



Herramienta Digital de Capacitación Autónoma en Metrología Industrial

Karen Daniela Aparicio Moreno

Mailer Juliet Bustos Ruiz

Juan Diego Ceballos Vasquez

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Industrial

Programa de Ingeniería de Sistemas

Bogotá, Colombia

03/05/2026

Herramienta Digital de Capacitación Autónoma en Metrología Industrial

Mailer Juliet Bustos Ruiz

Karen Daniela Aparicio Moreno

Juan Diego Ceballos Vasquez

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

Ingeniería Industrial

Ingeniería en Sistemas

Director (a):

Diana Paola Figueroa Hernández

Universidad EAN

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Industrial

Programa de Ingeniería de Sistemas

Bogotá, Colombia

04/05/2026

Agradecimientos

Agradecemos al Ingeniero Henry Alonso Castro Gómez por la disposición, acompañamiento y orientación en el desarrollo de este proyecto, su conocimiento en Metrología fue clave para cimentar las bases teóricas de este trabajo y así mismo nuestro crecimiento académico y profesional.

Resumen

El presente documento explora los requerimientos para el desarrollo de una herramienta digital para capacitar personal de forma autónoma en Metrología Industrial, enfatizando la construcción de la metodología y contenido con el objetivo de garantizar la permanencia del usuario.

La plataforma de formación se presenta como una propuesta de solución ante la problemática de dependencia de grupos reducidos de profesionales en metrología industrial y la necesidad de formación de los empleados en las plantas de producción. Así mismo ofreciendo valor agregado mediante el acceso a datos estructurados del proceso de capacitación para agilizar la toma de decisiones.

Mediante la revisión de literatura se identificaron los factores para asegurar el crecimiento y fidelización de los usuarios en la plataforma, además de una caracterización del método de formación haciendo una categorización en variables metrológicas que comprenden magnitudes físicas.

Empleando un enfoque cuantitativo y cualitativo, usamos la encuesta como medio de recolección de datos, construida para obtener información de calidad del contenido, facilidad de uso de la herramienta, y objetivos de formación alcanzados además del juicio de un experto para enriquecer las cifras con detalles técnicos y prácticos.

Encontrando así que la implementación de una herramienta digital de formación en metrología industrial fomenta la autonomía de los empleados y la rápida adquisición de conocimiento aplicable. Mientras que las empresas del sector logran fortalecer sus

plantillas con personal capacitado, reducción de costos por contratación de servicios de capacitación externos, y la disposición de datos en tiempo real.

Palabras clave: Sistemas de gestión del conocimiento, metrología industrial, desarrollo de plataformas de capacitación, sistemas de gestión de calidad, aprendizaje autónomo.

Abstract

This document explores the requirements for developing a digital tool to provide self-paced training in industrial metrology, with an emphasis on designing the methodology and content to ensure user retention.

The training platform is presented as a proposed solution to the problem of reliance on small groups of industrial metrology professionals and the need to train employees at production plants. It also offers added value by providing access to structured data from the training process to streamline decision-making.

Through a literature review, we identified the factors that ensure user growth and retention on the platform, as well as a characterization of the training method by categorizing it into metrological variables that encompass physical quantities.

Using a combination of quantitative and qualitative methods, we employed a survey as a data collection method, designed to gather information on content quality, the tool's ease of use, and training objectives achieved, supplemented by expert judgment to enrich the data with technical and practical details.

It has been found that the implementation of a digital training tool in industrial metrology fosters employee autonomy and the rapid acquisition of applicable knowledge. Meanwhile, companies in the sector are able to strengthen their workforces with trained personnel, reduce costs associated with hiring external training services, and gain access to real-time data.

Keywords: Knowledge management systems, industrial metrology, development of training platforms, quality management systems, self-directed learning.

Contenido

Introducción	10
Marco teórico	13
Estado del arte (PRISMA)	16
Metodología	24
Resultados	26
Discusión	37
Plan de divulgación	41
Conclusiones	47
Referencias bibliográficas	49

Índice de Figuras

Figura 1. Diagrama de flujo de metodología PRISMA	18
Figura 2. Muestra de población objetivo-consultada	28
Figura 3. Distribución de resultados de valoración del prototipo	30

Índice de Tablas

Tabla 1. Comparación de estudios seleccionados	21
Tabla 2. Resultados de criterios de evaluación del prototipo	29
Tabla 3. Resultados de aptitudes y potencial del prototipo	29
Tabla 4. Cronograma plan de divulgación	44

Introducción

La metrología inmersa en la ISO 9001:2015 nos pide garantizar la trazabilidad y el control de los procesos industriales, sin embargo, enfrenta retos asociados a limitaciones en las competencias del personal operativo. Para mitigar estos vacíos el Instituto Nacional de Metrología de Colombia, ha diseñado cursos de e-learning los cuales utilizan plataformas virtuales para la capacitación, calibración e instrumentación. En este sentido, es correcto afirmar que los sistemas de gestión del aprendizaje permiten la estandarización del conocimiento; y las plataformas digitales ayudan a crear, gestionar, organizar y entregar materiales de enseñanza en línea haciendo esta información más accesible.

Plataformas como Confirmer360 y Unifikas-Q son un ejemplo de cómo la automatización de competencias de la norma ISO permite una planificación clara y una trazabilidad controlada en las áreas donde es implementada. Podemos entonces decir que el proyecto de desarrollo de una herramienta de capacitación en metrología en realidad fomenta la autonomía y reduce costos, representando un beneficio para el personal operativo y las organizaciones.

La problemática tiene origen en la dependencia de un único experto en metrología dentro de una planta de producción certificada en ISO, representado así un riesgo en la continuidad operativa además de altos costos y tiempos adicionales derivados de la contratación de capacitadores externos. Esto es un obstáculo en el desarrollo de competencias en el área de gestión de calidad, reduciendo drásticamente la flexibilidad requerida por la norma. Por otro lado, la inexistencia de herramientas de formación

autónoma limita la oportunidad de reducir la brecha de conocimiento metrológico del personal operativo afectando los controles de calidad.

El proyecto se enfoca en el campo de la metrología aplicada a la industria manufacturera, buscando integrar la gestión de calidad conforme a la norma ISO 9001:2015 con la digitalización y la formación del personal operativo. El campo de aplicación de la propuesta se ajusta a la ingeniería industrial mientras que el desarrollo de la herramienta digital implica la ingeniería de sistemas. Donde ambas disciplinas se unen para la creación de un prototipo orientado a la capacitación autónoma en metrología.

El objetivo principal del proyecto es diseñar una herramienta digital de capacitación autónoma en metrología industrial. Los objetivos derivados son desarrollar un módulo con conceptos específicos de metrología, clasificar en variables de medición los instrumentos de medición usados en una planta industrial para desarrollar los siguientes módulos, identificar las tecnologías pertinentes para la construcción de la herramienta y evaluar el funcionamiento del prototipo con usuarios reales que desempeñen roles en el área de calidad.

Con esto en mente, el alcance del proyecto se limita al desarrollo y prueba preliminar de una herramienta digital para la capacitación en metrología del personal del área de calidad en una planta industrial certificada en ISO 9001:2015. El proyecto se restringe a una planta de producción genérica, enfocándose en la autonomía formativa, sin extenderse a otros departamentos, implementaciones a escala empresarial o certificaciones externas adicionales a la ya mencionada.

Dado que el problema central es la dependencia de un único experto en metrología, condición que genera riesgos en la continuidad operacional y eleva los costos de formación mediante capacitaciones externas, la pregunta de investigación planteada es:

¿Cómo capacitar en metrología industrial a el personal operativo del área de calidad de plantas certificadas bajo la norma ISO 9001:2015 en Bogotá Colombia? Tras evaluar diversas alternativas, la herramienta digital autónoma resulta más eficaz que las capacitaciones externas tradicionales o los programas intensivos internos, al reducir tiempos y costos de forma significativa, haciéndola sostenible e inclusiva, a la vez que incrementa las competencias del personal de calidad.

