



GUARDIANES DEL TANQUE: NIVEL Y PRESIÓN EN ACCIÓN



UPR
CAROLINA



RECONOCIMIENTO

Este módulo educativo fue desarrollado con el apoyo de la National Science Foundation (NSF) bajo la propuesta **2434808** "EQUIPMENT: Strengthening Instrumentation Education at UPR Carolina: Implementing New Resources and Practical Training for Industry 4.0".

Universidad de Puerto Rico - Carolina
Departamento de Tecnologías de Ingeniería

Equipo en Desarrollo

Dr. Narcisa Meza (PI), Prof. Eduardo Cabrera (Co-PI), Dr. Emiliano Quiñones (Co-PI), Sr. José Sánchez.

Diseño Gráfico e Ilustraciones: Estudiante de Artes Gráfica, Syenicha Sánchez Santos de la Universidad de Puerto Rico en Carolina.

Las opiniones expresadas en este material pertenecen a los autores y no reflejan necesariamente las opiniones de la National Science Foundation.

Contacto:

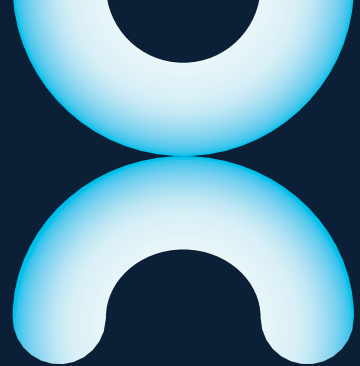
Teléfono: 257-0000 exts: 4976, 4964

Email: stem.bridges@upr.edu

Departamento de Tecnologías en Ingeniería

Universidad de Puerto Rico en Carolina

CONTENIDO



.....	4
.....	5
.....	6
.....	8
.....	9
.....	10
.....	13
.....	19
.....	22
.....	20

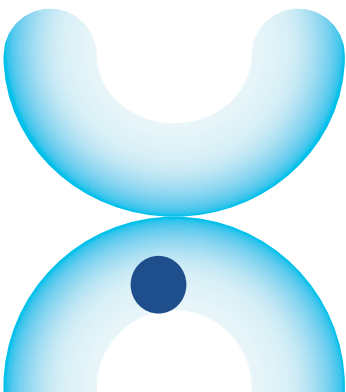




¿QUÉ VAS A APRENDER?

Al completar este módulo podrás:

- ✓ Entender qué es el nivel y la presión hidrostática
- ✓ Comprender cómo funciona un sensor de nivel tipo radar
- ✓ Operar un sensor de presión profesional
- ✓ Descubrir la relación entre nivel y presión en un tanque
- ✓ Calcular la presión según la altura del líquido
- ✓ Identificar situaciones de riesgo en sistemas presurizados
- ✓ Crear gráficas para visualizar la relación nivel-presión
- ✓ Conocer carreras en instrumentación y seguridad industrial



CONCEPTOS FUNDAMENTALES

¿QUÉ ES EL NIVEL?

Nivel es la altura del líquido dentro de un tanque o contenedor. En la industria medimos el nivel en metros (pulgadas, metros) o porcentaje (%).

Importancia de medir nivel:



Manufactura: Evitar derrames o que se queden sin material



Farmacéutica: Controlar inventarios de químicos



Tanques de combustible: Saber cuánto queda



Plantas de agua: Gestionar suministro de la comunidad

¿QUÉ ES LA PRESIÓN?

Presión es la fuerza que un líquido ejerce sobre las paredes o el fondo de un contenedor. En la industria medimos la presión en bar, PSI (libras por pulgada cuadrada), o Pascales (Pa).

LA CONEXIÓN: NIVEL ↔ PRESIÓN

El nivel del líquido en un tanque está directamente relacionado con la presión en el fondo:

Más altura de líquido = Más presión en el fondo

Menos altura de líquido = Menos presión en el fondo

Conversión rápida:
1 bar ≈ 14.5 PSI ≈ 100 kPa



Fórmula científica:

$$P = \rho \times g \times h$$

Donde:

- P = Presión (PSI)
- ρ = Densidad del líquido (lb/ft³)
- g = Gravedad (32.2 ft/s²)
- h = Altura del líquido (pulgadas)

Fórmula simplificada para el agua y con conversiones:

$$P = \rho \times g \times h = 0.036 \times h$$

INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN

SENSOR DE NIVEL POR RADAR - FMR43

El FMR43 Micropilot es un sensor moderno que usa ondas de radar para medir nivel sin tocar el líquido.

