
La inteligencia artificial en un instrumento de medición de contenido de agua en suelos

Artificial Intelligence in a measuring instrument of water content in soils

Hector Molina Garrido,¹ Rosario Aldana Franco,² Fernando Aldana Franco³
y Ervin Jesús Álvarez Sánchez⁴

Sumario: 1. Introducción, 2. Desarrollo, 2.1 La construcción y el contenido de agua en los suelos, 2.2 La inteligencia artificial y los instrumentos o sistemas de medición, 2.3 Aplicaciones de la inteligencia artificial en sistemas o instrumentos de medición y sus ventajas, 2.4 La ética en el uso de la inteligencia artificial, 2.5 Futuro de la inteligencia artificial en Instrumentos o sistemas de Medición, 3. Conclusiones, Fuentes de información

Resumen

La inteligencia artificial (IA) ha evolucionado en diferentes campos de la tecnología, un área importante es el desarrollo de instrumentos de medición basados en sistemas inteligentes y enfocado específicamente en la medición del contenido de agua en muestras de suelo. Para determinar el contenido de agua en los suelos, existen los métodos indirectos y el gravimétrico ya desarrollados. La ejecución del método conlleva mantener condiciones de seguridad, equipamiento y personal capacitado. Los tiempos para la determinación van de 15 minutos hasta 24 horas para métodos indirectos y gravimétrico, respectivamente. En

¹ Ingeniero Mecánico Electricista, maestro en Ingeniería de la Calidad; estudiante de doctorado en Ingeniería por la Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. Experto técnico en la Entidad Mexicana de Acreditación, A.C., en las áreas de construcción (ETCO-085-LE), calibración-fuerza (ETFU-022-LC) y calibración-masa (ETMA-086-LC).

² Ingeniera Mecánica Electricista, maestra en Inteligencia Artificial; doctora en Neuroetología y en Educación, miembro del SNII nivel candidato. Académica de tiempo completo, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. raldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0503-6024>

³ Ingeniero en Instrumentación Electrónica, maestro en Inteligencia Artificial, doctor en Inteligencia Artificial, miembro del SNII nivel candidato. Técnico académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. faldana@uv.mx <https://orcid.org/0000-0003-4532-8782>.

⁴ Ingeniero Mecánico Electricista, maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, doctor en Ciencias en Ingeniería Eléctrica, miembro del SNII nivel 1. Académico de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. eralvarez@uv.mx <https://orcid.org/0000-0002-0790-0429>.

la determinación del contenido de agua es necesario conocer el tipo de material analizado; una operación eficiente mediante la disminución de los tiempos, los riesgos laborales y el costo en su ejecución, así como un resultado confiable. Lo anterior se puede realizar incorporando la IA en el instrumento de medición para determinar el contenido de agua.

Palabras clave: redes neuronales artificiales, humedad del suelo, sistemas de medición.

Abstract

Artificial intelligence (AI) has evolved in different areas of technology. An important area is the development of measuring instruments based on intelligent systems and specifically focused on the measurement of water content in soil samples. To determine the water content, there are the gravimetric method and indirect methods already developed. The execution of the method involves maintaining safety conditions, specialized equipment, and personnel trained. Determination times range from 15 minutes to 24 hours for indirect and gravimetric methods respectively. In the determination of water content, it is necessary to know the type of material analyzed and an efficient operation through, reduction of times, occupational risks, cost in its execution, as well as a reliable result. This can be done by incorporating AI into the measuring instrument to determine the water content.

Keywords: Artificial neural networks, soil moisture, measurement systems.

1. Introducción

La IA es una herramienta que utiliza gran cantidad de datos y algoritmos computacionales para dar solución a problemas específicos de cierta rama o especialidad, que se ha vuelto parte de la vida diaria. Se emplea en los exploradores de internet, en algunas aplicaciones, en sistemas de medición y en los teléfonos inteligentes. En general, con la IA se busca ayudar y optimizar las actividades que desarrolla el ser humano o, en algunos casos, imitar la inteligencia humana (Rebollo Delgado, 2023).