La implementación del proyecto resulta altamente sostenible para plantas industriales que cuentan con un solo experto en metrología, ya que incrementa la disponibilidad de personal capacitado en metrología, lo cual se alinea con los requisitos de la norma y pone en consideración que los trabajadores capacitados por medio de la herramienta digital, tras su fase de autocapacitación, puedan acceder a prácticas con el experto, teniendo en cuenta que tiene acceso a los instrumentos de medición que ya estudiaron.

Marco teórico

Para el desarrollo de este proyecto se fundamenta en la integración de tres ejemplos principales: La metrología, la gestión de la calidad bajo la norma ISO 9001:2015 y el uso de herramientas digitales para la formación del talento. Estos elementos permiten comprender tanto el problema planteado como la pertinencia de la solución propuesta.

Primeramente, la metrología se entiende como la ciencia de la medición, la cual garantiza la exactitud, confiabilidad y trazabilidad de los resultados obtenidos en determinados procesos. Para el Instituto Nacional de Metrología de (Colombia, 2018), a través de la metrología y la aplicación de normas técnicas permite minimizar errores y tomar decisiones basadas en diferentes ambientes con el fin de fortalecer el estándar de calidad como empresa hasta el cliente final.

En segunda instancia todas las empresas que requieran mejorar sus estándares de calidad es importante tener controlado todo lo relacionado con las mediciones, en donde a través de la aplicación del sistema de gestión de calidad ISO 9001:2015 permite contribuir de gran medida a mejorar todos los procesos, facilitando la optimización de recursos, garantizando la confiabilidad del cliente con el correcto uso de los requisitos y normas, particularmente los numerales 7.1.5 y 7.1.6 respaldan este proyecto.

De acuerdo con el numeral 7.1.5 de la norma exige que cada organización proporcione los recursos necesarios para que los resultados de medición sean viables y seguros, donde cada instrumento debe cumplir con requisitos de ser sometido a calibración y verificación según los intervalos de tiempo que decida cada organización. Por otro lado,

el numeral 7.1.6 habla sobre la necesidad del conocimiento organizacional para garantizar así la mejora continua, de este modo no solo es necesario contar con instrumentos adecuados, sino también que todo personal capacitado pueda manipular los instrumentos de medición de manera correcta, y la creación de repositorios.

Por otro lado, en las investigaciones realizadas por Osorio y Sinisterra (2024), donde profundizaban sobre los obstáculos que se tenían a la hora de Capacitar existía una un bloqueo al cambio por parte del personal operativo, y esto también influía en que el conocimiento solo se quedara entre los expertos. Bajo esta problemática proponen una herramienta donde cambian el método de enseñanza con la ayuda de un software educativo que sea llamativo y como se lograba esto; en que la creación de programas donde sea interactivo que se adaptara a las necesidades de las personas que van a hacer capacitadas logrando así que la transición fuera más amigable y fácil de entender por el inspector de calidad.

Finalmente, para la elaboración del sistema se centra en metodologías ágiles y fáciles de adaptar, con el uso del método SCRUM, permitirá que el proyecto logre desenvolverse de manera positiva y la mejora continua se constante. Ya que el Software no es una herramienta rigurosa, sino que por el contrario se ajusta a los requisitos técnicos para cada tema propuesto.

Estado del arte (Metodología PRISMA)

El proyecto propone la investigación de herramientas digitales de capacitación autónoma en metrología industrial siguiendo los lineamientos de la norma ISO 9001:2015, planteando la pregunta ¿Cómo desarrollar una herramienta digital de formación en metrología industrial que desarrolle el conocimiento del personal del área de calidad en plantas certificadas bajo la norma ISO 9001:2015 en Bogotá Colombia?

En el sector de la industria manufacturera en Colombia, se ha evidenciado la necesidad de implementar medidas de formación de la fuerza de trabajo siguiendo el marco regulatorio que define estándares y requisitos en seguridad, calidad y garantía, los cuales buscan proteger a los consumidores y orientan a los productores (Zamora et al., 2023). Sin embargo, la literatura existente muestra falta de alcance en la región, lo que demuestra que el tema no ha sido explorado en nuestro contexto demográfico.

En este sentido, se busca recuperar estudios que permitan definir el alcance de la investigación, identificando los principales aportes en el área de la capacitación de personal y la metrología industrial mientras que se hace un especial énfasis en el desarrollo de herramientas digitales que permitan lograr este fin.

Con estos antecedentes, se establecen Scopus, Web of Science (WOS) y Google Scholar como las bases de datos a consultar por su relevancia en el campo de la ingeniería y la divulgación científica. Así mismo, derivado de la pregunta de investigación, las palabras claves son metrología industrial (industrial metrology, metrological traceability y measurement management), ISO 9001 (ISO 9001:2015 y quality management system), formación (training, learning, learning management system y competency development) y

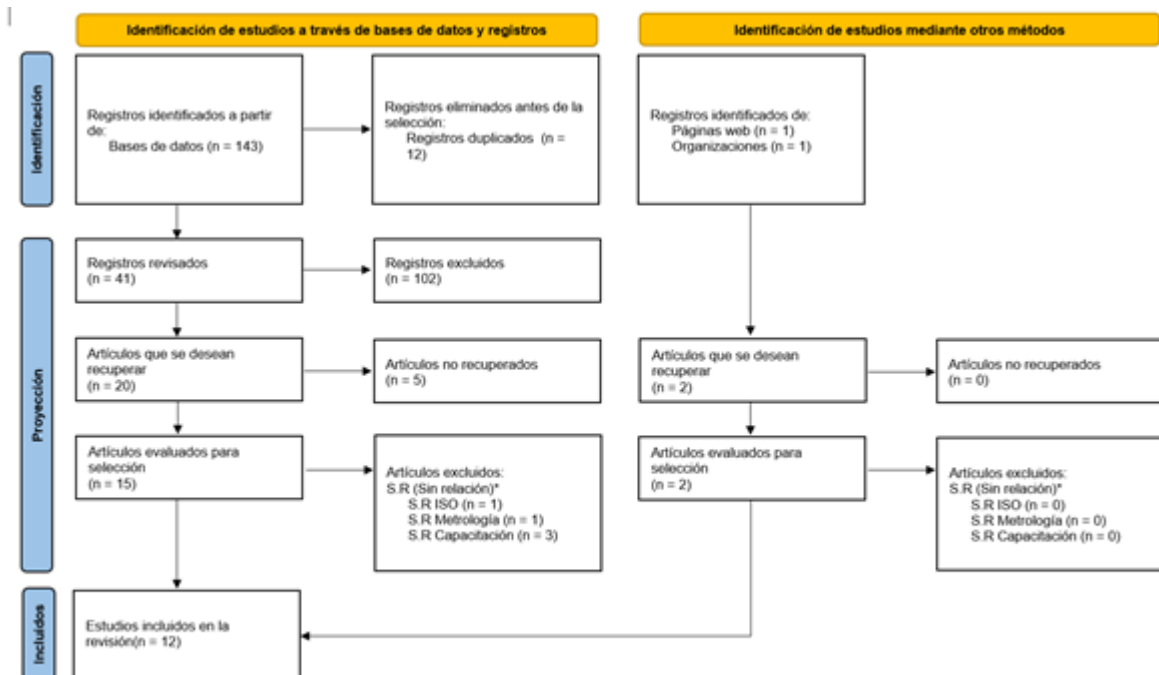
sector manufacturero (manufacturing e industrial sector). Teniendo en cuenta que se contempla un periodo de tiempo analizado de 10 años y estudios en lenguaje español e inglés.

La ecuación de búsqueda definida para las bases de datos es la siguiente ("industrial metrology" OR "metrological traceability" OR "measurement management") AND ("ISO 9001" OR "quality management system") AND ("training" OR "learning" OR "learning management system" OR "competency development") AND ("manufacturing" OR "industrial sector").

