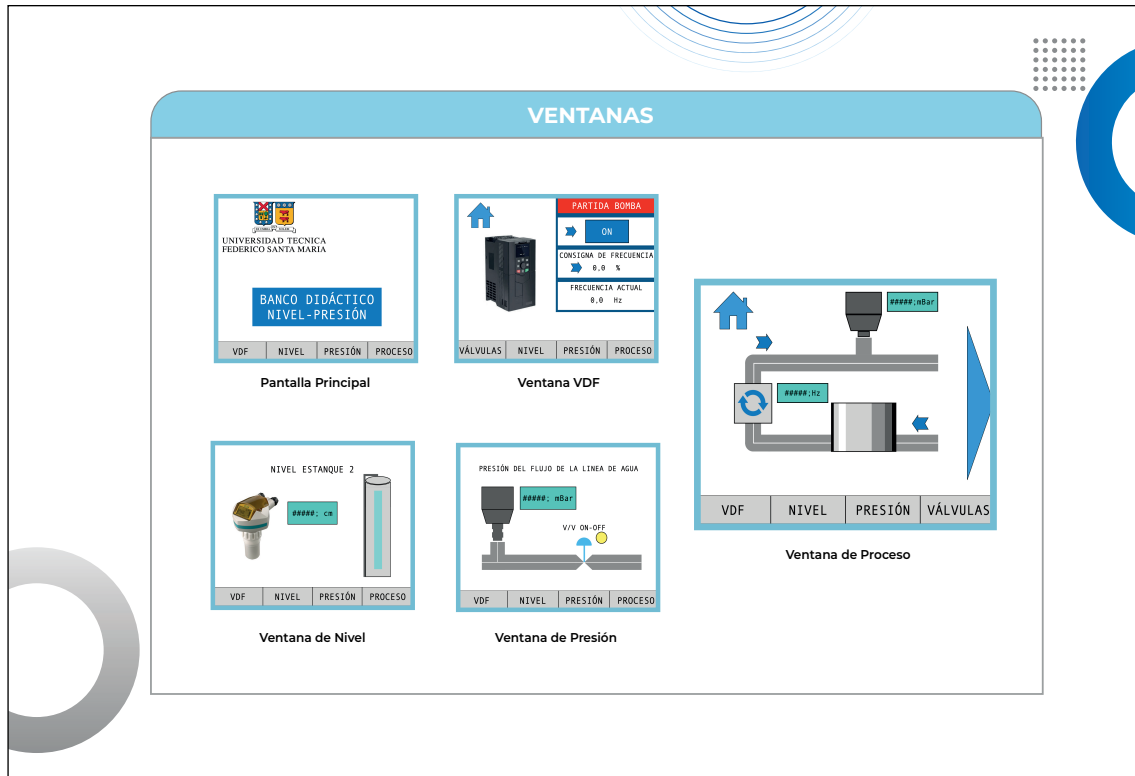
BANCO DIDÁCTICO

● IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES



Identificación	Componente
1	Transmisor de Nivel Ultrasónico
2	Estanque 2
3	VDF
4	HMI
5	PLC
6	Válvula Solenoide On-Off
7	Sensor de Nivel Capacitivo
8	Electrobomba 1HP
9	Válvula de Bola Manual
10	Estanque 1