El objetivo de este capítulo es introducir la IA en la necesidad del área de la construcción, referente a la determinación del contenido de agua de los materiales; revisar, de manera general, cómo han evolucionado los instrumentos o sistemas de medición y cómo se está empleando la IA para la mejora de los sistemas. Asimismo, determinar los beneficios de usar la IA en un instrumento para determinar el contenido de agua en los suelos, cuidando en todo momento la ética en el desarrollo, aplicación y usos de los sistemas para el beneficio de la sociedad.

2. Desarrollo

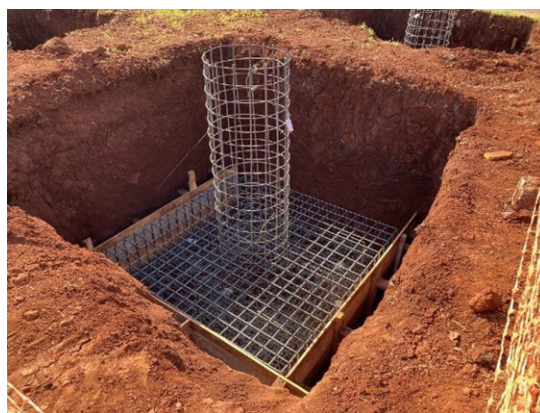
2.1 La construcción y el contenido de agua en los suelos

En la vida cotidiana se ven diversas construcciones: viviendas, vías de comunicación, puentes, escuelas, edificaciones donde las personas trabajan; plantas de generación de energía, parques eólicos, parques fotovoltaicos, aeropuertos, entre otras. Para que las construcciones sean seguras, es indispensable que cumplan con diversas especificaciones, una de estas es la característica y acomodo del suelo donde se colocará su cimentación, para que no se presenten asentamientos y futuros problemas en la estructura.

Ante esta situación, se plantean algunas preguntas: ¿cómo se mide el acomodo del suelo? ¿Qué parámetros están involucrados? ¿Quién realiza estas mediciones? El acomodo del suelo de una cimentación (ver figura 1) se mide por su compactación y la unidad de medida es en porcentaje. Se utilizan dos variables que son la masa volumétrica seca suelta y el contenido de agua del suelo. La variable en la que se centrará este análisis es el contenido de agua del suelo.

Los que realizan las pruebas de contenido de agua son los laboratorios de control de calidad de materiales para la construcción y los constructores durante su proceso constructivo, para asegurar que el contenido de agua sea el adecuado y la compactación cumpla las especificaciones de proyecto (Guerra Torralbo, 2018; González, 2002).

Figura 1: Cimentación. Fuente: San Marcos, 2024



Para poder determinar el contenido de agua en los suelos, los laboratorios utilizan métodos normalizados que se clasifican en directos e indirectos. El método directo es el gravimétrico, en el que se requiere de horno (ver figura 2) o estufa y una balanza (ver figura 3) para realizar el proceso de secado del material. Este método requiere

de aproximadamente 30 minutos con el uso de estufa o 24 horas utilizando un horno; actividades que generan contaminación al medio ambiente y presentan probabilidad de riesgos laborales (ASTM D2216-19; NMX-C-503-ONNCCE-2019; NMX-C-475-ONNCCE-2013).

Figura 2: Horno. Fuente: Despathc, 2024



Figura 3: Balanza. Fuente: Ohaus, 2024



El método indirecto utiliza un instrumento de medición con un principio de retrodispersión de neutrones para la determinación del contenido de agua, es necesario contar con fuentes de radiación ionizante, lo cual genera contaminación y riesgos laborales (ASTM D2922-05).