Los artículos y estudios incluidos pertenecen a un periodo de tiempo correspondiente a los últimos 10 años considerando el impacto de la transformación tecnológica impulsada por los eventos de la última década. Se contemplan artículos de revistas científicas, libros, estudios experimentales y observacionales debido a su relevancia en el campo de ingeniería. Y se conserva apreciación por estudios realizados en países en vía de desarrollo, pertenecientes a la región de América Latina, o trabajados directamente en Colombia.

Con lo anterior en mente, se excluyen las coincidencias que no tengan relación con la norma ISO 9001:2015 o cuya aplicación no esté orientada en el campo de la metrología. Así mismo y siguiendo la aplicación final del proyecto, se hace omisión de los artículos que no demuestren relevancia en el oficio de capacitación o que no encaminen a estrategias de formación. Además, que cada de estudio debe ser de libre acceso para garantizar su revisión literaria.

Figura 1

Diagrama de flujo de metodología PRISMA para selección de estudios del proyecto

Source: Page MJ, et al. BMJ 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71.

This work is licensed under CC BY 4.0. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

La revisión de literatura evidencia un panorama con bastantes oportunidades de investigación y mejora. Partiendo de uno de los pilares del proyecto, la norma ISO 9001:2015, desarrollada por la Organización Internacional de Normalización (ISO), la cual define un marco para orientar la gestión de calidad y apoyar a las organizaciones a mejorar su desempeño (ISO, 2021). La norma ha sido materia de investigación de diversos estudios, los cuales han demostrado que la implementación de la gestión de calidad en empresas del sector manufacturero tiene un efecto positivo en el rendimiento operacional y en la toma de decisiones, resultando en mayores beneficios económicos (Martin, 2017).

A pesar de lo ya mencionado, la implementación del estándar afronta retos relacionados con la falta de personal calificado, procedimientos de entrenamiento

inadecuados, resistencia al cambio por parte de los empleados y desinterés por parte de directivos (Nurcahyo et al., 2021).

En relación con la anterior problemática, es importante incentivar los mecanismos de formación continua que fomenten la transferencia del conocimiento entre los colaboradores, dicho proceso implica la centralización de la información desde el ámbito personal hasta el nivel organizacional lo que implicaría una reducción de la dependencia en expertos particulares o la pérdida de la información (Castro & Cázeres, 2021).

Con lo anterior en mente, se han explorado diversas medidas de formación de personal. Entre los más comunes encontramos la educación formal donde se emplean métodos orientados al ámbito teórico, o la capacitación en puesto de trabajo el cual busca fomentar la creación de experiencia práctica. Aun así, las medidas mencionadas comparten características comunes como la disponibilidad de entornos de aprendizaje, el acceso a herramientas de trabajo y el acompañamiento de profesionales de área que orientan el proceso de formación (Dobilienė & Meškuotienė, 2025).

Los aspectos mencionados soportan la implementación de herramientas digitales como una de las propuestas más prometedoras para afrontar las necesidades de formación de los empleados en el sector manufacturero. En este contexto, los sistemas de gestión del aprendizaje (LMS) se presentan como una solución completa que integra los métodos de educación, herramientas de seguimiento y mecanismos de acompañamiento para garantizar los resultados de aprendizaje (Mahnegar, 2012).

La construcción de un LMS que pueda satisfacer las necesidades de empleados y responsables por igual debe cumplir con una serie de requerimientos tales como la calidad

del servicio, la calidad de la información, instrumentos de acompañamiento, herramientas de seguimiento y reportería (Abdullah, 2025). Tomar en cuenta los elementos mencionados se traducirá en un sistema resiliente capaz entregar resultados de formación a empleados, asegurando la continuidad operativa e integridad de los procesos de gestión de calidad de las organizaciones.

Tabla 1*Tabla 1 Comparación de estudios seleccionados*

Autor(es) / Año	Título del estudio	Objetivo principal	Metodología empleada	Variables analizadas	Principales hallazgos	Limitaciones reportadas	Relación con el proyecto actual
Sinisterra (2024)	<i>Análisis de implementación del sistema de Gestión de Calidad en Empresa Colombianas: Factores</i>	Identificar las brechas y la falta de personal capacitado en metrología que afecta la capacitación en ISO 9001:2015	Enfoque Mixto; uso de encuestas y entrevistas a responsables de calidad en plantas industriales	Competencia técnica, resistencia al cambio, efectividad de la capacitación tradicional y cumplimiento normativo.	El mayor obstáculo no es la tecnología, sino la dependencia de pocos expertos y una formación percibida como compleja.	No se propone una herramienta tecnológica ejecutable para solucionar el problema detectado.	Sustenta la necesidad, ya que el prototipo resuelve la brecha de capacitación que se identificó anteriormente.
Cáceres Yeimi (2022)	<i>Propuesta de mejoramiento del proceso de la gestión metrológica</i>	Reducir el riesgo de errores operativos mediante la migración de registros manuales a un sistema de información digital.	Optimización de flujos de Información.	Tiempos de acceso a la información, tasa de error en registros manuales, y agilidad en la transferencia de datos.	La digitalización elimina la “Documentación estática”, permitiendo que la información sea un activo ágil para el operario.	El enfoque se centró en la gestión de documentos y no el entrenamiento multimedia o interactivo	Demuestra que digitalizar la información reduce los errores base principal de la propuesta.

Nurcahyo et al., (2021)	<i>Relationship between ISO 9001:2015 and operational and business performance of manufacturing industries</i>	Identificar la relación entre la implementación de normas ISO 9001:2015 y el rendimiento operacional	Estudio descriptivo-analítico (comparativo) con enfoque cuantitativo basado en revisión bibliográfica.	Implementación de ISO 9001, desempeño operativo y desempeño empresarial.	Mejora en el desempeño empresarial y operativo en el sector manufacturero.	No propone herramientas para el desarrollo de las capacidades del personal en gestión de calidad.	Demuestra que la correcta implementación de normas ISO 9001 en las organizaciones ofrece beneficios en el desarrollo de productos.
Castro & Cázares, (2021)	<i>La transferencia del conocimiento y las capacidades de medición y calibración en laboratorios nacionales de metrología</i>	Evaluar la relación entre las capacidades de medición y calibración con el fin de proponer mecanismos de transferencia de conocimiento	Estudio descriptivo con enfoque cuantitativo basado en análisis documental y análisis de bases de datos.	Capacidad de absorción de conocimiento, agilidad en transferencia de información y capacidad de cooperación técnica.	Son escasos los estudios sobre los métodos de transferencia del conocimiento en el área de la metrología.	No se propone una herramienta tecnológica ejecutable para solucionar el problema detectado.	Sustenta la necesidad de la elaboración de métodos y herramientas para la formación de capacidades en metrología.
Abdullah, (2025)	<i>Improving Learning Management System Performance: A Comprehensive Approach to Engagement, Trust, and Adaptive Learning</i>	Identificar las variables que garantizan el desempeño y fiabilidad de los sistemas de gestión del aprendizaje	Estudio descriptivo-analítico (comparativo) con enfoque cuantitativo basado en revisión bibliográfica.	Calidad del sistema, calidad de la información, calidad del servicio y satisfacción del usuario.	Asegurar la calidad del sistema, y un acompañamiento activo del usuario garantiza su continuidad y desempeño en el proceso de aprendizaje mediante la plataforma digital.	El enfoque se centró en los sistemas de gestión del aprendizaje sin enfatizar en metrología como área específica de formación	Presenta los requerimientos no funcionales para garantizar el óptimo proceso de formación de los usuarios mediante el uso de herramientas digitales.