¿CÓMO FUNCIONA?

1. El sensor envía ondas de radar hacia el líquido
2. Las ondas rebotan en la superficie del líquido
3. El sensor mide el tiempo que tardan en regresar
4. Calcula la distancia (más rápido = más cerca = nivel alto)

¿POR QUÉ ES ESPECIAL?

- Sin contacto: No se ensucia ni se deteriora
- Resistente: Funciona con líquidos calientes, fríos, corrosivos
- Preciso: Error típico de ± 2 mm
- Fácil de instalar: Se monta en la tapa del tanque
- Inteligente: Ignora espuma, vapor, turbulencias



SENSOR DE PRESIÓN - PMP21 (CERABAR)

El PMP21 Cerabar es un transmisor de presión profesional de Endress+Hauser con membrana cerámica.

¿CÓMO FUNCIONA?

1. Tiene una membrana cerámica ultra sensible
2. Cuando la presión aumenta, la membrana se deforma ligeramente
3. Un circuito electrónico detecta esta deformación microscópica
4. Convierte la señal en una lectura digital de presión

¿POR QUÉ ES ESPECIAL?

- Muy preciso: $\pm 0.075\%$ de error
- Robusto: Soporta golpes y vibraciones
- Resistente: Compatible con la mayoría de líquidos
- Comunicación digital: HART, PROFIBUS
- Seguro: Certificado para áreas peligrosas



LA MISIÓN: AQUA-TECH SOLUTIONS

TU NUEVO TRABAJO

¡Felicidades! Has sido contratado como **Técnico de Instrumentación Junior** en Aqua-Tech Solutions, la empresa que mantiene los **sistemas de agua de hospitales y fábricas** en Puerto Rico.

Llamada de la Ingeniera Carmen (supervisora de seguridad - 8:30 am)



¡Buenos días! Tenemos una situación en el Hospital Central. Instalamos un sistema nuevo de almacenamiento de agua potable con:

- Un tanque de 1,000 litros
- Sensor de nivel por radar FMR43
- Sensor de presión PMP21
- 3 bombas para distribuir agua

El problema es que los operadores del hospital nos reportan que a veces las bombas trabajan demasiado fuerte y otras veces muy poco. Sospechan que tiene que con el nivel del del tanque.

Necesito que hagas un estudio completo de cómo el nivel del tanque afecta la presión del sistema.

TU MISIÓN

1. FASE DE LLENADO:

Llena el tanque gradualmente y registra cómo aumenta la presión conforme sube el nivel

2. FASE DE VACIADO:

Vacía el tanque usando las bombas y registra cómo disminuye la presión conforme baja el nivel

3. ANÁLISIS:

Comprueba si los datos siguen la fórmula teórica

4. RECOMENDACIONES:

Determina nivel mínimo seguro, nivel máximo, y la correlación nivel-presión

“Tienes 90 minutos para completar todas las mediciones y entregar un informe. La seguridad de los pacientes depende de un suministro constante de agua. ¡Confío en ti!”



PROTOCOLO DE SEGURIDAD

ANTES DE EMPEZAR

- Equipo de Protección Personal (PPE):
 - Lentes de seguridad puestos correctamente
 - Zapatos cerrados con suela antideslizante
 - Cabello largo recogido
 - Sin joyas en las manos (anillos, pulseras)
 - Ropa adecuada (pantalones largos, camisa con mangas)
 - Celular guardado (evitar distracciones)

REGLAS DE SEGURIDAD

NUNCA:

- X** Tocar instrumentos eléctricos con manos mojadas
- X** Meter las manos en el tanque mientras hay bombas operando
- X** Subirse o inclinarse peligrosamente sobre el tanque
- X** Manipular válvulas sin permiso del instructor
- X** Dejar el sistema sin supervisión mientras opera
- X** Forzar equipos si algo no funciona correctamente

