

HERRAMIENTA EDUCATIVA PARA LA SELECCIÓN DE TRANSDUCTORES INDUSTRIALES-VARIABLE PRESIÓN

EDUCATIONAL TOOL FOR THE SELECTION OF INDUSTRIAL TRANSDUCERS - VARIABLE PRESSURE

Francisco J. Araujo R., Nilka E. Quintero M., Oscar O. Cárdenas S.

Faculta de ingeniería, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. 5101.
email: araujoru@ula.ve

Recibido: 09-10-2025

Aceptado: 22-11-2025

RESUMEN

Se presenta el desarrollo de una herramienta educativa implementada con el lenguaje de programación Python. La herramienta diseñada, puede ser ejecutada en PC o laptops con sistema operativo Windows de 64 bits, no se necesita instalación. Presenta interfaces graficas con información teórica sobre los transductores de presión utilizados en entornos industriales. Consta de módulos de conversión de unidades de presión, módulo para la selección de un transductor considerando solo el rango de presión que se quiere medir, un módulo para la selección de un transductor a partir de varias alternativas aplicando las matrices de decisión, el cual lleva por denominación Método de Decisión de Selección Binaria (MDSB). Para la aplicación de este método, se desarrollaron algoritmos basados en criterios de decisión inéditos, sustentados en el Span de los transductores y en un Coeficiente Mínimo de Sensibilidad Inferior (CMSI), el cual actúa como factor decisorio en casos particulares. El método MDSB está diseñado para comparar de dos a cuatro transductores, pero es escalable a cualquier número de dispositivos. Su aplicación puede extenderse a la selección de transductores para otras variables industriales, como nivel, flujo o temperatura.

Palabras clave: Selección de transductores, Matriz de decisión binaria, Coeficiente Mínimo de Sensibilidad Inferior.

ABSTRACT

The development of an educational tool implemented in the Python programming language is presented. The designed tool can be run on PCs or laptops with a 64-bit Windows operating system; no installation is required. It presents graphical interfaces with theoretical information about pressure transducers used in industrial environments. It consists of pressure unit conversion modules, a module for selecting a transducer considering only the pressure range to be measured, and a module for selecting a transducer from several alternatives by applying decision matrices, which is called the Binary Selection Decision Method (BSDM). For the application of this method, algorithms were developed based on unprecedented decision criteria, supported by the transducer span and a Minimum Lower Sensitivity Coefficient (MLSC), which acts as a decisive factor in particular cases. The BSM method is designed to compare two to four transducers, but is scalable to any number of devices. Its application can be extended to the selection of transducers for other industrial variables, such as level, flow or temperature.

Key words: Pressure, Transducer Selection, Binary Decision Matrix, Minimum Lower Sensitivity Coefficient.

Araujo Ruza, Francisco Javier: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela. Personal docente y de investigación de la Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida-Venezuela. Email araujoru@ula.ve

Quintero Moreno, Nilka Eliana: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela.
Email nilkaeliana@gmail.com

Oscar Orlando Cárdenas Sandía: Ing. Electricista, Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela-1975.
Email :oscardenas2010@gmail.com

Introducción

En el mundo actual, el avance de la tecnología y la evolución de los métodos de enseñanza han dado lugar a herramientas educativas innovadoras. Estas herramientas están diseñadas para mejorar la comprensión y el manejo de la información, beneficiando tanto a docentes como a estudiantes y profesionales. En el campo de la ingeniería y la industria moderna, este progreso es especialmente importante en áreas como la instrumentación y el control de procesos, donde la precisión y la confiabilidad son esenciales. Dentro de este contexto, la medición de la variable de presión, es una operación fundamental que permite garantizar: seguridad, rendimiento y calidad en una amplia gama de aplicaciones industriales. Los transductores de presión, son dispositivos esenciales en todo el proceso que permiten convertir la presión en una señal eléctrica que puede ser medida y monitoreada.

Sin embargo, la selección, configuración y calibración adecuadas de estos dispositivos, representa un desafío, debido a la diversidad de aplicaciones y a las especificaciones técnicas de cada transductor.

Hoy en día, la selección de transductores de presión se basa en manuales técnicos donde se evalúan ciertas características, y luego se procede a seleccionar el transductor para la medición, pero este método se ha vuelto ambiguo y no eficiente a la hora de seleccionar un transductor de manera rápida y efectiva.

La problemática expuesta, se orienta entonces en dos vertientes: el desarrollo de herramientas didácticas que enriquezcan la formación académica de los estudiantes, permitiéndole desarrollar competencias prácticas en instrumentación industrial y la transformación del rol del docente en un guía o asesor durante el proceso de aprendizaje, y por otro lado, la necesidad de contar con software especializado que permita la comparación y elección de un transductor adecuado para cada aplicación particular, minimizando los riesgos de una selección incorrecta.

