

# Prototipo de una máquina para caracterización de fatiga con un enfoque scrum-investigación acción

Hilse Lucita Talamantes Martínez<sup>1</sup>, Jose Carlos Hernandez<sup>2</sup>, María F. Serrano-Muñoz<sup>1</sup>, Luis E. Lugo-Uribe<sup>3</sup>, M. A. González-López<sup>4</sup> e Isa Pereyra<sup>4</sup>

Posgrado CIATEQ A.C.<sup>1</sup>, CONAHCYT-Centro de Tecnología Avanzada (CIATEQ)<sup>2,3,4</sup>  
Cunduacán, Tab.<sup>2</sup>, Toluca, Edo. Mex.<sup>3</sup>, San Luis Potosí, S.L.P.<sup>4</sup>; México  
hilse136@gmail.com, isabel.pereyra@ciateq.mx

**Abstract**— This project explores the integration of conventional educational methods with technology in the fields of science and engineering, preparing students for their future professional lives. It is centered on the optimization of a laboratory prototype—a machine designed for the fatigue testing of cantilever beams—through a hybrid methodology that combines scrum and action research. This strategy not only enhances the design and functionality of the device but also cultivates a collaborative learning environment that promotes educational innovation and critical thinking. The project highlights the significance of adaptability and continuous improvement, emphasizing the importance of an optimized educational design.

**Keyword**— Hybrid methodology, scrum, action research, Cantilever beam fatigue.

**Resumen**— Este proyecto aborda la integración de métodos educativos tradicionales con tecnologías en ciencias e ingeniería, preparando a los estudiantes para el futuro profesional. Se centra en optimizar un prototipo de laboratorio, una máquina para evaluar la fatiga de vigas en voladizo, mediante una metodología híbrida de scrum e investigación-acción. Este enfoque mejora tanto el diseño como la funcionalidad del dispositivo y fomenta un entorno de aprendizaje colaborativo, impulsando la innovación pedagógica y el pensamiento crítico. El proyecto enfatiza la adaptabilidad y mejora continua, subrayando la importancia de un diseño educativo optimizada.

**Palabras claves**— Metodología híbrida, scrum, investigación-acción, fatiga en viga en voladizo.

## I. INTRODUCCIÓN

Este estudio se enfoca en el desarrollo y optimización de un prototipo de máquina de fatiga rotatoria de viga en voladizo, adaptada para su uso en el ámbito educativo de nivel medio superior. En el panorama actual de la educación, la incorporación de principios de ingeniería se identifica como una estrategia fundamental para profundizar el aprendizaje en ciencias y tecnología. Esta integración no solo fomenta una comprensión más práctica y aplicada de los conceptos científicos, al aplicarlos en situaciones reales y significativas, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar desafíos interdisciplinarios con innovación y pensamiento crítico. Así, el prototipo aspira a ser un recurso didáctico que enlace directamente la teoría con la práctica, equipando a los futuros ingenieros para las complejidades del mundo real (Purzer & Quintana-Cifuentes, 2019).

La incorporación de prácticas de ingeniería en la educación, mediante la experimentación, la adaptación de estrategias y la reflexión continua, ha permitido a los docentes reconocer la importancia y el impacto significativo de integrar la investigación y el diseño de ingeniería en el aprendizaje. Este enfoque ha demostrado no solo mejorar la comprensión de los estudiantes sobre estos conceptos de manera significativa, sino también desafiar y enriquecer las prácticas pedagógicas y las filosofías de enseñanza de los docentes (Brand, 2020).

La combinación de estrategias basadas en tecnología, incluyendo la creación de contextos auténticos, el desarrollo de entornos de investigación online, la utilización de tecnología interactiva e inmersiva, y

el estímulo hacia la generación de contenido propio, se revela como un recurso invaluable para los docentes en la implementación de prácticas pedagógicas efectivas dentro de entornos educativos STEM integrados. Estas herramientas no solo enriquecen la experiencia de aprendizaje, sino que también preparan a los estudiantes para resolver problemas complejos de manera creativa y colaborativa (Yang & Baldwin, 2020).