SIEMPRE:

- ✓ Escuchar las instrucciones del instructor
- ✓ Trabajar en equipo y comunicarse
- ✓ Reportar cualquier anomalía inmediatamente
- ✓ Verificar que las válvulas estén en posición correcta
- ✓ Mantener el área de trabajo limpia y seca
- ✓ Apagar equipos cuando termines
- ✓ Lavarte las manos después del laboratorio



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

COMPLETAR LA SIGUIENTE INFORMACIÓN ANTES DE EMPEZAR:

Fecha: _____

Hora de inicio: _____

Nombre del equipo: _____

Nombre de Integrantes:

1. _____

2. _____

3. _____

4. _____

Nombre del Instructor: _____

Nivel inicial del tanque: _____%

Presión inicial: _____ F

Clima: Soleado Nublado Lluvioso

Verificación: Completa



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Objetivo: Medir cómo aumenta la presión conforme sube el nivel del tanque.

INSTRUCCIONES:

1. Verificar que tanque esté vacío o casi vacío
2. Configurar Bomba 1 (PMP-301) para llenar
3. Ajustar VFD-1 a 30 Hz
4. Tomar mediciones cada 10% de nivel
5. Registrar nivel, altura, volumen y presión
6. Calcular presión teórica y diferencia



TABLA DE MEDICIONES - LLENADO

Medición	Nivel (%)	Altura (pulg)	Volumen (gal)	Presión (PSI)	Presión teórica (PSI)	Observación
1	0					
2	10					
3	20					
4	30					
5	40					
6	50					
7	60					
8	70					
9	80					
10	90					
11	100					

CÓMO CALCULAR PRESIÓN TEÓRICA:

Presión

teórica (PSI) = $0.036 \times h$ (pulg)

Ejemplo: Si altura =

Presión teórica =



PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Objetivo: Medir cómo disminuye la presión conforme baja el nivel del tanque.

INSTRUCCIONES:

1. Verificar que tanque esté lleno (100%)
2. Configurar Bomba 2 (PMP-302) para vaciar
3. Ajustar VFD-2 a 30 Hz
4. Tomar mediciones cada 10% de nivel (de 100% a 0%)
5. Registrar nivel, altura, volumen y presión
6. Comparar con fase de llenado

TABLA DE MEDICIONES - VACIADO

Medición	Nivel (%)	Altura (pulg)	Volumen (gal)	Presión (PSI)	Presión teórica (PSI)	Observación
1	100					
2	90					
3	80					
4	70					
5	60					
6	50					
7	40					
8	30					
9	20					
10	10					
11	0					



ANÁLISIS DE RESULTADO

PASO 1: GRÁFICA NIVEL VS PRESIÓN

INSTRUCCIONES PARA CREAR TU GRÁFICA:

- Eje X (horizontal): Nivel en porcentaje (0-100%)
- Eje Y (vertical): Presión en PSI (0-5)
- Dibuja dos líneas:
 - Línea azul: Datos de LLENADO
 - Línea roja: Datos de VACIADO
- Dibuja línea teórica (recta perfecta)



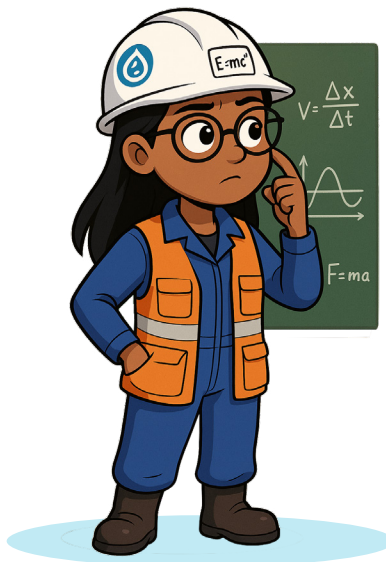
ANÁLISIS DE RESULTADO

PASO 2: PREGUNTAS DE ANÁLISIS

¿Las líneas son rectas o curvas?

¿Las dos líneas (llenado y vaciado) coinciden?

¿Tus datos coinciden con la presión teórica ?