BANCO DIDÁCTICO



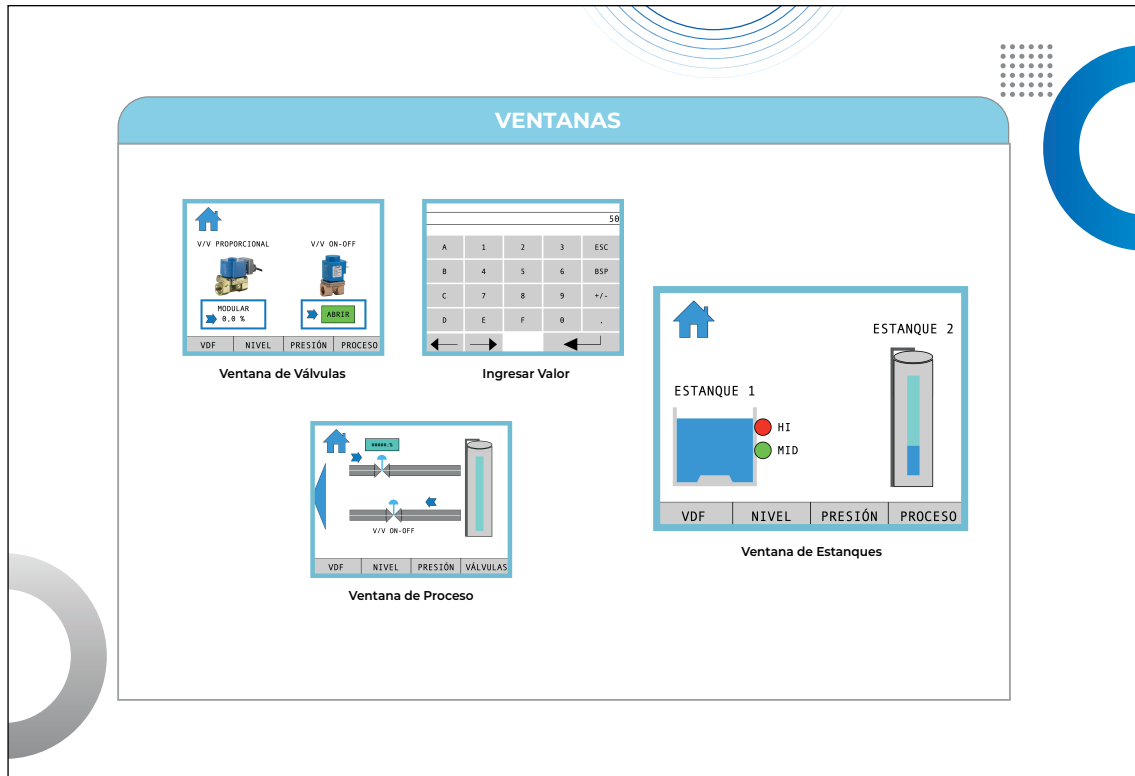
• **INTERFAZ DE OPERADOR**

El software que utiliza la pantalla HMI KTP600 del banco didáctico de Vignola está diseñado para la supervisión y control directo del sistema (Nivel y Presión), estructurándose de manera jerárquica a través de ventanas específicas.

El software integrado en la pantalla táctil SIEMENS KTP600 permite obtener un monitoreo directo y amigable de los valores obtenidos desde el PLC S7-300. Este software está enfocado en la operación en tiempo real de los dispositivos de campo.

**ESTRUCTURA DE VENTANAS DE MONITOREO Y CONTROL**

- HOME:** Pantalla principal con accesos directos a todas las funciones del sistema.
- VDF:** Control del Variador de Frecuencia. Permite dar partida/parada a la bomba y asignar consignas de velocidad en porcentaje (%).
- CAUDAL:** Visualización del caudal instantáneo (L/min) y el volumen totalizado acumulado (L).
- PROCESO:** Diagrama sinóptico completo del sistema. Permite ver el estado general y acceder a componentes específicos haciendo clic en su imagen.
- VÁLVULAS:** Control de la válvula proporcional (modulación 0-100%) y de la válvula On-Off.
- TEMPERATURA:** Monitoreo del sensor PT100 (°C) y botones para activar/desactivar el calefactor y el ventilador del radiador.
- ESTANQUES:** Visualización del nivel On-Off (HI/MID/LO) del estanque inferior y nivel continuo del estanque cilíndrico por columna de agua.