La metodología scrum se explora como una estrategia innovadora para enriquecer el aprendizaje en cursos universitarios interdisciplinarios y orientados a proyectos, demostrando su eficacia en mejorar la dinámica de equipo y la gestión de proyectos complejos (Kruzela et al., 2012). Paralelamente, la integración de una diversidad de metodologías emerge como un factor clave para profundizar en la comprensión y la capacidad de predicción de la fatiga material. Esta síntesis metodológica proporciona una plataforma robusta para la presentación de investigaciones vanguardistas, ampliando significativamente el espectro de conocimiento en este campo (Wang et al., 2023). Adoptar tal enfoque multidisciplinario no solo sitúa este estudio en la vanguardia de un campo en constante evolución, sino que también resalta su contribución distintiva a la disciplina. Así, se abren nuevas vías para la investigación y el desarrollo, permitiendo abordar el complejo fenómeno de la fatiga con mayor efectividad y precisión.

La fatiga de los materiales desempeña un papel fundamental en la integridad estructural de infraestructuras vitales en sectores clave como el naval, el automotriz y el aeroespacial, siendo crucial para evitar fallas estructurales significativas (Gbagba et al., 2023). La investigación sobre fatiga es esencial tanto en la academia, donde se explora en cursos de diseño de máquinas a niveles de grado y posgrado, como en la práctica profesional, donde los ingenieros a menudo recurren a soluciones manuales complementadas por análisis estáticos mediante elementos finitos (Coffman & Rencis, 2008). Además, es vital subrayar la necesidad de un enfoque interdisciplinario en la investigación de la fatiga, lo cual enriquece el entendimiento del fenómeno y fomenta el desarrollo de soluciones innovadoras.

La investigación-acción, término acuñado y desarrollado por Kurt Lewin en 1946, se emplea actualmente con una amplia gama de enfoques y perspectivas, adaptándose específicamente a la problemática que se busca abordar (Herrerías, n.d.). Más que un simple método de investigación sobre la enseñanza, la investigación-acción implica entender la enseñanza como un proceso de investigación continua. Implica una comprensión profunda de la práctica docente, integrando reflexión y análisis crítico de las experiencias educativas como pilares fundamentales de la actividad docente. La acción, aunque guiada por problemas concretos, se centra en la exploración reflexiva de la práctica educativa, subrayando la importancia de la capacidad del educador para reflexionar, planificar y perfeccionar de manera progresiva su enfoque pedagógico.

Se ha observado que, aunque la adopción de scrum contribuye positivamente a varios aspectos de los proyectos estudiantiles, no logra abordar todos los factores críticos que determinan la calidad de los proyectos. La discusión resalta la necesidad imperante de revisar y ajustar las estrategias pedagógicas de manera continua para mejorar la integración y eficacia de herramientas pedagógicas avanzadas en la educación superior. Este proceso de ajuste es crucial para abordar de manera integral los elementos que afectan la calidad de los proyectos estudiantiles, fortaleciendo de este modo el aprendizaje universitario en su totalidad (Boucher, 2017).

De manera más específica, la metodología de investigación-acción se distingue por su enfoque participativo y comunicativo, fomentando la colaboración y la construcción de relaciones sólidas con los participantes. Conocido como "aprender haciendo", este método sigue un ciclo de planificación, acción, observación y reflexión, tal como se ilustra en la fig. 1, donde se destacan las 10 características

principales que demuestran cómo puede aplicarse efectivamente para transformar la educación. Orientada hacia el cambio educativo, esta metodología se construye desde y para la práctica, buscando mejorarla a través de su transformación simultánea mientras procura comprenderla. Este enfoque es esencial en este proyecto, centrado en el aprendizaje a través de la acción y la reflexión, permitiendo a educadores y estudiantes analizar y mejorar prácticas educativas mediante ciclos iterativos. Específicamente, se aplicará para adaptar y perfeccionar un kit educativo de una máquina de fatiga en flexión, asegurando un aprendizaje relevante, aplicable, colaborativo y basado en la solución de problemas.

La metodología de investigación-acción no únicamente se adapta a contextos educativos, sino que también fomenta una participación de los estudiantes en un proceso de aprendizaje profundo.