Se cuenta con otros métodos indirectos como el método de la constante dieléctrica compleja, impedancia compleja, resistencia eléctrica, capacitancia eléctrica, en los cuales se realiza una correlación del contenido de agua con la respuesta al principio de medición indirecta (James, 2022; ASTM D7698-21; Caicedo Rosero et al., 2021; Caro, 2014).

Derivado de lo anterior, es necesario aplicar alternativas para la determinación del contenido de agua en los suelos, que sean amigables con el medio ambiente y faciliten la actividad de los constructores o laboratorios al realizar la medición.

2.2 La inteligencia artificial y los instrumentos o sistemas de medición

Se escucha hablar de la IA y cómo esta ha cambiado la forma de realizar algunas tareas o procesos. Pero se tienen algunas interrogantes: ¿cómo surge la inteligencia artificial?, ¿qué es?, ¿dónde se utiliza?, ¿cómo puede incorporarse en los instrumentos de medición? A continuación, de manera general, se abordan las respuestas a estas interrogantes.

Al tener necesidades como resolver problemas, analizar grandes cantidades de datos con mayor rapidez, tomar decisiones de manera eficiente y dar instrucciones de manera automática en ciertos procesos, se ha dado pie al desarrollo de la IA.

En este contexto, la IA es el resultado de programar una computadora para que realice o simule la inteligencia humana para resolver problemas o realizar algunas actividades; se apoya de tecnologías para ejecutar diferentes funciones, como analizar datos, dar recomendaciones, replicar o traducir el lenguaje escrito y hablado, capacidad para ver, seleccionar, calcular mediante algoritmos y tomar decisiones (Rebollo Delgado, 2023; Meseguer González y López de Mántaras Badia, 2017; Russell y Norvig, 2004).

La IA tiene diferentes desarrollos de aplicación, como las redes neuronales que automatizan actividades. Estas son sistemas que piensan como humanos, toman decisiones y resuelven problemas; los robots que actúan como humanos con apoyo de computadoras y una estructura mecánica ejecutan tareas que hacen las personas, los sistemas expertos que piensan racionalmente simulan el pensamiento de los humanos y los agentes inteligentes que tratan de imitar el comportamiento humano (Rebolledo Delgado, 2023).

Ahora que se conocen las diferentes aplicaciones que tiene la IA, se describen los diferentes tipos de instrumentos de medición, para posteriormente analizar cómo la IA puede mejorarlos.

Los instrumentos de medición son indispensables en las diferentes disciplinas como son la ingeniería química, ingeniería eléctrica, ingeniería mecánica, la medicina, agronomía, ingeniería civil, ingeniería aeroespacial, entre otras.

Los instrumentos proporcionan información cuantitativa de las mediciones en las diferentes variables, dentro de estos están las básculas o balanzas, los termómetros, los manómetros, los indicadores de cuadrante, dinamómetros, los voltímetros, los amperímetros, los óhmetros, capacitímetros, pHmetros, viscosímetros, densímetros, barómetros, goniómetros, y muchos más.

Todos estos instrumentos de medición se originaron bajo la premisa de que su medición es tomada por los operarios de los procesos; así mismo, los operarios deberían tomar la decisión en el proceso, de acuerdo con las lecturas obtenidas o, en su caso, analizar todas las mediciones registradas.

A continuación, se muestran algunos equipos diseñados para la toma de lectura directa del operador. La figura 4 es un calibrador o vernier digital, la figura 5 es un manómetro análogo, la figura 6 es un analizador de humedad termobalanza y la figura 7 es un multímetro.

Con la dinámica de los procesos, en la actualidad, es necesario que se tomen decisiones en tiempo real con una o más variables, lo cual hace más complicada la tarea de los operarios

Figura 4: Calibrador digital.
Fuente: Mitutoyo, 2024



Figura 5: Calibrador digital.
Fuente: Mitutoyo, 2024



Figura 6: Analizador de humedad termobalanza. Fuente: Ohaus, 2024



Figura 7: Multímetro.
Fuente: Fluke, 2024



en la toma de la lectura de los equipos o sistemas de medición y su consecuente registro; por lo anterior, fue necesario iniciar la automatización de la toma de las lecturas y con ello almacenar los registros, para que los operarios puedan analizar y tomar decisiones eficientes en menor tiempo.