• **GUÍA DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE HMI (KTP600)**

El software permite la supervisión y el control total de los dispositivos de campo a través de una red PROFIBUS DP. A continuación, se detallan los pasos para una sesión de entrenamiento estándar:

1. **Configurar Frecuencia.**  
 Ingrese a la ventana VDF en la pantalla HMI e ingrese un valor de consigna (Set-Point) del 50%.
2. **Activar la Bomba.**  
 Verifique que el botón de Partida de Bomba esté en estado ON. Presiónelo hasta que su estado cambie a OFF. Confirme que la "Frecuencia Actual" de la bomba sea de 75 Hz.
3. **Monitorear Presión.**  
 Ingrese a la ventana de Presión para visualizar la presión de agua en la línea, medida por el Transmisor de Presión.
4. **Iniciar Llenado (Estanque 2).**  
 Ingrese a la ventana de Válvulas. Indique en la válvula proporcional un valor Modular del 50%. Puede monitorear el llenado en la ventana Nivel.
5. **Activar Trasvasije.**  
 Activar la válvula ON-OFF cuando el nivel del estanque 2 alcance los 45 cm.
6. **Acelerar Trasvasije.**  
 Para facilitar el vaciado del estanque 2, reduzca el flujo de entrada. Repita el paso 5, pero ajuste la apertura de la válvula proporcional al 20%.
7. **Verificar Llenado (Estanque 1).**  
 El llenado del estanque 1 se puede confirmar en la ventana Proceso, visualizando la activación del sensor de nivel capacitivo.



UNIVERSIDAD TECNICA  
 FEDERICO SANTA MARIA

**Apéndice D: Ejemplo de Rúbrica MCNP**

<b>Actividad Práctica N°1</b>		
<b>Asignatura</b>	<b>Carrera</b>	<b>Departamento</b>
MECÁNICA DE FLUIDOS	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	MECÁNICA
<b>Docente</b>	<i>Nombre</i> <i>Correo</i>	

<b>Nombre de Actividad</b>	Relación entre Frecuencia de Bombeo y Caudal
<b>Objetivos de la Actividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar experimentalmente la relación entre el porcentaje de consigna del VDF y el tiempo de llenado.</li> <li>• Calcular el caudal volumétrico promedio y correlacionarlo con la velocidad de la bomba.</li> </ul>

<b>Instrucciones Generales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponer y usar EPP y ropa de trabajo</li> <li>• Cada estudiante se debe ubicar en sector que el docente indicará.</li> <li>• Observar cada elemento y/o equipo usado. Hacer los registros de información</li> </ul>
--------------------------------	---

<b>Actividad</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ingresar un valor de consigna del 50%.</li> <li>2. Activar la bomba pulsando el botón de partida para que su estado cambie a OFF.</li> <li>3. Revisar que la frecuencia actual de la bomba indique 25 Hz.</li> <li>4. Modular valvula proporcional al 50%.</li> <li>5. Iniciar un cronómetro simultáneamente con el proceso de llenado.</li> <li>6. Detener el cronómetro y la bomba en el momento exacto en que el sensor marca 45 cm.</li> <li>7. Registrar tiempo de llenado (<math>\Delta t</math>) en la tabla.</li> <li>8. Vaciar el Estanque 2 por completo antes de pasar a la siguiente prueba.</li> <li>9. Repetir el proceso para 30%, 75% y 100% de consigna del VDF.</li> </ol>

**Completar la tabla con datos según se indica y graficar**

Prueba	Consigna VDF [%]	Tiempo de Llenado ( $\Delta t$ ) [s]	Caudal Promedio ( $Q_{prom}$ ) [L/s]
1	30%		
2	50%		
3	75%		
4	100%		

Formulación a utilizar:

$$Q_{prom} = \frac{\Delta Volumen}{\Delta Tiempo} = \frac{V_{estanque 2 (Total)}}{\Delta t_{llenado}}$$