De la intersección entre la necesidad industrial y la innovación educativa, surge la interrogante. ¿Cómo unir la necesidad de la industria con la formación de los futuros profesionales? La respuesta se encuentra en el desarrollo de una Herramienta Educativa para la Selección de Transductores industriales-Variable Presión (HEST), herramienta que será portable y le permitirá al estudiante desarrollar destrezas en el campo de la instrumentación industrial, particularmente en la selección de transductores de presión.

MARCO TEÓRICO

Según Mero,¹ las herramientas digitales educativas en los actuales momentos, han fusionado y transformado drásticamente el paradigma educativo tradicional, las herramientas mejoran y motivan el aspecto del desarrollo de las destrezas de los estudiantes, al mismo tiempo crean en las mentes de los estudiantes un aprendizaje significativo, que empieza generando buenos hábitos de estudio, hasta saber utilizar una herramienta digital, incluso que el estudiante sea autosuficiente en sus actividades encomendadas para verificar el uso de los recursos en los educandos.

Diversas herramientas educativas han sido y están en desarrollo en la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Los Andes. Chacón,² presenta el desarrollo e implementación del “Laboratorio Vía Internet Para Control de Procesos”. La aplicación fue realizada en LabVIEW® de National Instruments® y se compone de dos módulos: prácticas simuladas y práctica real. El objetivo general de este trabajo es mostrar cómo se sintoniza un controlador PID, utilizando para ello el método a lazo abierto y cerrado, así como también observar el efecto que tiene la instrumentación sobre la estabilidad de un sistema.

En el Departamento de Circuitos y Medidas, se están desarrollando herramientas educativas por etapas, se puede mencionar de manera especial, el software denominado AnSIRE, desarrollado por Ruiz,³ el cual permite el análisis simbólico de circuitos, este se basa en la construcción de una

serie de rutinas, apoyadas en técnicas de representación y solución de circuitos a través de algoritmos y estructuras de datos, así como también la creación de distintas funciones para realizar las operaciones simbólicas y numéricas con la ayuda del Análisis Nodal Modificado (ANM) para circuitos eléctricos.

Fuera del ámbito de la Universidad de Los Andes, se pueden mencionar los siguientes antecedentes, Martínez,⁴ presenta el diseño de Herramientas Didácticas Enfocadas al Aprendizaje de Sistemas de Control Utilizando Instrumentación Virtual”, en este trabajo se describe el diseño de tres herramientas didácticas implementadas en el software de instrumentación virtual LabVIEW. Estas herramientas están enfocadas al análisis de estabilidad en sistemas de control, cada una de estas herramientas didácticas cuenta con una interfaz gráfica amigable al usuario.

Pineros,⁵ presenta un proyecto denominado “Implementación de aplicación móvil para afianzar la estrategia didáctica de aula invertida en el curso virtual de instrumentación industrial”, cuyo objetivo era mejorar la implementación de la estrategia didáctica aula invertida utilizada por la empresa Educatia SAS para sus cursos virtuales, especialmente para el curso de instrumentación industrial, en este trabajo se presenta el desarrollo de una aplicación móvil que permitía a los estudiantes configurar sus tiempos libres para la generación de alarmas o recordatorios que contenían los vínculos con la información que debía revisar, de esta forma se logró aumentar el porcentaje de estudiantes que observaban el material previo a la sesión de clase, lo cual mejoró la dinámica de la formación, la comprensión de los temas vistos en clase y un mayor tiempo destinado al desarrollo de actividades prácticas; lo cual aumentó el tiempo para la realización conjunta de actividades entre docente y estudiante e impactó positivamente en la comprensión de los temas revisados en clase.

En lo que respecta a herramientas educativas para la selección de instrumentos, López,⁶ presenta el desarrollo de un “Sistema

experto para la selección y especificación de instrumentos de medición de variables de proceso”, en este trabajo se expone la presentación de un sistema informático experto para la selección y especificación de instrumentos de medición de variables como; temperatura, presión, nivel y flujo, este sistema está constituido por una base de datos creada en Microsoft Access la cual constituye la base de conocimiento del sistema, el mecanismo de interferencia e interfaz con el usuario fueron realizadas con ayuda de Microsoft Visual, la base de datos de los instrumentos fueron obtenidos de catálogos de fabricantes en la rama de instrumentación y control de procesos. Se establecieron criterios de selección de los instrumentos, basados en información teórica, prácticas recomendadas, normas y consideraciones de los fabricantes.