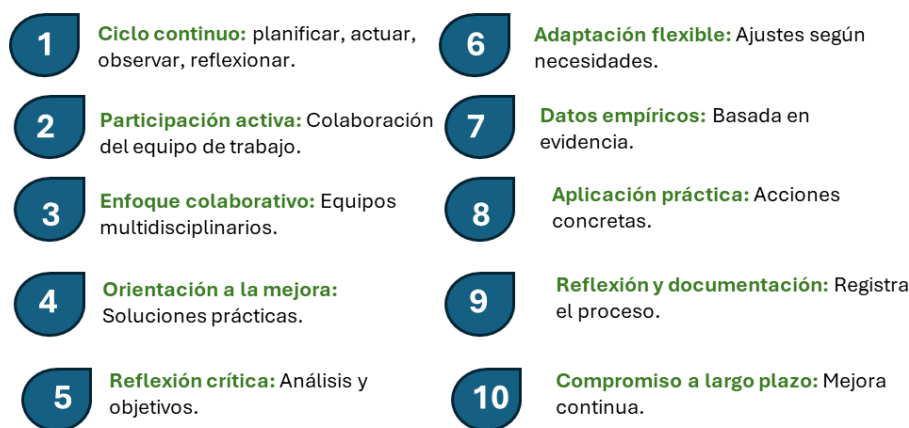


Figura. 1. Características de la investigación-acción.

Dentro del espectro de metodologías ágiles, scrum emerge como un método preferido para la gestión de proyectos en varias industrias, ofreciendo un marco de trabajo basado en valores, roles y directrices que impulsan la concentración y la mejora continua, como se muestra en la fig 2.

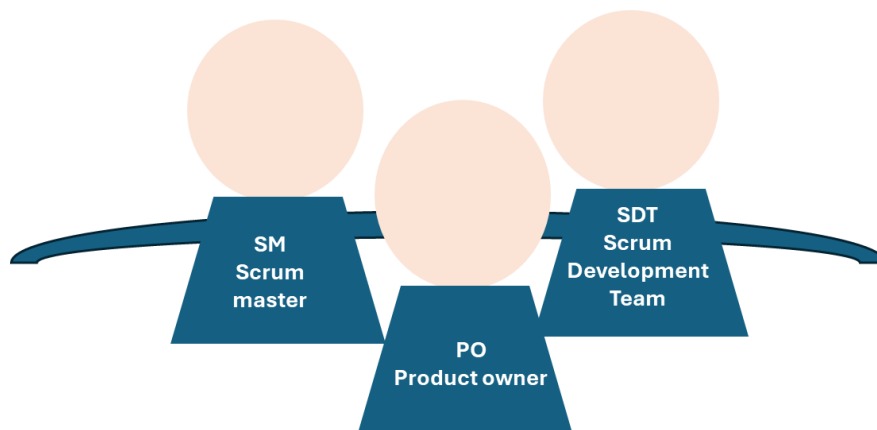


Figura 2. Principales roles.

Inspirado en el rugby, este enfoque fomenta la resolución de problemas mediante iteraciones rápidas y una colaboración estrecha, tal como se observa en la fig 3.



Figura.3. El marco ágil de scrum

En el ámbito de las metodologías ágiles, scrum se destaca por su capacidad para manejar proyectos complejos y adaptativos, introduciendo un marco de trabajo que enfatiza la colaboración, la mejora continua y la adaptación flexible. Según Iqbal y Javed (2014), la introducción de elementos alternativos dentro del marco de scrum, como lo es la Arquitectura Dirigida por Modelos (MDA) en el contexto de la metodología ágil, demuestra el potencial de estas adaptaciones para abordar de manera efectiva los desafíos dentro del ámbito educativo tecnológico (Iqbal & Javed, 2014).

La incorporación de scrum en proyectos educativos representa una metodología innovadora para enfrentar retos tecnológicos, fusionando la flexibilidad de scrum con la práctica participativa de la investigación-acción. Este enfoque no solo facilita el desarrollo iterativo centrado en el usuario, sino que también asegura que las herramientas tecnológicas educativas, como el kit para máquinas de fatiga en flexión, sean relevantes y eficaces a largo plazo.

## II. METODOLOGÍA

La aplicación de una metodología híbrida que integra investigación-acción y scrum en proyectos educativos tecnológicos, específicamente en el análisis de materiales, se presenta como una estrategia pedagógica novedosa. Esta sinergia metodológica promueve flexibilidad y adaptabilidad excepcionales frente a los retos contemporáneos de la educación, creando un ambiente de colaboración y fomentando un ciclo de mejora continua. Al fusionar estos enfoques, se establece un marco operativo que no solo facilita la implementación efectiva de innovaciones tecnológicas en la educación, sino que también asegura su pertinencia y eficacia a largo plazo. Este documento detalla cómo la combinación de investigación-acción y scrum potencia el desarrollo de proyectos educativos tecnológicos, actuando como guía para la agilización y la incorporación de recursos didácticos avanzados. A través de ejemplos

específicos, evidenciamos el impacto beneficioso de este enfoque en la preparación de estudiantes para enfrentar desafíos ingenieriles emergentes.