Metodología

La investigación se desarrolla bajo un enfoque mixto que integra métodos cuantitativos y cualitativos. Este enfoque permite analizar, con mayor profundidad, la evolución del aprendizaje en metrología de los trabajadores del área de calidad de una planta industrial certificada bajo la norma ISO 9001:2015. El diseño metodológico adoptado es no experimental, descriptivo–correlacional y de alcance longitudinal corto, lo que posibilita evaluar los cambios en el conocimiento de los participantes durante un periodo de cuatro meses mediante varias mediciones planificadas. El propósito central del estudio es diseñar una herramienta digital que organice, clasifique y presente información sobre metrología, facilitando el aprendizaje autónomo, práctico y accesible para los colaboradores.

La gestión del proyecto se realiza empleando el marco metodológico ágil Scrum, el cual se caracteriza por su estructura iterativa e incremental de funcionalidades del producto. El trabajo se estructura en Sprint mensuales, donde se planifican, desarrollan, prueban y revisan componentes funcionales de la herramienta y elementos de accesibilidad, para finalizar con una evaluación el tercer mes, que nos analizar los ajustes necesarios para una posible implementación del proyecto.

La herramienta se desarrolla utilizando tecnologías web (HTML, CSS y JavaScript) sin la implementación de frameworks y una arquitectura MTV (Modelo, Vista, Controlador). El uso de estas se justifica gracias a su versatilidad y opciones de adaptación, mientras se garantiza sostenibilidad al reducir significativamente los tiempos de carga y consumo de datos al no depender de llamados a recursos externos.

La población objetivo son personas con roles en el área de calidad, mientras que la muestra, seleccionada de manera intencional, incluye a usuarios voluntarios y un experto en metrología, que evaluarán la herramienta mediante una encuesta cuantitativa y cualitativa que nos darán la percepción del cliente final del proyecto. Esta decisión se justifica teniendo en cuenta que el contenido de la herramienta requiere de usuarios con conocimientos previos o algo de experiencia en el campo de la metrología industrial.

Se emplean dos instrumentos metodológicos, los cuales son la herramienta digital y un cuestionario. Estos elementos permiten medir el nivel de comprensión, registrar el progreso individual e identificar percepciones de usabilidad, utilidad y pertinencia de la herramienta. Posteriormente, los instrumentos son validados con apoyo del juicio del experto, con el fin de garantizar claridad y pertinencia.

El análisis de la información combina técnicas cuantitativas, como estadística descriptiva para evaluar resultados de cuestionarios y progresión entre Sprint, y técnicas cualitativas, como análisis de contenido de comentarios. Este enfoque permite identificar fortalezas, dificultades, barreras de uso y oportunidades de mejora.

Finalmente, el proyecto se desarrolla en cuatro fases alineadas con los Sprint: planificación inicial y construcción del contenido de la herramienta; diseño arquitectónico y desarrollo del primer módulo; prueba con usuarios y aplicación de la encuesta; y finalmente consolidación de resultados y análisis final.

Resultados

El desarrollo del proyecto derivó en la construcción de un prototipo de herramienta digital de capacitación en metrología industrial que integra los elementos de metodología de formación por variables de magnitud física, división de contenido en módulos con hitos específicos de aprendizaje e implementación por tecnologías de desarrollo web (HTML, CSS y JavaScript).

La propuesta de solución se encuentra disponible para su uso de forma pública y gratuita por medio del siguiente enlace: <https://69eae3ad0c13673906e153cb--formacion-metrologia-prototipo-ean.netlify.app/>

De igual manera el código fuente del prototipo es de libre acceso y se puede consultar en el siguiente repositorio de GitHub:

https://github.com/JuanVasquezEAN/herramienta_digital_formacion_metrologia_industrial/tree/main

Respecto a uno de los objetivos derivados del proyecto donde buscamos identificar las tecnologías más pertinentes para la construcción de la herramienta de forma sostenible, llegamos a la conclusión de utilizar tecnologías web, esto después de la revisión de literatura donde encontramos los componentes principales para asegurar la permanencia y satisfacción del usuario, estos factores en común implican la prestación de un servicio de calidad que garantice la disponibilidad además de la accesibilidad.

Con lo anterior en mente y considerando las implicaciones en sostenibilidad, se hace uso de tecnologías web sin la integración de frameworks o complementos adicionales, optando por una implementación limpia también conocida como vanilla, la cual realiza un menor consumo de recursos al reducir la cantidad de llamados web de la plataforma mientras ofrece flexibilidad en la customización y mitiga riesgos de seguridad al no hacer uso de dependencias externas que puedan representar un vector de ataque.

Por otro lado, la puesta en marcha de la herramienta se hace por medio de Netlify como plataforma de despliegue haciendo uso de su capa gratuita de servicio la cual dispone la aplicación final en el CDN global sin necesidad de configurar un servidor local, esto reduce complejidad al eliminar una de las capas de abstracción del plan de soporte, limitando los esfuerzos técnicos al mantenimiento y actualización de la herramienta.

Las validaciones del respectivo prototipo fueron realizadas por personal operativo del área de calidad de una planta de producción en Bogotá Colombia que se ofrecieron de forma voluntaria para utilizar la herramienta. Después de un periodo de prueba, los participantes respondieron a una encuesta que recopilaba la información necesaria para medir resultados de aprendizaje, percepción y satisfacción general de la plataforma, a continuación, presentamos los resultados de este proceso.

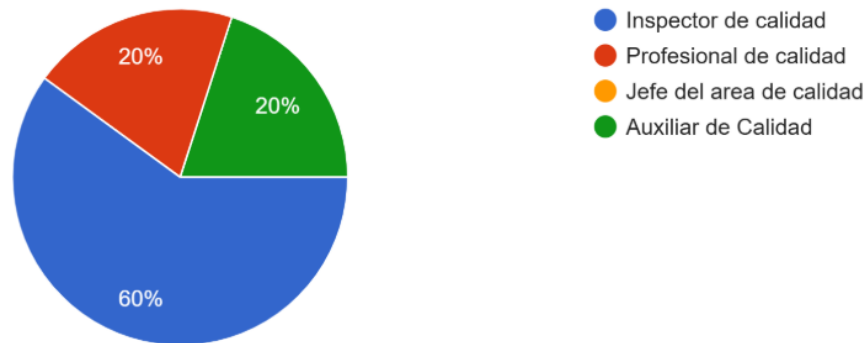
Método utilizado: Encuesta

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfzOGXL75Lxpk0AqK0Q2_jNygHEnxv537AMxk6L3Z9UTSStdw/viewform?usp=publish-editor

Población *Figura 2. Muestra de población objetivo-consultada*

¿Que cargo desempeñas en la planta industrial?

5 respuestas

*Nota. Elaboración propia*

Como podemos ver en la figura 2. la encuesta se aplicó a un grupo de personas con roles dentro del área de calidad de una planta industrial certificada con la norma ISO 9001:2015. con conocimiento previo en metrología industrial.

Resultados Cuantitativos

Las valorizaciones se realizaron mediante una escala de 1 a 5, donde:

- 1= Muy Bajo / Muy Difícil / Nada Útil.
- 5= Muy Alto / Muy Fácil / Muy Útil.