OPERATIVIDAD DE HEST

HEST, es un software en desarrollo, que le permite al usuario acceder a información teórica y práctica sobre transductores de presión. Dentro de los contenidos teóricos, se encuentran: características de los instrumentos (Rango, términos relacionados con la señal, calidad de lectura, condiciones estáticas), tipos de transductores (eléctricos, mecánicos). Posee un conversor de unidades de presión, y aplicaciones para la selección de un transductor mecánico por rango de medición, y selección por Método de decisión de selección binaria.

Método de decisión de selección binaria

Para Cárdenas,⁷ el método de decisión de selección binaria, aplicado a la selección de instrumentos, se fundamenta en el empleo de matrices de decisión, las cuales permiten identificar de manera sistemática la mejor opción entre varias, para una aplicación específica. La aplicación del método se estructura en los siguientes pasos:

- 1) Seleccionar los parámetros relevantes: Se identifican el conjunto de características técnicas y operativas que podrían influir en la selección del instrumento.
- 2) Seleccionar los parámetros de análisis:

```

1 import tkinter as tk
2 from tkinter import ttk
3 from PIL import Image, ImageTk
4 from apps.components import rango, precision, linealidad, diafragma, tubo_bourdon, histeresis, def_metodo_binario
5 from apps.components import fuelle, transductor_resistivo, transductor_piezoeléctrico, transductor_capacitivo
6 from apps.components import referencias, transductor_strain, transductor_lvdt
7 from apps.components.conversor import abrir_conversor_unidades
8 from apps.components.seleccionador import abrir_seleccionador_transductores
9 from apps.components.metodo_binario import abrir_metodo_binario

```

Figura 1. Ejemplo de importación de módulos en el programa usando Python.

Se establecen, el conjunto de características que el usuario considere conveniente estudiar, descartando aquellos que no son importantes para el análisis, quiere decir que se seleccionan aquellos parámetros de mayor relevancia o importancia según la medición que se quiera realizar.

3) Construir la matriz de atributos. Esta matriz tiene como objetivo determinar la importancia relativa (ponderación) de cada atributo o parámetro seleccionado. Para ello, se disponen los parámetros, tanto en filas como en columnas y se realizan comparaciones binarias entre ellos. El usuario asigna un valor de “1” si el atributo de la fila es más importante que el de la columna, y “0” en caso contrario, en caso de considerarlos de igual importancia se le asigna un “0”. La suma de cada fila permite obtener una medida de prioridad relativa para cada atributo.

4) Construir la matriz de coeficientes de énfasis: En esta etapa se comparan los instrumentos respecto a cada atributo previamente definido. El propósito es establecer, de forma binaria, qué instrumento ofrece un mejor desempeño para cada parámetro. El resultado es un coeficiente de énfasis por instrumento y por atributo.

5) Construir la matriz de decisión: En este paso se integran los pesos de importancia de los atributos (obtenidos en el paso 3) con los coeficientes de énfasis de los instrumentos (del paso 4). Mediante la combinación de ambos conjuntos de datos, se calcula una puntuación global para cada alternativa, lo que permite identificar de forma cuantitativa la opción más adecuada para la aplicación específica. Es importante mencionar que, al realizar la matriz de decisión, el instrumento que tenga mayor valor ponderado de acuerdo a la importancia establecida para cada uno

de los instrumentos, será el instrumento a utilizar.

METODOLOGÍA

El desarrollo e implementación de HEST, se realizó usando el lenguaje de programación Python y librerías asociadas, entre las principales librerías empleadas se tienen: tkinter usada para realizar la interfaz gráfica y Numpy para la realización de operaciones matemáticas.

El software se implementó usando programación modular, donde cada función se organiza en módulos independientes, esto permite reutilizar el código y poderlo organizar de manera más eficiente.

En la Figura 1, se ilustra el proceso de importación de los módulos necesarios para la integración del programa. Se inicia con la carga de tkinter, la librería responsable de la interfaz gráfica, seguida por PIL (Pillow), utilizada para la visualización de imágenes dentro de dicha interfaz. Posteriormente, se importan los módulos desde la clase principal del sistema denominada app.components.

En la Figura 2, se muestra la clase App.Components, en ella se crea la base del programa, la raíz donde se implementa, la cabecera, el cuerpo, el desarrollo del menú, y el contenido que se divide en módulos.

Dentro de las clases se encuentran funciones, que son un conjunto de instrucciones cuya finalidad es realizar una tarea específica.

MODULOS DE HEST.