$Q_{prom}$  : Caudal volumétrico promedio

$\Delta t$  : Tiempo de llenado

$\Delta Volumen$  : Volumen del estanque 2

**Integrantes del Grupo**

Nombre y Apellido	Firma

## **Apéndice E: Guía Didáctica MCTC**



UNIVERSIDAD TÉCNICA  
FEDERICO SANTA MARÍA

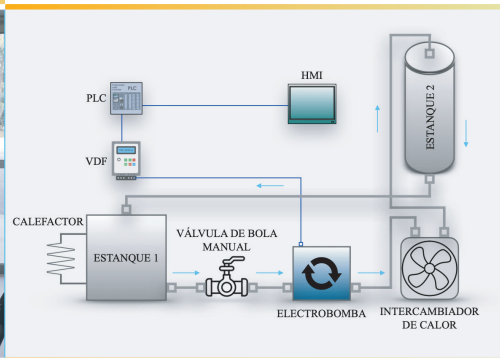
# GUÍA BANCO DIDÁCTICO TEMPERATURA-CAUDAL

EQUIPAMIENTO DIDÁCTICO  
PARA LA EDUCACIÓN TÉCNICA E INGENIERÍA

## DIAGRAMA DEL PROCESO



## DISPOSICIÓN DE LOS ELEMENTOS DEL EQUIPO



## • INTRODUCCIÓN

El Banco Didáctico Caudal-Temperatura ha sido diseñado como una herramienta de entrenamiento para el estudio, monitoreo y control de variables de proceso fundamentales en la industria: caudal y temperatura. El sistema permite al estudiante comprender la interacción entre instrumentación de campo, sistemas hidráulicos y control automático mediante PLC.

Este equipo integra tecnologías de automatización ampliamente utilizadas en entornos industriales, facilitando la transferencia de conocimientos teóricos a la práctica aplicada.

## • DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El Banco Didáctico Caudal-Temperatura simula un proceso hidráulico real, permitiendo visualizar y controlar variables físicas mediante sensores, transmisores y actuadores industriales. El sistema está gobernado por un controlador lógico programable (PLC), el cual recibe señales de entrada desde los dispositivos de campo y ejecuta acciones de control sobre los elementos finales.

El monitoreo y la operación del proceso se realizan a través de una interfaz hombre-máquina (HMI), que presenta de forma clara y amigable el estado de las variables y componentes del sistema.

## • ESTRUCTURA DEL PANEL DIDÁCTICO

El banco didáctico está organizado en los siguientes subsistemas principales:

- Sistema de Control
- Sistema Hidráulico
- Instrumentación
- Elementos Complementarios

Cada uno de estos subsistemas reproduce configuraciones típicas encontradas en procesos industriales reales.

### EJERCICIOS Y POSIBILIDADES PRÁCTICAS

1. Identificación de instrumentos de medición de caudal, nivel y temperatura.
2. Análisis del control de velocidad de una bomba mediante variador de frecuencia.
3. Estudio del comportamiento del caudal frente a variaciones de apertura de válvulas.
4. Evaluación del efecto de calefacción y enfriamiento sobre la temperatura del fluido.
5. Relación entre caudal, volumen totalizado y tiempo de operación.

**SERVICIOS REQUERIDOS**

- Alimentación eléctrica monofásica.
- Suministro de agua.

**APLICACIÓN DIDÁCTICA**

- Automatización y Control de Procesos
- Instrumentación Industrial Mecatrónica

BANCO DIDÁCTICO

### IDENTIFICACIÓN DE COMPONENTES

**SISTEMA DE CONTROL**

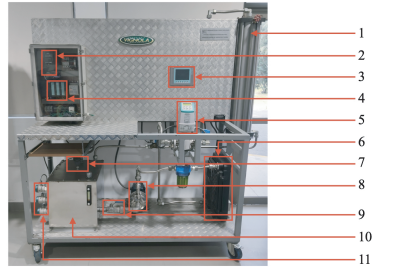
El Sistema de Control es el núcleo del banco didáctico y está compuesto por equipos de automatización industrial de gama media:

**SISTEMA HIDRÁULICO**

El Sistema Hidráulico permite la circulación del fluido y la variación controlada del caudal y la temperatura.