Los promedios obtenidos en cada criterio evaluado son los siguientes:

Tabla 2. Resultados de criterios de evaluación del prototipo

CRITERIO EVALUADO	PROMEDIO OBTENIDO
-------------------	-------------------

Nivel de conocimiento previo en metrología.	3.8%
Nivel de conocimiento después de usar la herramienta.	4.0%
Contribución de la herramienta al aprendizaje.	4.0%
Facilidad de uso de la plataforma.	4.2%
Accesibilidad de la información presentada.	4.2%
Utilidad general de la herramienta.	4.6%
Claridad en la organización de instrumentos de medición por variables.	4.0%
Impacto en la continuidad operativa de la planta.	4.4%

Nota. Elaboración propia

Resultados Cualitativos

Las respuestas abiertas permitieron identificar los puntos fuertes del prototipo, los cuales se resumen en estos tres aspectos:

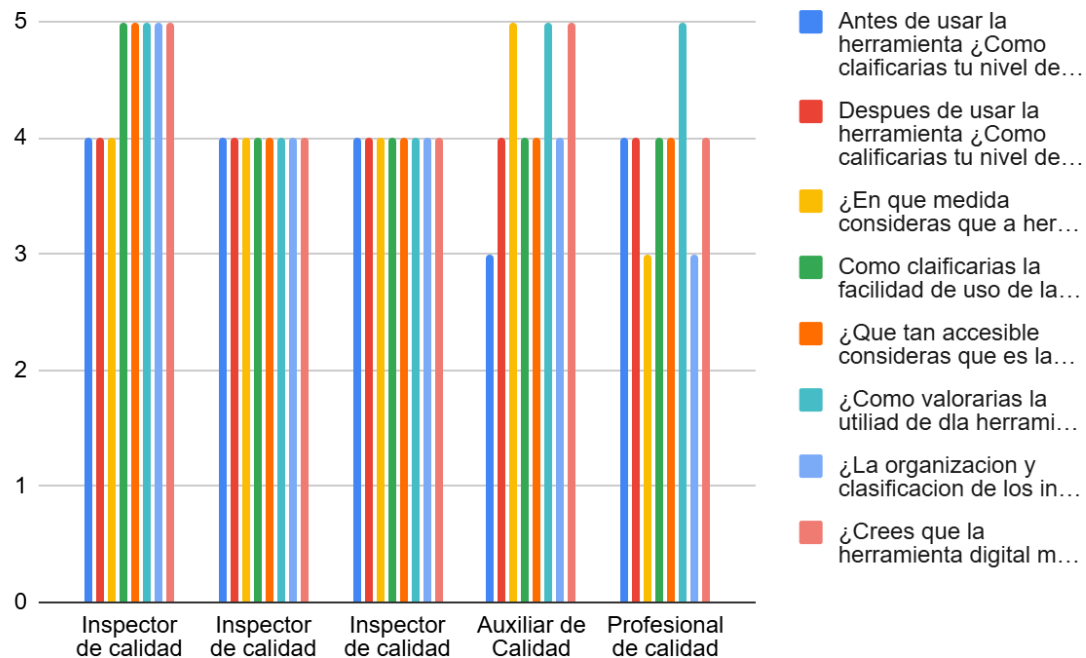
Tabla 3. Resultados de aptitudes y potencial del prototipo

ASPECTO POSITIVO IDENTIFICADO	COMENTARIO DEL USUARIO
Practicidad: Destacan la facilidad al usarlo.	“Es muy practica” “La facilidad de manejo”
Claridad conceptual: Reduce la complejidad en los temas técnicos.	“Las especificaciones de la Metrología y sus conceptos son fáciles de entender”
Simplificación de contenidos extensos: Logra transmitir información completa de forma accesible.	“El contenido, aunque es abrumador la herramienta lo hace parecer muy fácil”

Nota. Elaboración propia

Hallazgos

Figura 3. Distribución de resultados de valoración del prototipo



Nota. Elaboración propia

Hallazgo 1. El nivel de conocimiento del usuario tras usar la herramienta incrementó.

De acuerdo con la Tabla 2. el nivel inicial de conocimiento en metrología de los usuarios se encontraba en un promedio de 3.8% y después de usar la herramienta, su nivel incremento a 4% lo que nos indica que hubo un aumento del 0.2%, es decir que, aunque el personal ya contaba con una base sólida de conocimiento en metrología la herramienta contribuye positivamente a la adquisición o refuerzo de conocimientos en la materia. Además, la percepción de adquisición de conocimiento obtuvo una valoración del 4% por los usuarios.

Hallazgo 2. Uso fácil y muy accesible.

De acuerdo con la Tabla 2. La facilidad de uso de la herramienta digital y su accesibilidad obtuvieron promedios de 4.2% cada una lo que indica que el prototipo es intuitivo, fácil de manejar y su contenido es adaptable para todo tipo de usuario.

Hallazgo 3. Utilidad alta, organización y clasificación claras.

Los usuarios consideran que la forma en que la herramienta estructura y clasifica la información es efectiva y comprensible lo que la hace una herramienta muy valiosa y relevante para sus tareas y necesidades, así se aprecia en la Tabla 2. Donde la utilidad de la herramienta fue valorada con un promedio de 4.6% y la organización y clasificación de los instrumentos de medición en variables dentro de la herramienta es clara y fácil de entender obtuvo un promedio de 4%.

Hallazgo 4. Continuidad operativa ininterrumpida.

El centro de la herramienta digital es la capacitación autónoma y podemos ver que el prototipo es visto como un factor que favorece la eficiencia y evita interrupciones en la operación, de acuerdo con la Tabla 2. La herramienta digital mejora la continuidad operativa en la planta pues los usuarios dieron un promedio de 4.4% para ese ítem dando a entender que su impacto es positivo.

Hallazgo 5. La percepción de los usuarios es totalmente positiva.

Podemos apreciar en la Tabla 3. que los comentarios obtenidos tras la evaluación cualitativa refuerzan totalmente los hallazgos cuantitativos, destacando la practicidad, la claridad conceptual y la simplificación de contenidos extensos, lo que se traduce en una fuerte validación del prototipo por parte de la población objetivo, tanto en términos de usabilidad como de impacto en el aprendizaje y la ininterrupción de la operación.

Análisis de los resultados

Uno de los primeros aspectos a analizar es el incremento en el concomimiento percibido por los usuarios, de acuerdo con el Hallazgo 1. Lo que soporta parte de la hipótesis en la que se afirma que la herramienta “incrementa las competencias del personal operativo de calidad”. Esto mismo lo podemos observar con los resultados expuestos en la Tabla 2, donde la alta valoración en la “contribución de la herramienta al aprendizaje” es de 4.5, reforzando la percepción de los usuarios, que sienten que han aprendido. Podemos entonces decir que el objetivo principal del proyecto que es “diseñar una herramienta digital de capacitación autónoma en metrología industrial” se cumplió satisfactoriamente ya que es evidente que para los tres roles voluntarios que participaron: inspectores de calidad, auxiliares de calidad y profesional de calidad se obtuvieron promedios entre el 4% y 5%, según la Tabla 2. comentarios totalmente positivos según la figura 3.

En consonancia con el objetivo derivado que planteaba desarrollar un módulo con conceptos específicos de metrología, podemos apreciar en la Tabla 2. que los promedios para la facilidad de uso y la accesibilidad tienen un mismo promedio descrito en el Hallazgo 2, y sumado a esto, en la Tabla 3. la practicidad y la simplificación de contenidos extensos dos criterios avalados por los comentarios de los usuarios, no son más que la

afirmación de que la metodología implementada en el prototipo (centrada en la autonomía, la accesibilidad y la claridad) es adecuada y efectiva para el personal operativo. Siendo estos aspectos pilares de una metodología de autocapacitación exitosa, permitiendo que los usuarios aprendan a su propio ritmo y en su propio contexto.

Es evidente que clasificar en variables los instrumentos de medición usados en una planta industrial para luego asignarles un módulo independiente a cada una, lo cual se estableció como otro de los objetivos derivados se es una excelente estrategia de trabajo para lograr el objetivo principal pues como se puede observar en el hallazgo 3. estos criterios obtuvieron promedios altos de aceptación por los usuarios.

Para el objetivo derivado que implica evaluar el funcionamiento del prototipo con usuarios reales que desempeñen roles en el área de calidad, todos los resultados presentados en las Tablas 2 y en las figuras 2 y 3. y los hallazgos encontrados tras la encuesta, son argumentos contundentes de que tanto el prototipo como el diseño metodológico adoptado, no experimental, descriptivo–correlacional y de alcance longitudinal corto funcionan eficazmente para la población objetivo.

Propuesta de Solución a la Problemática

Situación Actual

Actualmente muchas de las plantas industriales certificada en ISO, presentan un riesgo operativo ligado a la dependencia total de un único experto en metrología, lo que representa un alto riesgo de continuidad operativa si este profesional no está disponible,

afectando el cumplimiento de requisitos de calidad y normativos. Además, la formación del personal con roles en áreas de calidad se ve limitada por tiempos y costos, lo que reduce el desarrollo de competencias y la flexibilidad requerida por la norma ISO.