En la Figura 3, se muestra un esquema con los diferentes módulos de HEST. Los bloques asociados a Características de los instrumentos y tipos de transductores

```

34 class AppComponents:
35     def __init__(self, root):
36         self.root = root
37         self.header_frame = self.create_header()
38         self.body_frame, self.canvas, self.scrollable_frame, self.scrollbar = self.create_body()
39         self.footer_frame = self.create_footer()
40         self.menu = self.create_menu()
41         self.content_modules = {
42             "Rango": rango.create_content,
43             "Señal": precision.create_content,
44             "Calidad de lectura": linealidad.create_content,
45             "Características estaticas": histeresis.create_content,
46             "Diafragma": diafragma.create_content,
47             "Tubo de Bourdon": tubo_bourdon.create_content,
48             "Fuelle": fuele.create_content,
49             "Transductor Resistivo": transductor_resistivo.create_content,
50             "Transductor Piezoeléctrico": transductor_piezoelctrico.create_content,
51             "Transductor Capacitivo": transductor_capacitivo.create_content,
52             "Def. Metodo Binario": def_metodo_binario.create_content,
53             "Referencias": referencias.create_content,
54             "Transductor Strain Gage": tranductor_strain.create_content,
55             "Galgas": transductor_lvdt.create_content

```

Figura 2. Clase App.Components de HEST.

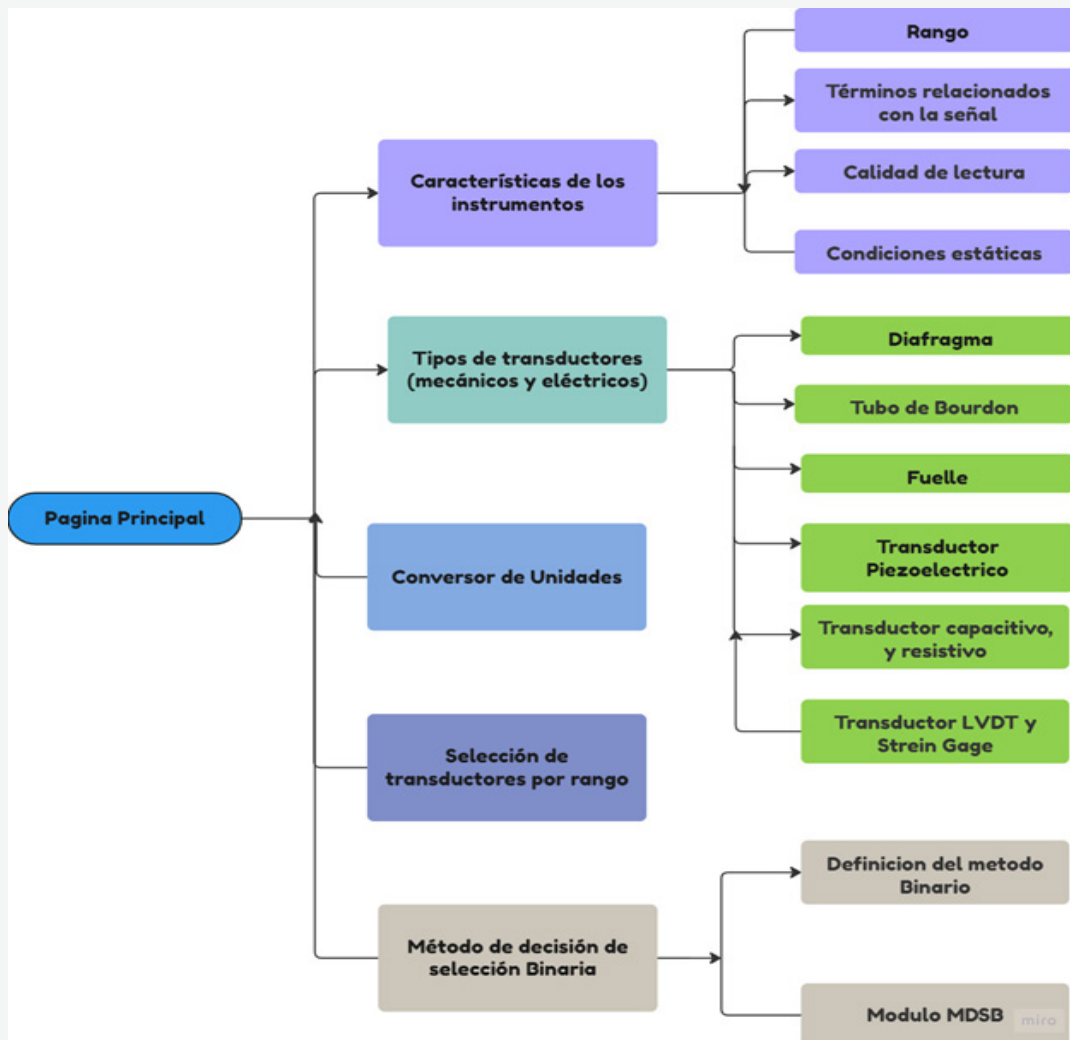


Figura 3. Esquema con módulos de HEST.

contienen información teórica, y los bloques: Conversor de unidades, selección de transductores por rango (para transductores mecánicos) y Método de Decisión de Selección Binaria, son bloques de aplicaciones prácticas.