**INSTRUMENTACIÓN**

El banco incorpora instrumentación industrial para la medición y control de las variables de proceso:



Identificación	Componente
1	Sensor de nivel capacitivo SIEMENS Estanque 2
2	Sensor de temperatura VDF RTD
3	PT100 con transmisor HMI DANFOSS
4	Válvula solenoide proporcional DANFOSS
5	Válvula solenoide ON-OFF DANFOSS
6	FLUJOMETRO INTERCAMBIADOR DE CALOR DANFOSS
7	SENSOR DE TEMPERATURA
8	Estos dispositivos permiten analizar principios de medición, calibración y resolución.
9	ELECTROBOMBA
10	VALVULA DE BOLA MANUAL
11	ESTANQUE 1
	SENSOR DE NIVEL

Campo que permite la comunicación entre el PLC y los dispositivos inteligentes del sistema.

**ELEMENTOS COMPLEMENTARIOS**

- Tablero de fuerza: Contiene protecciones eléctricas y elementos de accionamiento.
- Tablero de control: Aloja los dispositivos de automatización y control.
- Calefactor eléctrico: Permite el aumento controlado de la temperatura del fluido.

BANCO DIDÁCTICO

• **INTERFAZ DE OPERADOR**

El software que utiliza la pantalla HMI KTP600 del banco didáctico de Vignola está diseñado para la supervisión y control directo del sistema (Caudal y Temperatura), estructurándose de manera jerárquica a través de ventanas específicas.

El software integrado en la pantalla táctil SIEMENS KTP600 permite obtener un monitoreo directo y amigable de los valores obtenidos desde el PLC S7-300. A diferencia del software de EDIBON, que se divide en módulos de Instructor y Alumno en un PC, este software está enfocado en la operación en tiempo real de los dispositivos de campo.

**ESTRUCTURA DE VENTANAS DE MONITOREO Y CONTROL**

- HOME:** Pantalla principal con accesos directos a todas las funciones del sistema.
- VDF:** Control del Variador de Frecuencia. Permite dar partida/parada a la bomba y asignar consignas de velocidad en porcentaje (%).
- CAUDAL:** Visualización del caudal instantáneo (L/min) y el volumen totalizado acumulado (L).
- PROCESO:** Diagrama sinóptico completo del sistema. Permite ver el estado general y acceder a componentes específicos haciendo clic en su imagen.
- VÁLVULAS:** Control de la válvula proporcional (modulación 0-100%) y de la válvula On-Off.
- TEMPERATURA:** Monitoreo del sensor PT100 (°C) y botones para activar/desactivar el calefactor y el ventilador del radiador.
- ESTANQUES:** Visualización del nivel On-Off (HI/MID/LO) del estanque inferior y nivel continuo del estanque cilíndrico por columna de agua.

BANCO DIDÁCTICO

**VENTANAS**



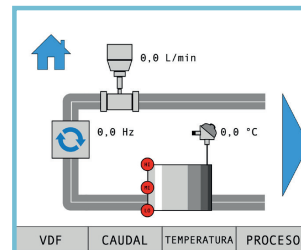
Pantalla Principal



Ventana VDF



Ventana de Caudal



Ventana de Proceso

## • GUÍA DE OPERACIÓN DEL SOFTWARE HMI (KTP600)

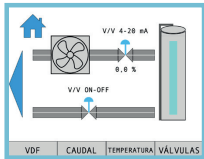
El software permite la supervisión y el control total de los dispositivos de campo a través de una red PROFIBUS DP. A continuación, se detallan los pasos para una sesión de entrenamiento estándar:

1. **Configurar Frecuencia.**  
Ingrese a la ventana VDF en la pantalla HMI e ingrese un valor de consigna (Set-Point) del 50%.
2. **Activar la Bomba.**
  - a. Presione el botón ON hasta que su estado cambie a OFF.
  - b. Confirme que la "Frecuencia Actual" de la bomba indique 25Hz
3. **Habilitar Flujo.**
  - a. Ajuste la válvula proporcional al 50% de apertura
  - b. Puede monitorear el llenado en la ventana Nivel.
4. **Verificar Caudal.**  
Confirme que el flujometro registra el flujo de agua correctamente
5. **Monitorear Nivel.**  
Observe el indicador gráfico correspondiente al nivel del estanque.
6. **Activar trasvasije.**  
Activar la válvula ON-OFF para iniciar trasvasije
7. **Control de Temperatura.**  
Para completar la actividad:
  - a. Activar calefactor para aumentar la temperatura del líquido
  - b. Activar ventilador para disminuirla si es necesario
  - c. Monitorear la medición en la ventana de temperatura
8. **Finalización y Registro.**
  - a. Registre el volumen total trasvasado considerando la potencia del motor a 25Hz
  - b. Anote también el caudal leído en el flujometro en función del tiempo, a modo de comprobación del proceso.