De acuerdo con los resultados de la encuesta, aunque los usuarios contaban con conocimientos previos naturales de sus roles en áreas de calidad, el margen de mejora es alto para la adquisición de nuevo conocimiento o refuerzo de este, la necesidad de reducir el riesgo operativo que generaba el contar con un experto único en el área se percibió entre los usuarios con el 4.5% que se obtuvo, como una necesidad pronta a resolver. Los usuarios coinciden en que la herramienta es la solución más viable.

Oportunidades

A partir de los hallazgos se identificaron las siguientes oportunidades:

- Con los resultados de la encuesta se evidencia que la herramienta genera un aprendizaje efectivo y refuerza competencias, lo que se traduce en una oportunidad de mejora continua con alto potencial para la planta industrial.
- La herramienta digital es intuitiva, con una alta usabilidad y accesible según la percepción de los usuarios mediante la encuesta, lo que nos lleva a ver potencial de adaptabilidad para hacerla más inclusiva a cualquier cargo del área de calidad.
- La herramienta se percibe como un recurso de autocapacitación que permite la operación sin detenerse y no requiere la presencia del experto para realizar las mediciones en la planta industrial, lo que genera una oportunidad para tener un grupo de calidad polivalente y alinearse al requisito que la norma ISO exige.

- Reducción de costos en capacitaciones externas y tiempos pues se puede hacer en cualquier horario, permitiendo una capacitación al ritmo de cada usuario.

Propuesta de solución al problema

Se propone la implementación de la herramienta digital de autocapacitación en metrología industrial para el personal operativo del área de calidad de una planta industrial en Bogotá, Colombia, certificada con la norma ISO 9001:2015, teniendo en cuenta que el diseño, desarrollo y evaluación de este prototipo que integra la ingeniería industrial y la ingeniería de sistemas, efectivamente reduce la dependencia de un único experto en metrología, tiene un bajo costo, garantiza la continuidad operativa, y da cumplimiento a los requisitos que exige la norma.

La estrategia de implementación del proyecto se realizaría de tres etapas. En una primera etapa se le dará acceso a todo el personal de operativo del área de calidad para su aprendizaje o refuerzo de conocimiento. En una segunda etapa se aplicará una evaluación para valorar el nivel de aprendizaje de cada usuario. Para finalizar en una tercera etapa se solicitará al experto proceder a una sesión practica donde el usuario ponga su conocimiento para operar instrumentos de medición en tiempo real.

La herramienta implementada en una planta industrial actuara como un generador potencial de equipos de trabajo polivalentes en las áreas de calidad además que actuara también como un repositorio de conocimiento, lo que incentiva a dejar documentación de conceptos que antes se centralizaban en un único experto, dando cumplimiento a la norma que exige continuidad en la operación y gestión del conocimiento.

Los beneficios concretos que la planta manufacturera obtendrá con la implementación de este proyecto son la eliminación del riesgo operativo que generaba tener una sola persona experta en metrología, reducción de costos en capacitación del personal de calidad, un equipo polivalente, el cumplimiento de la norma con la documentación y gestión del conocimiento además de la continuidad operativa, autonomía y flexibilidad en el aprendizaje con el plus que podrán consultar los conceptos en cualquier momento y por último un proyecto totalmente sostenible pues esta herramienta es de fácil actualización, el conocimiento queda dentro de la organización perdiendo la dependencia de personas externas y según los resultados de la encuesta para los usuarios es totalmente positiva, adaptable y sujeta a mejoramiento continuo.

Para concluir esta solución responde directamente a la pregunta de investigación de ¿Como capacitar en metrología industrial al personal operativo del área de calidad de plantas certificadas con la ISO 9001:2015 en Bogotá, Colombia? Ya que, la herramienta digital de autocapacitación es la alternativa más efectiva, eficiente y alineada con la necesidad que se expuso, contribuye a la mejora continua y permite capacitación sin interrupciones operativas lo que es invaluable para una planta industrial.

Discusión

La disposición de una plataforma digital que permita la concentración y estandarización del conocimiento en metrología industrial en respuesta a una necesidad de reducción de dependencia de colaboradores específicos y contratación de prestadores de servicios de capacitación demostró ser aceptada de forma activa por parte de los miembros de la población objetivo, trabajadores del área de calidad de plantas de producción, donde encontrar información referente a los conceptos y procesos clave definidos por la norma ISO 9001:2015 fuera más sencillo y sobre todo confiable gracias a la metodología por módulos que divide los conceptos en variables específicas creando un mapa de aprendizaje con hitos que fomentan la creación de conocimiento.

Uno de los resultados más significativos está en los logros de formación de los usuarios que utilizaron la herramienta, donde se evidencia que la mayoría de los participantes manifiesta que el uso de la plataforma ha sido útil para enriquecer su dominio en el tema específico. Una de las causas principales de este efecto se encuentra dentro de la metodología de formación, dado que esta divide el tema en variables específicas que aprovechan técnicas de estudio muy efectivas ya probadas como lo son el active-recall, así mismo cada módulo está pensado para crear bases de conocimiento de manera progresiva por lo que se espera que el usuario cuente con un saber previo antes de ver temas más especializados.

De acuerdo con lo esperado en los estudios de Castro y Cázares (2021), la adecuación de la plataforma para garantizar la transferencia del conocimiento desde los eslabones individuales hasta el nivel organizacional es una de las medidas más pertinentes para asegurar que el conocimiento no se pierde o se concentra en sectores específicos de la

compañía. Esto soporta los resultados presentados en los hitos de formación de los usuarios y las expectativas con la propuesta de solución, considerando que el material de la herramienta no es estático y puede estar sujeto a cambios y actualizaciones a medida que la información organizacional aumenta.

Así mismo se evidencian descubrimientos positivos en la percepción de los usuarios respecto al uso de la herramienta y su facilidad de uso. Los hallazgos son coherentes con los estudios de Abdullah (2025) en el campo del desarrollo de sistemas de gestión del aprendizaje donde se hace un acercamiento a la calidad del servicio y los contenidos de formación, fomentando así la permanencia de los usuarios y la apropiación de los mecanismos de transferencia del conocimiento.

De igual forma a nivel organizacional se esperan beneficios en la diversificación de los profesionales capacitados para soportar las actividades de gestión de calidad y cumplimiento de la norma ISO 9001:2015 como garantía de transición hacia una operación ininterrumpida. La disponibilidad de profesionales con las capacidades en metrología industrial necesarias les ofrece a las plantas de producción las herramientas necesarias para planificar su estrategia de operación alrededor de una plantilla sólida de empleados reduciendo de forma efectiva la dependencia en expertos particulares, y la contratación de prestadores de servicios de formación externos.

Los resultados obtenidos enriquecen el panorama de conocimiento sobre los beneficios de implementación de herramientas digitales de formación autónoma en metrología industrial en plantas de producción de Colombia reduciendo la brecha de información en la región donde el tema ha sido poco explorado y documentado. El estudio

tiene relevación en sus aportes sobre los mecanismos de formación utilizados, la identificación de los paradigmas de experiencia del usuario y la apropiación del conocimiento organizacional.

En la práctica, los hallazgos tienen aplicación directa en entornos productivos, especialmente en plantas de producción con una visión orientada a la transformación tecnológica y que fomenta los procesos de formación continua de sus empleados. Desde la metodología hasta las tecnologías de desarrollo de la plataforma ofrecen la información necesaria para un primer acercamiento hacia la independencia de las organizaciones en la apropiación de su conocimiento, sentando las bases para que puedan adaptar las estrategias utilizadas en su contexto específico.