Para cada uno de los bloques, se implementaron módulos en Python con las funciones necesarias para obtener resultados.

MODULO MDSB.

Este módulo en la herramienta educativa consta de dos pestañas, una teórica donde el usuario podrá revisar en que consiste el método binario y una pestaña de aplicación, donde una vez que se ingresan los datos necesarios, se realiza de MDSB de manera automatizada.

Al aplicar MDSB, las prioridades tanto para la matriz de atributos, como para las matrices de coeficientes de énfasis son establecidas por criterios y experiencia del usuario, por lo que la selección tiene un alto grado de subjetividad.

Para evitar la subjetividad del usuario, al momento de la creación de la matriz de coeficientes de énfasis, se desarrollaron criterios basándose en el Spam de los transductores, particularmente para aquellos casos en los que la característica a ser analizada presente un rango de medición y no un valor único.

Criterios desarrollados para la elaboración de las matrices de coeficientes de énfasis.

Con la finalidad de crear de manera automática las matrices de énfasis, en los casos en que la característica a ser evaluada presente un rango de medida, se establecen los siguientes criterios:

Primer criterio: El span de los transductores seleccionables, debe ser mayor al span de referencia del proceso. Este criterio se fundamenta en normas internacionales y prácticas de diseño industrial reconocidas: IEC 61511,⁸ IEC 60770,⁹ ANSI/ISA-84.00.01¹⁰ y guía de buenas prácticas API RP 551.¹¹

Esto asegura el cumplimiento de la seguridad (protección contra sobrecargas) y la calidad metrológica (operación en la zona lineal) del instrumento. Adicionalmente, esto permite tener una capacidad de ajuste para adaptarse a cambios en los puntos de referencia (setpoints), alarmas o límites de operación del proceso.

Segundo criterio: Con la finalidad de que la selección del transductor sea objetiva, se establecen las siguientes cotas o límites.

El valor mínimo del límite inferior del rango de los transductores seleccionables debe ser un 20% menor al valor mínimo del límite inferior del rango de referencia: De acuerdo con las normas IEC 61511, y guía de buenas prácticas API RP 551, el límite inferior del rango del instrumento debe estar entre 10% y 20%, del valor mínimo esperado de la variable del proceso. Esto permite asegurar la exactitud en la parte baja de la escala y mantener la resolución útil; esta práctica garantiza que el transductor pueda monitorear condiciones fuera del rango normal (arranques, paradas, fallas), evite la saturación de la señal y mantenga la integridad funcional del sistema de control. Además, facilita el uso de rangos estándar, mejora la capacidad de diagnóstico y permite la automatización confiable de las configuraciones instrumentadas.

El valor máximo del límite superior del rango de los transductores seleccionables debe ser 50% mayor al valor máximo del límite superior del rango de referencia: Se elige este valor considerando documentos o manuales de prácticas recomendadas de ingeniería API RP 551 y en criterios de diseño de empresas de ingeniería (experiencia profesional), que indican un porcentaje específico del 10% al 25% o el factor de 1,5 veces el valor máximo del límite superior del rango.

Cumplidos el primer y segundo criterio, se procede a establecer un tercer criterio.

Tercer criterio: Para establecer este criterio, se tomó como modelo de prueba la selección de un transductor a partir de tres alternativas. Estas tres alternativas de selección generaron 16 casos diferentes a ser considerados y a partir de los cuales

Tabla 1. Casos de estudio para matriz 3X3

Caso	Condición
1	Límites inferiores y límites superiores del rango de los transductores de igual valor – span iguales
2	Límites inferiores del rango iguales y límites superiores del rango diferentes – span diferentes
3	Límites inferiores del rango diferentes y límites superiores del rango iguales – span diferentes
4	Límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango diferentes – dos span iguales
5	Límites superiores del rango iguales y dos límites inferiores del rango diferentes – dos span iguales
6	Dos límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango iguales no pareados – dos span iguales
7	Dos límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango iguales pareados – dos span iguales.
8	Dos límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango iguales no pareados – tres span diferentes
9	Dos límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango iguales no pareados – tres span iguales
10	Dos límites inferiores del rango iguales y tres límites superiores del rango diferentes – dos span iguales
11	Límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango diferentes – tres span diferentes
12	Límites inferiores del rango iguales y dos límites superiores del rango diferentes – dos span iguales
13	Dos límites inferiores del rango iguales y tres límites superiores del rango diferentes – tres span diferentes
14	Límites inferiores del rango iguales y límites superiores del rango diferentes – span diferentes
15	Límites inferiores del rango iguales y límites superiores del rango diferentes – dos span iguales
16	Límites inferiores del rango iguales y límites superiores del rango diferentes – tres span iguales