Debido a la cantidad de información que proporcionan los instrumentos o sistemas de medición en los procesos y la velocidad requerida en la toma de decisiones, se requiere de una herramienta que analice y actúe de manera automática.

En el caso de los procesos en el ramo de la construcción; en específico en la determinación del contenido de agua en los suelos, se requiere un instrumento de medición automático y confiable, que proporcione el contenido de agua considerando las variables que impactan en la medición, como el tipo de suelo, el sensor utilizado y su temperatura, de tal forma que es indispensable contar con un instrumento de medición que sea empático con el medio ambiente y el operario, además de optimizar los costos en la ejecución.

2.3 Aplicaciones de la inteligencia artificial en sistemas o instrumentos de medición y sus ventajas

Retomando las necesidades en los instrumentos de medición, para hacerlos independientes en el registro de las mediciones, en el análisis de datos y la toma de decisiones, se tienen varias interrogantes: ¿cómo se puede aplicar la inteligencia artificial en un instrumento de medición? ¿Qué ventajas tiene el incorporar la inteligencia artificial en un instrumento de medición? A continuación, se describen estos paradigmas con la IA.

La IA, por su adaptabilidad, se aplica de diferentes maneras en los instrumentos de medición. Se puede utilizar para recopilación de los registros de medición tomados por el instrumento. Es posible aplicarla para modelar el comportamiento de los datos con algoritmos específicos que se adapten a la información obtenida. Se puede adecuar para analizar la información y determinar tendencias. Se puede complementar incluyendo límites de control para determinar alarmas o indicadores que alerten a los usuarios del instrumento o del proceso que se está monitoreando. Asimismo, es posible adecuar el instrumento para que tome decisiones en los procesos de acuerdo con los datos obtenidos.

A continuación, se muestran algunos ejemplos de la aplicación de la IA, en la figura 8 se puede observar la utilización de cámaras conectadas a un sistema de inspección por visión, la figura 9 es un sistema de medición utilizando sensores inteligentes, la figura 10 es un sistema de medición de temperatura que corrige y controla la temperatura en tiempo real en una máquina de medición de coordenadas, en la figura 11 se puede observar un sistema que previene accidentes y envía alertas, mediante el reconocimiento facial de conductores para detectar distracciones e indicadores de cansancio al conducir.

Figura 8: Cámaras inteligentes y sistemas de inspección por visión. Fuente: Mettler Toledo, 2024



Figura 9: Integración de sensores digitales inteligentes. Fuente: Mettler Toledo, 2024



Figura 10: Sensores sofisticados detectan y corrigen la temperatura en tiempo real en la máquina de medición de coordenadas. Fuente: Mitutoyo, 2024



Figura 11: Video analítica enfocada a seguridad vial utilizando el reconocimiento facial de conductores para detectar distracciones e indicadores de cansancio al conducir, enviando alertas al instante, previniendo accidentes. Fuente: Introid, 2024



El uso de la IA logra mejores resultados en el análisis del contenido de agua y la textura de los suelos, desde una perspectiva del análisis robusto, preciso y rápido, para el control del nivel de humedad en los suelos, donde se analiza la información proporcionada por un sensor, empleando redes neuronales artificiales (Awais, 2023).

Un avance significativo en la determinación de propiedades de los suelos es el uso de la inteligencia artificial para obtener la resistencia a la compresión sin confinamiento, el contenido de humedad óptimo y la densidad seca máxima de los suelos utilizando propiedades básicas de estos, logrando predicciones confiables y optimización de los recursos (Taffese & Abegaz, 2021).