CALCULA TU ERROR PROMEDIO:

PASO 1: Calcular el error en CADA medición

Fórmula del error porcentual:

$$\text{Error (\%)} = \frac{|\text{Presión Medida} - \text{Presión Teórica}|}{\text{Presión Teórica}} \times 100$$

Donde:

Presión Medida:

- Lo que leyó el sensor PMP21 (en PSI)

Presión Teórica:

- Lo que calculaste con $P = \rho gh$ (en PSI) | : Valor absoluto (siempre positivo)

CALCULA TU ERROR PROMEDIO:

PASO 2: Calcular el ERROR PROMEDIO de todas las mediciones

Fórmula del error porcentual:

$$\text{Error Promedio (\%)} = \frac{(\text{Error}_1 + \text{Error}_2 + \text{Error}_3 + \dots + \text{Error}_n)}{n} = \frac{\Sigma \text{ Errores}}{n}$$

Donde:

- Σ = Suma de todos los errores
- n = Número total de mediciones



ANÁLISIS DE RESULTADO

PASO 2: PREGUNTAS DE ANÁLISIS

TABLA EXPERIMENTO 1 - LLENADO:

Nivel (%)	Presión Medida (PSI)	Presión Teórica (PSI)	Diferencia absoluta	Error (%)
20				
40				
60				
80				
100				

Suma de Error (%)	
n	5
Error promedio (%)	

TABLA EXPERIMENTO 1 - VACIADO:

Nivel (%)	Presión Medida (PSI)	Presión Teórica (PSI)	Diferencia absoluta	Error (%)
100				
80				
60				
40				
20				

Suma de Error (%)	
n	5
Error promedio (%)	

¿Los valores de llenado y vaciado son iguales?



ANÁLISIS DE RESULTADO

PASO 2: PREGUNTAS DE ANÁLISIS

ANÁLISIS COMPARATIVO

Nivel (%)	Presión Llenado (PSI)	Presión Vaciado(PSI)	Diferencia absoluta
20			
40			
60			
80			
100			

Suma de Diferencia (%)	
n	5
Diferencia promedio (%)	

CALCULAR LA DIFERENCIA PORCENTUAL EN CADA NIVEL

Fórmula de diferencia porcentual:

$$\text{Diferencia (\%)} = |\text{Presión LLENADO} - \text{Presión VACIADO}| / \text{Presión LLENADO} \times 100$$

Donde:

Presión LLENADO: Lo que midió el sensor al llenar (en PSI)

Presión VACIADO: Lo que midió el sensor al vaciar (en PSI)

$$\text{Diferencia (\%)} = |\text{Presión LLENADO} - \text{Presión VACIADO}| / \text{Presión LLENADO} \times 100$$

| |: Valor absoluto (siempre positivo)

Presión LLENADO: en el denominador (puedes usar VACIADO también, el resultado es similar)

Calcular la **DIFERENCIA PROMEDIO** de todos los niveles

Fórmula de diferencia promedio:

$$\text{Diferencia Promedio (\%)} = (\text{Dif}_{20\%} + \text{Dif}_{40\%} + \text{Dif}_{60\%} + \text{Dif}_{80\%} + \text{Dif}_{100\%}) / 5$$



ANÁLISIS DE RESULTADO

PASO 2: PREGUNTAS DE ANÁLISIS

INTERPRETACION DE LA DIFERENCIA PROMEDIO

¿Qué significa la diferencia promedio?

Diferencia promedio (%)	Interpretación	Conclusión
Menor 2	Excelente consistencia ★★★★★	Sistema muy confiable
2 - 5	Buena consistencia ★★★★	Sistema confiable
5 - 10	Consistencia aceptable ★★★	Puede necesitar ajuste
Mayor 10	Inconsistencia ⚠	Investigar causa

PREGUNTA DE ANÁLISIS:

¿El sistema da lecturas consistentes al llenar y vaciar el tanque?