Fuente: Araujo, Cárdenas, Quintero

se debía crear la matriz de coeficientes de énfasis, Los casos se presentan en la Tabla 1.

Tomando los datos mostrados en la Tabla 1, se procedió a la prueba e implementación de algoritmos con diferentes estructuras y condiciones de decisión que dieran solución a los casos presentados.

Se desarrolló e implemento en Python un algoritmo basado en comparación de span de los transductores y de un coeficiente

adimensional al que se le asigna el nombre de Coeficiente Mínimo de Sensibilidad Inferior (CMSI). El CMSI, el cual se utiliza en aquellos casos donde se puedan presentar span iguales entre diferentes alternativas y su valor viene dado por:

$$CMSI = \left| \frac{Liminf_{RT_{ref}} - Liminf_{RT_i}}{Span_{Ref}} \right| \quad \text{ec. 1}$$

Donde:

$Liminf_{RT_{ref}}$ =Valor numérico del limite inferior del rango del transductor de referencia

$Liminf_{RTi}$ =Valor numérico del límite inferior del rango del transductor a seleccionar

$Span_{Ref}$ = límite superior del rango de referencia- límite inferior del rango de referencia

El CMSI se enfoca o se fundamenta en el uso de los límites inferiores, esto para asegurar que las condiciones mínimas de operación y el cero físico del proceso estén completamente cubiertos, garantizando que el transductor nunca se sature ni pierda señal en condiciones de bajo valor.

Es importante destacar que, en esta primera herramienta educativa, no se consideran los límites superiores, sin embargo, se están desarrollando estructuras de decisión basadas en un nuevo coeficiente denominado Coeficiente Máximo de Sensibilidad Superior (CMSS), para aquellos casos que presenten span iguales entre diferentes alternativas de transductores, donde se les da una mayor relevancia a las características estáticas en los extremos superiores del rango de medición. Los primeros resultados indican que se pueden presentar casos de vinculación entre el CMSI y el CMSS (en desarrollo).

Para una mejor comprensión del concepto del CMSI, se presenta el análisis del siguiente caso, donde se quiere establecer la matriz de coeficientes de énfasis para los transductores mostrados en la Tabla 2, los cuales cumplen con el primer y segundo criterio, de acuerdo a las condiciones de operación o referencia de valor (20-120) psi.

Tabla 2. Opciones para la selección de transductor de presión

Transductor de Presión	Rango de Presión (psi)
TP1	15-130
TP2	15-135
TP3	18-138

Fuente: Araujo, Cárdenas, Quintero

En la Tabla 3, se muestran los resultados de los span y CMSI de cada uno de los transductores seleccionables.

Tabla 3. Span y CMSI de los transductores

Transductor de Presión	CMSI	Span Transductores
TP1	0,25	115
TP2	0,25	120
TP3	0,10	120

Fuente: Araujo, Cárdenas, Quintero

Con los datos de la Tabla 3, se establecen las estructuras de decisión para asignación del valor 0 ó 1 en la matriz de coeficientes, en este caso TP1 prevalece sobre TP2 y TP3 por tener menor span, luego la comparación entre los transductores TP2 y TP3 que presentan igual span, debe decidirse por el CMSI, en este caso el menor CMSI lo tiene TP3, por lo que prevalece TP3 sobre TP2, quedando entonces la matriz mostrada en la Tabla 4.

Tabla 4. Matriz de Coeficientes de énfasis

	TP1	TP2	TP3
TP1	0	1	1
TP2	0	0	0
TP3	0	1	0

Fuente: Araujo, Cárdenas, Quintero

Los resultados obtenidos por el algoritmo desarrollado usando CMSI, fueron validados por un especialista en el área y pueden ser aplicados a matrices nxn.

RESULTADOS

Al ejecutar la aplicación HEST.exe, el usuario podrá ver la ventana de inicio mostrada en la figura 4. En esta ventana de inicio, el usuario podrá navegar por las pestañas, desplegar las ventanas con información teórica y acceder a las aplicaciones.