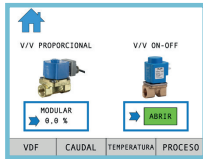
BANCO DIDÁCTICO



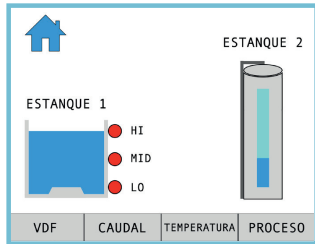
### VENTANAS



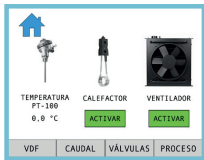
Ventana de Proceso



Ventana de Válvulas



Ventana de Estanques



Ventana de Temperatura

**Apéndice F: Ejemplo de Rúbrica MCTC**

<b>Actividad Práctica N°2</b>		
<b>Asignatura</b>	<b>Carrera</b>	<b>Departamento</b>
TERMODINÁMICA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL	MECÁNICA
<b>Docente</b>	Cristian Cuadra U. <a href="mailto:cristian.cuadra@usm.cl">cristian.cuadra@usm.cl</a>	

<b>Nombre de Actividad</b>	Transferencia de Calor y Eficiencia del Intercambiador
<b>Objetivos de la Actividad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar experimentalmente como el caudal volumétrico (<math>\dot{V}</math>) de un fluido afecta la eficiencia de un proceso de transferencia de calor.</li> <li>• Medir la diferencia de temperatura (<math>\Delta T</math>) lograda en el fluido caliente para diferentes ajustes de caudal.</li> </ul>

<b>Instrucciones Generales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Disponer y usar EPP y ropa de trabajo</li> <li>• Cada estudiante se debe ubicar en sector que el docente indicará.</li> <li>• Observar cada elemento y/o equipo usado. Hacer los registros de información</li> </ul>
--------------------------------	---

<b>Actividad</b>
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fijar la potencia del calefactor a un valor constante y moderado (500 W)</li> <li>2. Seleccionar 3 niveles de caudal distintos (bajo, medio y alto - 30, 50 y 100% respectivamente)</li> <li>3. Dejar que el sistema se estabilice bajo estas condiciones</li> <li>4. Medir y registrar temperatura de entrada (<math>T_{\text{entrada}}</math>) y temperatura de salida (<math>T_{\text{salida}}</math>).</li> <li>5. Repetir los pasos para los niveles medio y alto.</li> </ol>

**Completar la tabla con datos según se indica y graficar**

Prueba	Nivel de Caudal	Caudal Volumétrico [L/min]	$T_{\text{entrada}}$ [C°]	$T_{\text{salida}}$ [C°]	$\Delta T$ [C°] = $T_{\text{salida}} - T_{\text{entrada}}$
1	30%				
2	50%				
3	100%				

**Cálculos para la tasa de transferencia de calor**

Calcular la tasa transferencia de calor efectiva ( $\dot{Q}_{\text{efectiva}}$ ) para cada prueba y compararla con la potencia de calentamiento fija ( $\dot{Q}_{\text{in}}$ ):

Prueba	Caudal Másico ( $\dot{m}$ ) [kg/s] = $\dot{m} = \rho \cdot \dot{V}$	$\dot{Q}_{\text{efectiva}}$ [W] = $\dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T$
1		
2		
3		

**Integrantes del Grupo**

Nombre y Apellido	Firma