Por otro lado, es importante mencionar que el estudio estuvo limitado por la muestra de la población objetivo-seleccionada para prueba y valoración de la herramienta digital, teniendo en cuenta que el contenido de formación está orientado a un público específico, solo se contó con la participación de un número reducido de participantes que cumplieran con el perfil buscado para emplear la solución propuesta para las necesidades de capacitación en metrología industrial y eventualmente ofrecieran una retroalimentación que aportara a los objetivos del estudio.

Con lo anterior en mente y en miras a futuras investigaciones, se presentan excelentes oportunidades empleando una muestra más grande de profesionales que se vean en un proceso de formación mediante el uso de herramientas digitales de desarrollo propio que sigan o ajusten los modelos utilizados en el presente documento. Con una base de valoraciones más amplia es posible identificar patrones en los resultados de aprendizaje de

los usuarios con mayor efectividad, y de esa manera aplicar correcciones en la metodología o diseño de la plataforma para garantizar mejores resultados de formación.

Es así como la propuesta de solución planteada para la necesidad específica de formación de personal del área de calidad en plantas de producción certificadas bajo la norma ISO 9001:2015 demostró excelente potencial para fortalecer las habilidades y conocimiento de los empleados aportando valor directo a los procesos de producción y de recursos humanos de las organizaciones del sector, reduciendo dependencia en colaboradores específicos y costos adicionales de formación.

Plan de divulgación

Justificación

El proyecto usará como canal de divulgación la publicación en la Biblioteca Digital Minerva de la Universidad EAN, teniendo en cuenta que, Minerva forma parte del Sistema Nacional de Acceso Abierto al Conocimiento (SNAAC) y está indexada en LA Referencia, red de repositorios de América Latina, garantizando visibilidad nacional e internacional a investigadores, docentes y profesionales del sector industrial. El proyecto integra dos campos de aplicación como lo son la ingeniería industrial y la ingeniería de sistemas, que juntas desarrollan una herramienta digital de autocapacitación de metrología, la Biblioteca Minerva es un medio accesible y de fácil de consulta para la comunidad académica de estas dos ingenierías, que usa la asignación de identificadores permanentes (handle) y acceso abierto perpetuo. Por último, los resultados validados de manera cuantitativa (promedios entre 3.8 y 4.6 en escala de 5) y cualitativa (practicidad, claridad conceptual, simplificación de contenidos) contribuyen como un aporte metodológico replicable a futuras investigaciones que integren métodos educativos tecnológicos con aplicación a plantas industriales certificadas con la norma ISO.

Objetivo principal

Publicar el proyecto en la Biblioteca Digital Minerva, garantizando acceso abierto nacional e internacional a aliados externos y comunidad académica interesada en metrología, capacitación autónoma y cumplimiento de la norma ISO 9001:2015.

Objetivos específicos

- Completar el proceso de autoarchivo en Minerva, en un plazo de 5 semanas después de la aprobación del proyecto.
- Vincular aliados externos.
- Medir el impacto del proyecto por medio de estadísticas de consulta, en un término de un año después de su publicación.

Estrategia

- Aprobación del proyecto integrador con sus respectivos anexos (encuesta, base de datos de los resultados obtenidos de la encuesta y video del prototipo).
- De ser aprobado para su publicación, preparar un manual de usuario de la herramienta digital de autocapacitación en formato PDF con sus respectivas funcionalidades e instrucciones de acceso.
- Iniciar con el autoarchivo en Minerva, accediendo a la plataforma de la EAN para diligenciar por un solo integrante del proyecto, la carta de Autorización de publicación con la firma de todos los integrantes del grupo, en el mismo registro adjuntar por separado en formato PDF, el trabajo de grado, los anexos y la carta de autorización.
- Esperar la revisión que hace el equipo de la Biblioteca Digital Minerva de la calidad técnica de archivos, tiempo estimado de 5 a 10 días hábiles, durante este periodo estar atento a responder las observaciones que se hagan.
- Recibir la confirmación de la publicación oficial con la asignación de handle permanente y la notificación al correo institucional con el URL definitivo.

- Elaborar un informe y una presentación ejecutiva destacando: problema validado (riesgo operativo por dependencia de experto único), resultados de validación (utilidad 4.6/5, impacto en continuidad operativa 4.4/5), beneficios concretos (reducción costos de capacitación, formación de equipos polivalentes y cumplimiento al requisito 7.1.6 de la ISO 9001:2015).
- Identificar como posibles aliados externos a gremios empresariales como la ANDI (Asociación Nacional de Empresarios de Colombia), cámaras de comercio con comités de calidad y productividad, firmas especializadas en certificación y mantenimiento de sistemas ISO 9001:2015 que podrían recomendar la herramienta a clientes industriales.
- Compartir el enlace de la Biblioteca Digital Minerva junto al resumen ejecutivo por medio de correo electrónico a los contactos identificados.

Cronograma Estimado

Tabla 4 Cronograma plan de divulgación

SEMANA	ACTIVIDAD	RESPONSABLE	ENTREGABLE
1	Revisión y aprobación de documento	Autores / Tutor	Proyecto Aprobado.
1	Preparación de anexos y manual de usuario	Autores	Anexos en PDF
2	Diligenciamiento Carta de Autorización	Autores	Carta firmada digitalizada
2	Registro en Minerva y carga de archivos	Autor designado por el grupo	Formulario, proyecto y anexos en PDF
3-4	Revisión bibliotecaria y ajustes si es el caso	Biblioteca EAN / autores	Aprobación publicación
5	Publicación oficial con handle asignado	Biblioteca EAN	URL permanente activa
6-9	Elaboración presentación ejecutiva para aliados	Autores	Informe ejecutivo y presentación
10	Contacto con aliados externos	Autores	correos

*Nota. Elaboración propia***Costos**

- Firma digital para Carta de Autorización: \$50.000 COP

Resultados Esperados

- Publicación con identificador permanente consultable por comunidad académica nacional e internacional a través de SNAAC y LA Referencia de la Universidad EAN.
- Alcance estimado: 60-100 descargas en el primer año, trazable por medio de estadísticas de uso, disponibles en la Biblioteca Digital Minerva para medir impacto real.
- Posible vinculación en EAN Impacta, visibilizando el proyecto en el portafolio de innovaciones.

Impacto

- Aporta como una referencia académica permanente para futuros trabajos de grado en líneas de investigación de tecnologías educativas, metrología industrial, capacitación empresarial y cumplimiento de la norma ISO.
- Contribuye como documento de citación en artículos científicos, tesis de maestrías y doctorados y proyectos de consultoría especializados.
- Inclusión en el portafolio profesional de los autores fortaleciendo sus CV para oportunidades laborales.
- Contribuye al posicionamiento de la Universidad EAN en innovación aplicada con impacto social y empresarial, alineado con los objetivos institucionales de emprendimiento sostenible.

- Para las empresas que tengan interés en implementar el proyecto, obtendrán una capacitación a bajo costo y sin interrupciones en la continuidad operativo con equipos de trabajo polivalentes.
- El diseño no experimental descriptivo-correlacional y la arquitectura modular por variables queda documentada como un modelo replicable para otras áreas dentro de las organizaciones.

Conclusión

Este es un plan de divulgación con una ruta operativa coherente con la visión del proyecto. La combinación de acceso abierto nacional e internacional, consulta permanente y vinculación con aliados externos del sector industrial, garantizará que la herramienta digital de autocapacitación en metrología industrial trascienda como una solución efectiva, replicable y sostenible para plantas industriales certificadas con la norma ISO 9001:2015, respondiendo directamente a la pregunta de investigación planteada inicialmente.

Conclusiones

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto permiten concluir que la propuesta planteada fue implementada de manera satisfactoria, cumpliendo con los objetivos y premisas definidos desde un principio, tanto los resultados cuantitativos como los cualitativos nos permiten ver que el software educativo logró responder de manera efectiva a la problemática identificada, aportando soluciones prácticas y funcionales, además, el desempeño del producto demostró que la integración de herramientas tecnológicas en procesos educativos puede generar mejoras significativas en la comprensión y el aprendizaje, fortaleciendo así el impacto positivo del proyecto en los usuarios involucrados.