En las pestañas superiores, Características de los instrumentos y Tipos de transductores, se despliegan las opciones que contendrán la información teórica relacionada con estos tópicos.

De la misma manera, al seleccionar el



Figura 4. Ventana de inicio de HEST

Tabla 5. Transductores y características.

Transductor de Presión	Exactitud ($\pm\%F E$)	Repetibilidad ($\pm\%F E$)	Rango de Temperatura ($^{\circ}F$)	Rango de Presión (psi)
TP1	0,25	0,05	12 a 150	15-130
TP2	0,15	0,25	12 a 140	15-150
TP3	0,25	0,15	15 a 140	12-125
TP4	1	0,25	15 a 155	10-135

Fuente: Araujo, Cárdenas, Quintero

botón Conversor, el usuario podrá realizar conversión de unidades de la variable presión, en el campo de entrada valor a convertir, se debe ingresar el valor que se desea convertir luego seleccionar la variable de origen y así mismo la variable de destino, luego presionar el botón convertir y así obtener el resultado.

Presionando el botón Selector de la pestaña superior, se despliega una ventana donde el usuario podrá introducir el valor de presión en PSI, y el programa le indicará que transductor mecánico usar, el resultado se muestra en la figura 5.

Para la validación del Método MDSB, se procedió a realizar la selección de un transductor de presión, escogiendo entre las alternativas presentadas en la tabla 5.

La selección debe establecerse de acuerdo a las condiciones de operación presentadas en la Tabla 6.

Al seleccionar la pestaña método Binario, y ejecutar el módulo MDSB, de acuerdo a lo especificado en el manual de operación,

se obtienen los resultados mostrados en la Figura 6, donde se pueden apreciar: la matriz de importancia y las matrices de coeficientes de énfasis para cada atributo, así como las ponderaciones encontradas para cada transductor en términos de la matriz solución (S) y la selección de cuál transductor es el adecuado para la medición que se desea realizar. En este ejemplo el Transductor identificado como T1, el cual presenta el mayor valor ponderado, es el seleccionado.

Tabla 6. Condiciones de operación

Característica	Valor
Exactitud	Mejor que 1,5 % FE
Repetibilidad	Mejor que 1 % FE
Temperatura ($^{\circ}F$)	(15-150) $^{\circ}F$
Presión	(15-100) psi

Fuente: Araujo, Quintero, Cárdenas

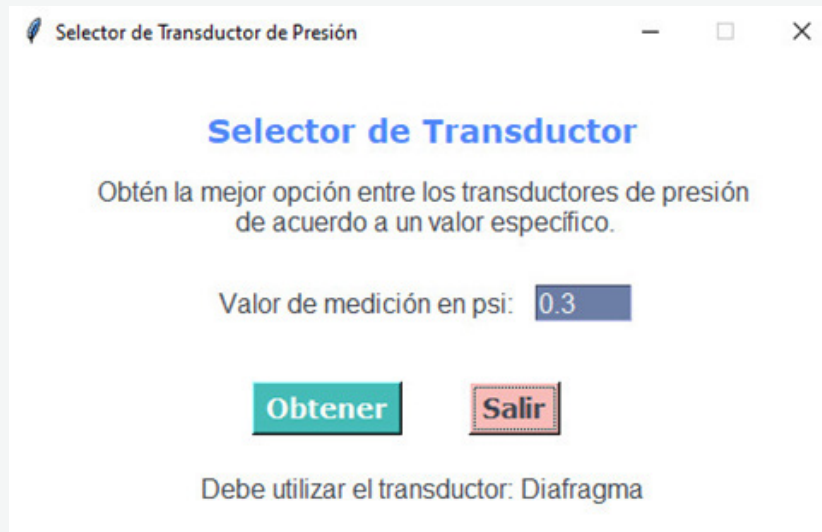


Figura 5. Ventana de inicio de HEST

¡Resultados calculados!		
Matriz de Importancia:	Matriz de Énfasis para Repetibilidad:	Matriz de Énfasis para R. Medida:
[0, 1, 1, 1]	[0, 1, 1, 1]	[0, 1, 0, 1]
[0, 0, 1, 1]	[0, 0, 0, 0]	[0, 0, 0, 0]
[0, 0, 0, 0]	[0, 1, 0, 1]	[1, 1, 0, 1]
[0, 0, 1, 0]	[0, 0, 0, 0]	[0, 1, 0, 0]
Sumatoria: 6	Sumatoria: 5	Sumatoria: 6
Pesos: [0.5, 0.333, 0.0, 0.167]	Pesos: [0.6, 0.0, 0.4, 0.0]	Pesos: [0.333, 0.0, 0.5, 0.167]
Matriz de Énfasis para Exactitud:	Matriz de Énfasis para R. Temperatura:	Resultados S:
[0, 0, 0, 1]	[0, 0, 0, 1]	S1: 0.355
[1, 0, 1, 1]	[1, 0, 0, 1]	S2: 0.3
[0, 0, 0, 1]	[1, 1, 0, 1]	S3: 0.317
[0, 0, 0, 0]	[0, 0, 0, 0]	S4: 0.028
Sumatoria: 5	Sumatoria: 6	
Pesos: [0.2, 0.6, 0.2, 0.0]	Pesos: [0.167, 0.333, 0.5, 0.0]	Mejor Transductor: T1