Con las diversas aplicaciones que se le pueden dar a la IA en los instrumentos o sistemas de medición, se tienen algunas ventajas, como recopilación de gran cantidad de mediciones, rapidez en la obtención de resultados, reducción de errores humanos, análisis de datos en tiempo real, automatización en la toma de decisiones en los procesos, predicciones de mediciones futuras de acuerdo con el comportamiento registrado y envío de alertas del estado de las mediciones.

Para el caso de instrumentos de medición del contenido de agua, se pueden obtener varios beneficios, entre los cuales están el uso simultáneo de diversos sensores en la medición,

seleccionar el mejor sensor por el tipo de suelo y contenido de agua analizado, el análisis de las mediciones en pocos segundos mediante algoritmos de aprendizaje de máquina para entrenar redes neuronales artificiales, la determinación del tipo de suelo analizado, proporcionar un valor confiable en la medición, disminuir los recursos utilizados para la medición, aumentar la capacidad instalada del laboratorio y, que se cuente con un instrumento de medición amigable con el medio ambiente y el usuario.

Al realizar un análisis de los beneficios que tiene esta fusión del instrumento de medición y la inteligencia artificial (IA), es posible identificar que impacta directamente a cinco objetivos de la Agenda 2030: el objetivo 3, Salud y bienestar; el 7, Energía asequible y no contaminante; el 8, Trabajo decente y creciente; al objetivo 9, Industria, innovación e infraestructura; el 13, Acción por el clima (Naciones Unidas, 2024). También aporta para el desarrollo de la sociedad 5.0, en la que la tecnología existe para servirle, en un entorno sostenible y de uso racional de los recursos naturales (Rodríguez-Abitia et al., 2022).

2.4 La ética en el uso de la inteligencia artificial

Al utilizar la IA se tienen cuestionamientos importantes: ¿se estará realizando correctamente la actividad con el algoritmo programado? ¿Me proporciona información sin ningún sesgo? ¿Tomará en cuenta la información que se ingresa para procesar y dar un resultado? A continuación, se describen las necesidades legales para el control de la IA.

Las aplicaciones mencionadas en la IA hacen suponer una nueva evolución tecnológica que tiene impacto en lo social, económico y político; sin dejar de lado el aporte que tenga en lo ambiental. La IA maneja gran cantidad de información y aplicaciones en su utilización. Debido al amplio impacto que esto conlleva, es necesario regular el alcance, uso y dirección que se le otorga a la IA.

Los aspectos importantes a tener en cuenta, en el ámbito social, son los derechos de los trabajadores y la información confidencial; por parte de quien lo diseña, el resguardo de la propiedad intelectual, así como el buen uso o la privacidad de las aplicaciones. La regulación debe impactar en la protección por el mal uso, mal funcionamiento y, en su caso, cómo reclamar los derechos por algún daño ocasionado derivado del funcionamiento de la IA (López-Amo Sainz, 2024).

Es fundamental observar estas regulaciones, para que el desarrollo y uso de la IA se apliquen de la manera más ética, responsable y objetiva posible para la toma de decisiones, sin sesgos de preferencias o búsquedas de información; así como tendencias malintencionadas para control de los usuarios en sus decisiones o selecciones, estos aspectos recaen en la ética del desarrollador y la organización que la utilice para los fines planeados (López-Amo Sainz, 2024).

En México se tiene un avance en este sentido, ya que se cuenta con la Ley de Protección de Datos Personales en posesión de los particulares; el objetivo es regular la privacidad y el derecho de la información de las personas. Esto es un avance para el caso del uso de IA que contenga información de las personas, ya que cualquier programa o sistema debe cumplir con esta ley (Ley Federal de Protección de Datos Personales en Posesión de los Particulares, 2010).

2.5 Futuro de la inteligencia artificial en instrumentos o sistemas de medición

En los instrumentos o sistemas de medición, la IA tiene un futuro favorable. Con los avances de la IA y su unión con el internet de las cosas (IoT) proveerán de una manera eficiente la conexión de instrumentos o sistemas de medición con los dispositivos que se usan, accediendo a la información en tiempo real para la toma de decisiones, y todavía más allá: con el aprendizaje automático se visualiza una mejora en la medición, en estos instrumentos o sistemas.