Tu diferencia promedio porcentual: _____%

Marca tu conclusión:

- Sí, es consistente (diferencia < 5%)
- NO es consistente (diferencia > 5%)
- Necesita más pruebas

Justificación



INFORME PARA INGENIERA CARMEN

MEMORANDO TÉCNICO

PARA: Ing. Carmen Rivera, Supervisora de Seguridad

EQUIPO: _____

FECHA: _____

PROYECTO: Hospital Central - Sistem de Agua Crítico

ASUNTO: Validación del Sistema de Nivel y presión

RESUMEN EJECUTIVO

Estimada Ing. Rivera:

Hemos completado la validación del sistema de nivel (FMR43) y presión (PMP21) instalado en el Hospital Central. Se realizaron mediciones sistemáticas durante llenado y vaciado del tanque.

Diferencia promedio (%)	Evaluación
Menor 2	Excelente precisión ★★★★★
2 - 5	Buena precisión ★★★★★
5 - 10	Presión naceptable ★★★★★
Mayor 10	Inconsistencia ⚠



INFORME PARA INGENIERA CARMEN

CONTINUACIÓN

Error Promedio (LLENADO)	_____ %
Error Promedio (VACIADO)	_____ %
Diferencia Promedio Porcentual	_____ %
Correlación Nivel	Excelente Buena Aceptable
Recomendacion	Aprobado Necesita ajustes

2. ANÁLISIS DE PRECISIÓN DEL SISTEMA

Se calculó el error entre las mediciones del sensor PMP21 y los valores teóricos calculados con la fórmula $P = \rho gh$.

Diferencia promedio (%)	Evaluación
Menor 2	Excelente precisión ★★★★★
2 - 5	Buena precisión ★★★★★
5 - 10	Presión naceptable ★★★
Mayor 10	Inconsistencia !

RESULTADOS OBTENIDOS:

Error Promedio durante **LLENADO**: _____ %

Error Promedio durante **VACIADO**: _____ %

Calificación: Excelente Buena Aceptable Insuficiente

INTERPRETACIÓN:

El error promedio de _____ % indica que el sensor PMP21 [SÍ NO] está midiendo con la precisión requerida para una aplicación crítica en un hospital.

3. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DEL SISTEMA

Se compararon las mediciones durante llenado y vaciado para verificar si el sistema da lecturas consistentes en ambas direcciones.

RESULTADO:

Diferencia Promedio Porcentual: _____ %

Calificación: Excelente Buena Aceptable Pobre

INTERPRETACIÓN:

La diferencia promedio de _____% [CONFIRMA / NO CONFIRMA] que el sistema es consistente en ambas direcciones. Esto significa que:

- No hay histéresis significativa en el sensor
- La fórmula $P = \rho gh$ es válida en ambas direcciones
- El sistema es repetible y confiable
- Se detectó inconsistencia que requiere investigación

Posibles causas si la diferencia es alta (>5%):

- Tiempo de estabilización insuficiente entre mediciones
- Histéresis del sensor de presión
- Burbujas de aire atrapadas durante llenado
- Cambios de temperatura del líquido durante el experimento
- Turbulencia del líquido durante vaciado

4. VALIDACIÓN DE LA RELACIÓN NIVEL-PRESIÓN

¿Se confirmó que $P = \rho gh$?

Forma de la gráfica Nivel vs Presión:

Línea recta Curva

La presión aumenta cuando el nivel sube:

SÍ NO

La presión disminuye cuando el nivel baja:

SÍ NO

Los datos de llenado y vaciado coinciden:

SÍ NO



CONCLUSIÓN

Los datos [CONFIRMAN / NO CONFIRMAN] que la presión hidrostática es directamente proporcional a la altura de la columna de líquido según la fórmula:

$$P = \rho gh.$$

5. RECOMENDACIONES DE ALARMAS

Basado en los datos obtenidos y considerando los requisitos de seguridad del hospital, se recomienda la siguiente configuración:

TIPO DE ALARMA	NIVEL RECOMENDADO	ACCIÓN REQUERIDA
HIGH-HIGH	98%	 CRÍTICO: Cerrar válvula entrada
HIGH	95%	 Detener llenado
NORMAL	30-90%	 Zona de operación segura
LOW	25%	 Advertencia: Preparar llenado
LOW-LOW	15%	 CRÍTICO: DETENER BOMBAS

Justificación:

Low-Low (15%):

Low (25%):

High (95%):



6. RECOMENDACIÓN FINAL

Basado en el análisis completo, mi recomendación es:

APROBADO PARA OPERACIÓN INMEDIATA

El sistema cumple todos los criterios de seguridad y precisión.