También los estudios realizados durante el proceso permitieron identificar diferentes fortalezas del software educativo, especialmente en aspectos relacionados con la eficiencia, funcionalidad y aceptación por parte de los usuarios, la percepción positiva de las personas frente al producto demuestra que la herramienta desarrollada no solo cumple una función técnica, sino que también genera confianza y utilidad en quienes hacen un uso de ella, esto evidencia la importancia de diseñar soluciones enfocadas en las necesidades reales de los usuarios, garantizando una experiencia adecuada y promoviendo una mayor efectividad en la implementación del sistema desarrollado.

La participación y el acompañamiento de un experto en metrología representaron un apoyo fundamental para el desarrollo exitoso del proyecto ya que gracias a sus conocimientos y orientación, fue posible fortalecer aspectos técnicos importantes, mejorando la precisión, confiabilidad y calidad de los resultados obtenidos, esta

experiencia permitió comprender la relevancia del trabajo interdisciplinario y el valor que aporta la asesoría profesional en procesos de investigación y desarrollo, asimismo, se evidenció que el aprendizaje guiado por expertos contribuye significativamente al crecimiento académico y profesional de los estudiantes involucrados.

Finalmente, el desarrollo de este proyecto dejó como enseñanza principal la importancia de la mejora continua dentro de cualquier proceso académico y tecnológico, como estudiantes, la experiencia permitió fortalecer habilidades relacionadas con el análisis, la solución de problemas y el trabajo colaborativo, comprendiendo que siempre existen oportunidades para optimizar la calidad de un producto o servicio. Además, el proyecto evidenció que la evaluación constante y el aprendizaje obtenido durante cada etapa son elementos esenciales para alcanzar resultados exitosos y generar propuestas innovadoras con un impacto positivo en el entorno educativo y profesional.

Referencias bibliográficas

- Afanador Bastidas, M., & Sosa Moyano, C. (2021). *Propuesta de implementación de la gestión de los proyectos en Pinzuar S.A.S* [Universidad EAN].
<http://hdl.handle.net/10882/10956>
- Almusfar, L. A. (Ed.). (2025). *Improving Learning Management System Performance: A Comprehensive Approach to Engagement, Trust, and Adaptive Learning* (Vol. 13). IEEE Access. https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=10921636&utm_source=clarivate&getft_integrator=clarivate
- Biblioteca Universidad Ean. (2021, 2 agosto). *¿Cómo registrar tu trabajo de grado en la Biblioteca Digital Minerva?* [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=R5LcXdc6-zs>
- Blandón, D. F. Z., Marulanda, D. C. C., Quinchia, M. H., Marín, D. Z. R., & Muñoz, C. P (Eds.). (2023). *CALIDAD Y METROLOGÍA: IMPORTANCIA Y HERRAMIENTAS PARA EL SECTOR PRODUCTIVO*. Grindda.
<https://revistas.sena.edu.co/index.php/GRINNDA/article/view/5690/5719>
- Castro-Galván, E., & Cázares-Garrido, I. V. (Eds.). (2021). *La transferencia del conocimiento y las capacidades de medición y calibración en laboratorios nacionales de metrología* (Vol. 8, Número 16). Revista CEA.
<https://doi.org/10.22430/24223182.1834>
- Cortés Sánchez, J. M. (2017). *Sistema de gestión de calidad: ISO 9001:2015*.
<https://www-ebooks7-24-com.bdbiblioteca.universidadean.edu.co/?il=7964>
- Díaz Quilla, J. P., Carbonel Alta, G. Z., & Picho Durand, D. J. (Eds.). (2021). *LOS SISTEMAS DE GESTIÓN DE APRENDIZAJE (LMS) EN LA EDUCACIÓN VIRTUAL*. REVISTA ARBITRADA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ESTUDIOS GERENCIALES. <https://revista.grupocieg.org/wp-content/uploads/2021/06/Ed.5087-95-Diaz-Carbonel-Picho.pdf>

- Dobilienė, J., & Meškauskienė, A. (Eds.). (2025). *Metrology personnel competencies. Their importance to the quality of measurements* (Vol. 38). Measurement: Sensors. <https://doi.org/10.1016/j.measen.2024.101325>
- Fangyuan, Z., Hanyao, T., Zou, X., & Xinghui, L. (Eds.). (2025). *A Review of Optical Metrology Techniques for Advanced Manufacturing Applications*. MDPI. <https://doi.org/10.3390/mi16111224>
- Habiburrahman, R. N. Z. (Ed.). (2021). *Relationship between ISO 9001:2015 and operational and business performance of manufacturing industries in a developing country (Indonesia)* (Vol. 7, Número 1). Heliyon. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05537>
- Heras del Dedo, R. D. L., & Álvarez García, A. (2017). *Métodos ágiles: Scrum, Kanban*. Difusora Larousse - Anaya Multimedia.
- Igoa-Iraola, E., & Díez, F. (Eds.). (2024). *Procedures for transferring organizational knowledge during generational change: A systematic review* (Vol. 10, Número 5). Heliyon. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27092>
- Instituto Nacional de Metrología de Colombia. (2018). *MODULO II - ¿Y QUÉ ES METROLOGÍA?* <https://elearning.inm.gov.co/wp-content/uploads/2018/12/MODULO2-Y-QUE-ES-METROLOGIA-1.pdf>
- Instituto Nacional de Metrología de Colombia. (2026). *Cursos de capacitación metrológica*. Instituto Nacional de Metrología de Colombia. <https://inm.gov.co/servicios/cursos-de-capacitacion-metrologica/>
- International Organization for Standardization. (2017). *CIE Colorimetry — Part 4: CIE 1976 Lab Colour space* (ISO Standard No. 11664-4:2008)*. <https://www.iso.org/standard/52497.html>
- International Organization for Standardization. (2018). *Graphic technology — Spectral measurement and colorimetric computation for graphic arts images (ISO 13655:2017)*. <https://www.iso.org/standard/63140.html>

- Kipphan, H. (2014). *Handbook of Print Media: Technologies and Production Methods*. Springer Berlin, Heidelberg.
- Mahnegar, F. (Ed.). (2012). *Learning Management System* (Vol. 3, Número 12). Encyclopedia of the Sciences of Learning.
https://www.academia.edu/85825822/Learning_Management_System
- Martin, A. (Ed.). (2017). *ISO 9001 IMPACT ON OPERATIONAL PERFORMANCE* (Vol. 4, Número 3). International Journal of Recent Advances in Multidisciplinary Research. <https://ijramr.com/sites/default/files/issues-pdf/1251.pdf>
- Morelos Gómez, J., Hernández Padilla, K. D., & Pérez Romero, A. J. (2025). La gestión de la calidad en la industria 4.0: un nuevo enfoque tecnológico y de eficiencia en la era digital. *Revista Universidad y Empresa*, 28(50).
<https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.14636>
- Organización Internacional de Normalización. (2015). *Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos (Norma ISO 9001:2015)*.
<https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9001:ed-5:v1:es>
- Osorio Cruz, S., & Sinisterra Moreno, L. (2024). *Análisis de implementación del Sistemas de Gestión de Calidad en Empresas Colombianas: Factores y Perspectivas*. Universidad EAN.
- Peralta, E. (2013). *La ingeniería de requisitos aplicada a los sistemas de control industrial. Memorias del Congreso COMTEL*.
- Schwaber, K., & Sutherland, J. (2020). *La Guía de Scrum: Las Reglas del Juego*.
<https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-Spanish-Latin-South-American.pdf>
- Tendero, M., & Eguía, V. (2022). *Teoría y práctica de la metrología dimensional aplicada a la fabricación en ingeniería*.
<https://ruidera.uclm.es/server/api/core/bitstreams/e84106a8-b24a-4042-828b-b77055899434/content>