Para los instrumentos de medición del contenido de agua, se espera que, mediante la IA, se mejore la eficiencia en la medición y el aprendizaje automático. Estos sistemas de medición apoyados con el IoT podrán interconectarse con las bases de datos de diferentes instrumentos para reforzar el aprendizaje de los diversos materiales, incrementando su capacidad de respuesta en la medición.

3. Conclusiones

La IA impulsa el desarrollo de los instrumentos y sistemas de medición del contenido de agua en los suelos, introduciendo esquemas transdisciplinarios que proporcionan mediciones precisas, recolección de datos en tiempo real, capacidad para toma de decisiones y predecir comportamientos futuros en las mediciones, que agilizan los procesos en diferentes disciplinas para obtener las características de los suelos.

Con la aplicación de la IA, se contribuye positivamente al desarrollo sostenible, impactando en varios objetivos de la agenda 2030. Asimismo, se impulsa la tendencia de la Sociedad 5.0, donde la tecnología está a disposición de las personas para un mejor bienestar y optimización de los recursos naturales.

Para el desarrollo de los instrumentos de medición de contenido de agua, la IA transformará la forma en cómo medimos los tiempos, de los procesos, los costos de la medición y disminución del impacto ambiental que se genera, optimizando los procesos constructivos.

Es importante dar seguimiento al desarrollo e implementación de las regulaciones, que permitan guiar la ética en el desarrollo, implementación y uso de la IA para beneficio de la sociedad. Si no se implementan regulaciones, pueden existir sesgos en el uso de la IA, que beneficien intereses particulares, sin importar los derechos de las personas y de los desarrolladores.

Fuentes de información

- Awais, M., Naqvi, SMZA, Zhang, H. et al. (2023). Inteligencia artificial y aprendizaje automático para el análisis del suelo: una evaluación de prácticas agrícolas sostenibles. *Bioresour. Bioprocess.* 10, 90 (2023). <https://doi.org/10.1186/s40643-023-00710-y>.
- ASTM D2216-19. Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass: ASTM.
- ASTM D2922-05. Standard Test Methods for Density of Soil and Soil-Aggregate in Place by Nuclear Methods (Shallow Depth) (Withdrawn 2007): ASTM.
- ASTM D7698-21. Standard Test Method for In-Place Estimation of Density and Water Content of Soil and Aggregate by Correlation with Complex Impedance Method: ASTM.
- Caicedo Rosero, L. C., Méndez Ávila, F. J., Gutiérrez Ceferino, E. Flores Cuautle, J. J. A. (2021). Medición de humedad en suelos: Revisión de métodos y características. <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/icbi/article/download/7035/8022/>
- Caro, C. I. F. (2014). Construcción y caracterización de un dispositivo portátil para la medición de humedad de suelos. Departamento de ingeniería electrónica, Facultad de ingenierías. Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín. Medellín, Colombia.
- Despatch, (2024). Ovens. <https://www.despatch.com/benchtop-ovens.html>.
- El Congreso General de los Estados Unidos Mexicanos. (2010, 05 de julio). Ley federal de protección de datos personales en posesión de los particulares. Diario Oficial de la Federación. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFPDPPP.pdf>
- Fluke, (2024). Multímetros. <https://www.fluke.com/es-mx/search/fluke/?query=multimetro>.
- Garrido, Á. (2020). Los avances de la inteligencia artificial. Dykinson. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecauv/titulos/129597>.
- González, V. F. I., Ferre, M., Ortuño, L. y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Universidad compuzense, Instituto geológico y minero de España, Uriel y Asociados S.A. de C.V., Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Guerra Torralbo, J. C. (2018). Mecánica de suelos: conceptos básicos y aplicaciones. Dextra Editorial. <https://elibro.net/es/ereader/bibliotecauv/131540?page=6>.
- Introid, (2024). Video analítica enfocada a seguridad vial utilizando el reconocimiento facial de conductores para detectar distracciones e indicadores de cansancio al conducir, enviando alertas al instante, previniendo accidentes. <https://www.introid.com/industrias/safe-driving>.
- James, (2022). Especificaciones técnicas del medidor de humedad Trident T-90. NDT James Instruments Inc. Chicago, IL, U.S.A. <https://www.meldic.cl/images/pdf/area->