APROBADO CON CONDICIONES

El sistema es aceptable pero requiere: _____

NO APROBADO

El sistema necesita correcciones antes de usar: _____

NIVEL DE CONFIANZA EN LOS DATOS:

90-100% (Muy alta - datos muy consistentes)

70-89% (Alta - pequeñas variaciones aceptables)

50-69% (Moderada - requiere más pruebas)

<50% (Baja - datos inconsistentes)

PREPARADO POR:

Fecha: _____

Nombre del Equipo: _____

Técnico de Instrumentación Junior: _____



CONCLUSIONES

Responde las siguientes preguntas para demostrar tu comprensión del módulo:

1. ¿La presión hidrostática depende del nivel del tanque?

SÍ, directamente proporcional

NO, no hay relación

Depende de otros factores

Evidencia de tus datos:

2. ¿La fórmula $P = \rho gh$ funciona en la vida real?

SÍ, con error promedio de ____% (llenado) y ____% (vaciado)

NO, el error fue muy alto (____%)

Solo en algunas condiciones

Explicación:



CONCLUSIONES

Responde las siguientes preguntas para demostrar tu comprensión del módulo:

3. ¿El sistema es consistente entre llenado y vaciado?

SÍ, diferencia promedio de ____% (< 5%)

NO, diferencia promedio de ____% (> 5%)

Necesita más pruebas

¿Qué significa esto para la confiabilidad del sistema?

4. ¿El sistema es confiable para uso en un hospital?

SÍ, porque el error es bajo y el sistema es consistente

NO, porque el error es muy alto

Necesita ajustes o calibración

Justifica tu respuesta:



CONCLUSIONES

5. ¿Por qué son importantes las alarmas de nivel?

6. ¿Qué aprendiste sobre instrumentación industrial?

7. Lo más importante fue:

8. Me sorprendió que:



AUTOEVALUACIÓN

Califica tu nivel de dominio (1: no entendí a 5: lo domino)

Tu experiencia como Técnico de Instrumentación Junior

COMPETENCIA	1	2	3	4	5
Comprensión de $P = \rho gh$					
Operación de sensores FMR43 y PMP21					
Cálculo de error promedio					
Cálculo de diferencia promedio porcentual					
Puedo hacer gráficas					
Redacción de informes técnicos					
Trabajo en equipo					

¿Te interesa seguir aprendiendo?

¿Te gustaría tomar más módulos como este?

Sí, me encantó

Sí, pero necesito más práctica

Tal vez

No me interesó mucho



¿Qué otros instrumentos te gustaría aprender a usar?

Sensores de presión

Sensores de nivel

Sensores de pH y Conductividad

PLCs (controladores programables)

Robots industriales

Transmisores de temperatura

Otro:

¿Considerarías estudiar Tecnología en Ingeniería después de esta experiencia?