A continuación, se describe la máquina de fatiga la cual sirvió como objeto para desarrollar el nuevo prototipo y la metodología híbrida propuesta para su desarrollo.

### A. Máquina de fatiga

En el laboratorio de Recubrimientos Avanzados e Ingeniería de Superficies de CIATEQ A.C., se desarrolló una máquina de fatiga rotatoria de viga en voladizo, visible en la fig. 4 el cual se utilizará como modelo para la propuesta para el desarrollo del prototipo. Este dispositivo se diseñó utilizando conocimientos de dominio público, lo que promueve la adaptación y aplicación de principios y técnicas reconocidos en el campo de la ingeniería para el desarrollo de un equipo innovador y accesible. El uso de este conocimiento fomenta la colaboración, la mejora continua y la implementación práctica de la máquina en diferentes contextos educativos y de investigación.

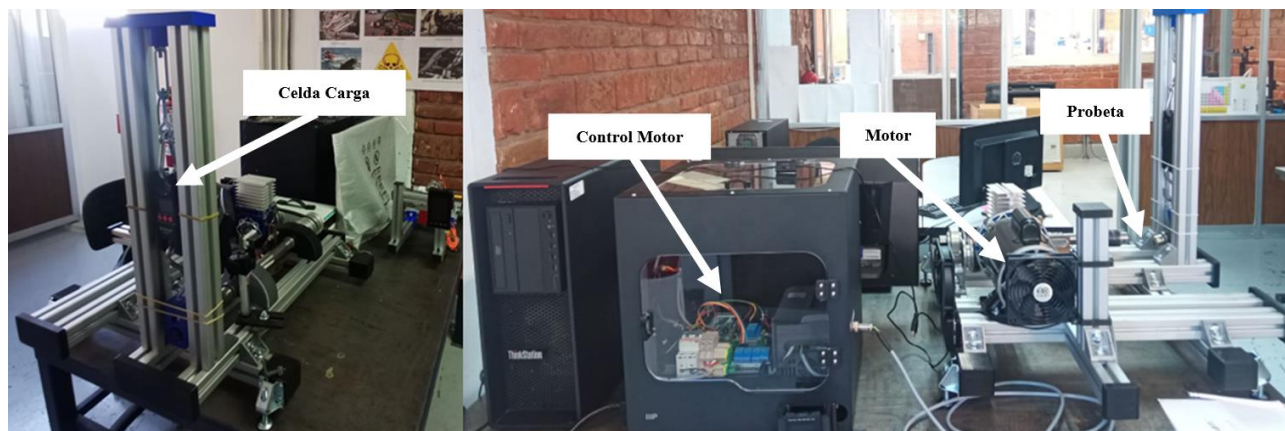


Figura. 4. Vista lateral y frontal de la máquina de fatiga rotatoria.

La máquina de fatiga desarrollada se caracteriza por su diseño modular, dividido en tres sistemas elementales fundamentales para su funcionamiento:

**Sistema de carga:** inspirado en la tercera ley de Newton, este sistema utiliza perfiles de aluminio para su estructura principal y una pieza multifuncional que actúa como soporte y cubierta estética. Incorpora un tensor, ganchos en 'S', y una celda de carga conectada a un amplificador de señal, que, a su vez, se enlaza a un controlador Arduino para el monitoreo en tiempo real de la carga aplicada. La carga se ajusta para crear microfracturas en la probeta hasta su fallo completo, permitiendo medir la resistencia del material a flexiones o deformaciones.

**Sistema de control:** este sistema registra el número de ciclos hasta la ruptura del material, proporcionando datos cruciales para la “gráfica de curvas de esfuerzo-deformación”, que ayuda a determinar la vida útil o fatiga del material.

**Sistema de potencia:** compuesto por un motor monofásico de 1735 rpm, un sistema de reducción de velocidad, ventiladores para refrigeración, y un variador de frecuencia para el ajuste preciso de las revoluciones. Incluye también un microscopio para observar y grabar la fractura de la probeta.