- construccion-y-obras-civiles/instrumentos-de-medicion/trident-t-90.pdf.
- Jinsa, (2024). Manómetro. https://www.jinsa.com.mx/12-manometros?srsId=AfmBOoqXi_CiYJnm3RB93c2vLJMjPzF1hZ40tCMtY-C1aIWWVN4q_Tb_.
- López-Amo Sainz, Á. P. (2024). La Ley de la Inteligencia Artificial. Parte I: (1 ed.). RA-MA Editorial. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecauv/titulos/273942>.
- Meseguer González, P. & López de Mántaras Badia, R. (2017). Inteligencia artificial. Editorial CSIC Consejo Superior de Investigaciones Científicas. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecauv/titulos/42319>.
- Mitutoyo, (2024). Catálogo sección D-Calibradores. https://www.mitutoyo.com/webfoo/wp-content/uploads/D_section.pdf.
- Mitutoyo, (2024). Máquinas de medición de coordenadas. <https://www.mitutoyo.com/products/coordinate-measuring-machines/>.
- Naciones Unidas (2024). La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible>.
- NMX-C-475-ONNCCE-2013. Industria de la construcción – Geotecnia – Materiales térreos – Determinación del contenido de agua mediante horno – Método de ensayo: ONNCCE.
- NMX-C-503-ONNCCE-2019. Industria de la construcción – Geotecnia – Materiales térreos – Determinación del contenido de agua mediante secado rápido: ONNCCE.
- Ohaus, (2024). Analizador de humedad termobalanza. <https://mx.ohaus.com/es-mx/mb23-6>.
- Ohaus, (2024). Balanza. <https://mx.ohaus.com/es-mx/products/balances-scales/precision-balances>.
- Rebollo Delgado, L. (2023). Inteligencia artificial y derechos fundamentales: (1 ed.). Dykinson. <https://elibro.net/es/lc/bibliotecauv/titulos/232079>.
- Rodríguez-Abitia, G., Sánchez-Guerrero, M., Martínez-Pérez, S. y N. Aguas-García, N. (2022). Competencies of Information Technology Professionals in Society 5.0. IEEE Revista Iberoamericana de Tecnologías del Aprendizaje, vol. 17, no. 4, pp. 343-350, Nov. 2022, doi: 10.1109/RITA.2022.3217136.
- Russell, E. y Norvig, P. (2004). Inteligencia artificial un enfoque moderno (Segunda edición). Pearson Prentice Hall. Madrid, España.
- San Marcos, (2024). Recomendaciones para la construcción de cimentaciones en concreto para estructuras menores. <https://cementosanmarcos.com/recomendaciones-para-la-construccion-de-cimentaciones-en-concreto-para-estructuras-menores/>
- Taffese, WZ y Abegaz, KA (2021). Inteligencia artificial para la predicción de propiedades físicas y mecánicas de suelos estabilizados para viviendas asequibles. Applied Sciences, 11 (16), 7503. <https://doi.org/10.3390/app11167503>.

Toledo, (2024). Integración de sensores digitales inteligentes. <https://www.mt.com/mx/es/home/products/Process-Analytics/pH-probe/pH-ISM-accessories/digital-sensor-integration.html>.

Toledo, (2024). Cámaras inteligentes y sistemas de inspección por visión basados en PC. https://www.mt.com/es/es/home/products/Product-Inspection_1/CI_Vision.html.