Definitivamente sí

Probablemente sí

No estoy seguro/a

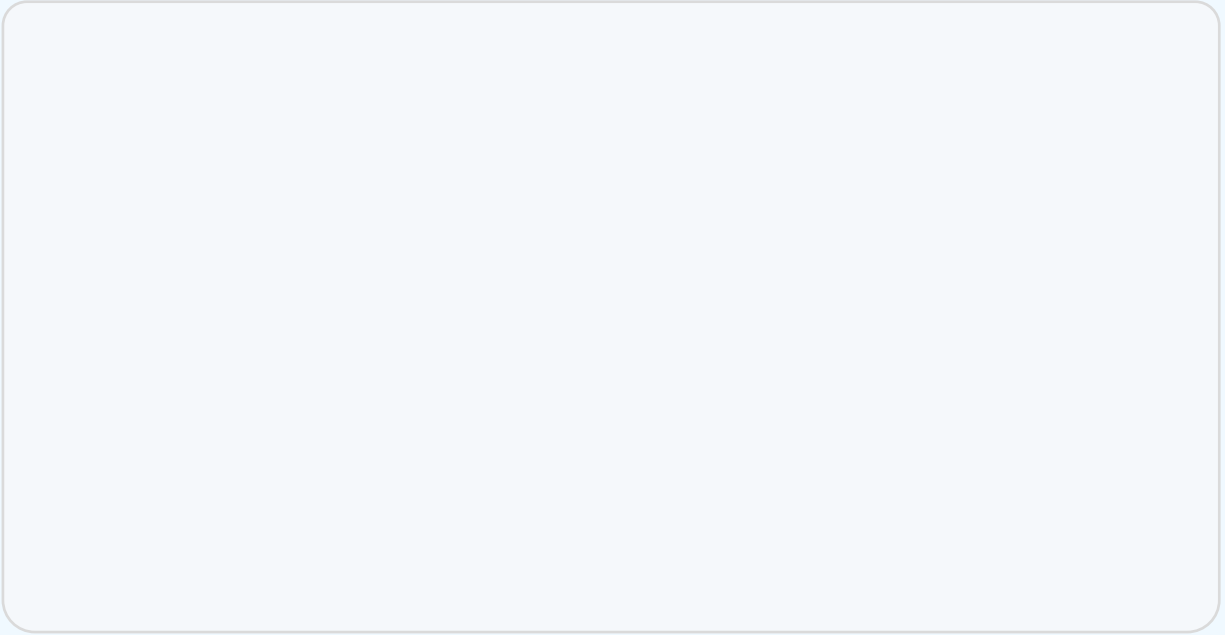
Probablemente no

Definitivamente no

¿Por qué?



Lo que más me gustó de esta actividad:



Aprende más sobre los sensores de presión y nivel

Endress+Hauser, líder mundial en instrumentación industrial, cuenta con excelentes recursos educativos sobre medición de presión.

Los sensores de nivel y presión que utilizaste en esta actividad son fabricados por ellos y se emplea ampliamente en aplicaciones reales de la industria para monitorear sistemas críticos con alta precisión y seguridad.

Te recomendamos este video que explica de forma profesional cómo funciona la medición de presión en aplicaciones industriales reales:

Ver video: “Principio de Medición de Presión de Endress+Hauser”

NOTA: Explica claramente los principios científicos detrás del sensor que usaste. Esta es una excelente oportunidad para profundizar tu conocimiento técnico sobre instrumentación industrial.





¡FELICITACIONES!



Has completado exitosamente la actividad **“GUARDIANES DEL TANQUE: NIVEL Y PRESIÓN EN ACCIÓN”**.

Aprendiste a usar equipo profesional de medición de nivel y presión, seguiste protocolos científicos de campo, analizaste datos como un verdadero técnico de instrumentación, y resolviste un caso para sistemas de agua en entornos críticos.

Estas habilidades son altamente valoradas en:

- Laboratorios ambientales
- Plantas de tratamiento de agua
- Industria farmacéutica
- Industria química
- Manufactura de alimentos y bebidas
- Agencias reguladoras ambientales

Ahora sabes cómo funciona la instrumentación industrial moderna. Has usado equipos profesionales y que se usan en fábricas reales todos los días.

La tecnología necesita personas como tú
Hay excelentes oportunidades de carrera, y
Puerto Rico tiene una industria fuerte que necesita técnicos
Cada máquina, cada fábrica, cada proceso necesita instrumentación

Recuerda

¿El próximo profesional en tecnología experto podrías ser TÚ?

Departamento de Tecnologías en Ingeniería (TEIN)

Universidad de Puerto Rico - Carolina

Este módulo fue desarrollado con apoyo de la National Science Foundation (NSF)
Propuesta #2434808 “EQUIPMENT: Strengthening Instrumentation Education at UPR Carolina”

© 2025 UPR Carolina | Para más información: stem.bridges@upr.edu





EQUIPMENT: Strengthening Instrumentation
Education at UPR Carolina:
Implementing New Resources and Practical Training
for Industry 4.0
2434808

UPR
CAROLINA

Contacto:

Teléfono: 257-0000 exts: 4976, 4964

Email: stem.bridges@upr.edu

Departamento de Tecnologías en Ingeniería
Universidad de Puerto Rico en Carolina