Figura 6. Matrices de importancia, de énfasis por atributo y solución aplicando MDSB

Conclusiones

Se diseñaron y validaron módulos de aprendizaje que abordan de manera sistemática conceptos esenciales asociados a los transductores entre los cuales se tiene; las características y las especificaciones de los instrumentos de medición, así como los criterios necesarios para la selección de transductores de presión en procesos industriales.

Se diseñaron e implementaron criterios basados en Span y en estructuras condicionadas para la creación de la matriz de coeficientes de énfasis, necesaria en la aplicación MDSB. Se presenta por primera vez el Coeficiente Mínimo de Sensibilidad Inferior (CMSI), que funciona como elemento decisor en aquellos casos en los cuales se tiene la presencia de Span iguales entre transductores al momento de la creación de la matriz de coeficientes de énfasis.

Se diseño e implemento un módulo de aprendizaje que permite seleccionar un transductor de presión aplicando MDSB, en el cual el usuario no influye con criterios subjetivos en la creación de las matrices de énfasis entre transductores.

Por ser una versión Beta, el módulo o aplicación MDSB en la herramienta educativa, puede usarse para un rango de entre dos y cuatro transductores, esto debido a que el manejo de ventanas gráficas con la librería tkinter, se diseñó para mostrar resultados para tal cantidad de transductores, sin embargo, el algoritmo de cálculo y decisión implementado en Python, permite seleccionar entre n cantidad de transductores, por lo tanto, es escalable y para mostrar los resultados deben incorporarse ventanas gráficas adicionales.

El módulo MDSB, puede ser utilizado para cualquier otra variable como Nivel, Flujo, Temperatura entre otras, sólo se deben modificar o crear nuevas ventanas gráficas mediante Tkinter y ajustes al código Python para etiquetado.

Referencias

- 1.- Mero-Ponce J. Herramientas digitales educativas y el aprendizaje significativo en los estudiantes. Rev Cient Dominio Cienc [Internet]. 2021 [citado 2025 Jul 01];7(1):712-724. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8385914>.
- 2.- Chacón E. Laboratorio vía internet para control de procesos [Tesis de maestría, Universidad de Los Andes]. 2004.
- 3.- Ruiz, A. Análisis simbólico de circuitos. Parte 1: Motor de cálculo (Tesis de Pregrado, Universidad de Los Andes). (2017).
- 4.- Martínez J, Padilla A, Rodríguez E, Jiménez A, Orozco H. Diseño de herramientas didácticas enfocadas al aprendizaje de sistemas de control utilizando instrumentación virtual. Rev Iberoam Automat Inform Ind. [Internet]. 2017 [citado 2025 Jul 06];7(1):712-724.;14(4):424-433. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.riai.2017.03.003>
- 5.- Piñeros J. Implementación de aplicación móvil para afianzar la estrategia didáctica de aula invertida en el curso virtual de instrumentación industrial [Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey]. 2021. Disponible en: <https://repositorio.tec.mx>
- 6.- López N, Roció R. Sistema experto para la selección y especificación de instrumentos de medición de variables de proceso [Trabajo de grado, Pregrado, Universidad Central de Venezuela]. 2001. Disponible en: <https://saber.ucv.ve/bitstream/10872/6810/1/Binder1.pdf>
- 7.- Cárdenas O. Transductores para procesos industriales. Mérida (Venezuela): Universidad de Los Andes; 2010. 335 p.
- 8.- International Electrotechnical Commission. IEC 61511: Functional safety — Safety instrumented systems for the process industry sector. 3rd ed. Geneva: IEC; 2016.
- 9.- International Electrotechnical Commission. IEC 60770: Transmitters for use in industrial-process control systems. Geneva: IEC; 1993–2014.
- 10.- International Society of Automation. ANSI/ISA-84.00.01: Functional safety: Safety instrumented systems for the process industry sector. Research Triangle Park (NC): ISA; 2004–2018.
- 11.- American Petroleum Institute. API RP 551: Process Measurement. 2nd ed. Washington (DC): API; 2021.