### B. Propuesta de diseño de máquina de fatiga

Este segmento detalla el proceso de diseño y las consideraciones técnicas que subyacen a la creación de una máquina de fatiga rotatoria de viga en voladizo. Al optimizar el diseño para la eficiencia, seguridad y adaptabilidad, nuestro objetivo es proporcionar un recurso valioso para el estudio de materiales bajo condiciones de fatiga, facilitando así una comprensión más profunda y aplicada de los principios de ingeniería entre los estudiantes.

El diseño eficaz de una máquina de fatiga es un componente crítico en la investigación y educación en ingeniería, permitiendo una exploración detallada de las propiedades de los materiales bajo condiciones de esfuerzo continuo. La optimización del diseño no solo mejora la precisión y fiabilidad de los resultados experimentales, sino que también aumenta la eficiencia y seguridad durante el proceso de prueba. Con el objetivo de superar limitaciones previas y maximizar la utilidad del equipo, se propuso una revisión detallada del sistema de carga y el sistema de potencia de nuestra máquina de fatiga rotatoria de viga en voladizo. Las mejoras implementadas se fundamentan en la eliminación de componentes redundantes, la reducción de la estructura física y la integración de tecnología avanzada, resultando en un sistema más compacto, estable y eficiente. A continuación, se presenta la propuesta de diseño que subyace a estas mejoras, describiendo los cambios específicos realizados y su impacto esperado en el rendimiento de la máquina.

#### 1) Sistema de carga

La revisión del diseño para el sistema de carga se enfocó en mejorar la eficiencia en la aplicación de la carga y reducir la altura total de la estructura (actualmente de 614 mm). Con la eliminación de algunos componentes, se prevé usar únicamente 4 armellas (2 cerradas y 2 abiertas), la celda de carga, y la pieza de soporte del cabezal de torno, logrando una altura final de 496 mm. Un componente impreso en 3D, diseñado específicamente para funcionar como tapa y soporte principal en configuración cantiléver, ha sido rediseñado a una longitud de 286mm (anteriormente 190 mm) para proporcionar estabilidad al sistema durante el inicio del motor y prevenir el volcamiento de la torre o el impacto de los cabezales del torno contra los perfiles, como se ilustra en la fig. 5.

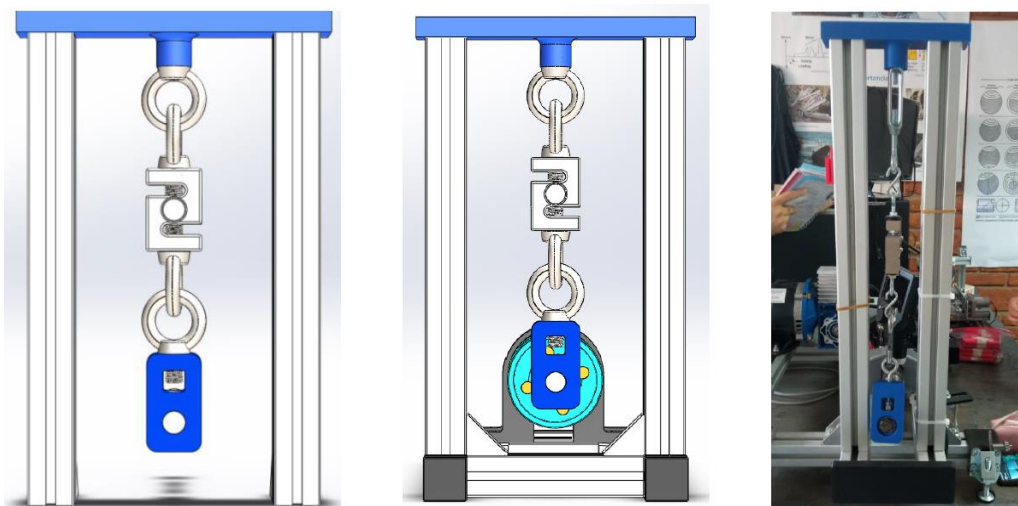


Figura.5. Estructura del sistema de carga propuesta.

## 2) Sistema de potencia

En línea con la simplificación del sistema, se ha diseñado un espacio en escuadra para sostener el motor y reforzar la estructura del sistema de carga, eliminando así el riesgo de volcamiento de la torre. El uso de cabezales de torno mejora la sujeción y precisión en el centrado de la probeta. El sistema de potencia, alineado perpendicularmente con el centro de aplicación de fuerza, incorporará un motor de menor tamaño y diámetro de flecha, mejorando la precisión en las pruebas de fatiga ver la fig 6.

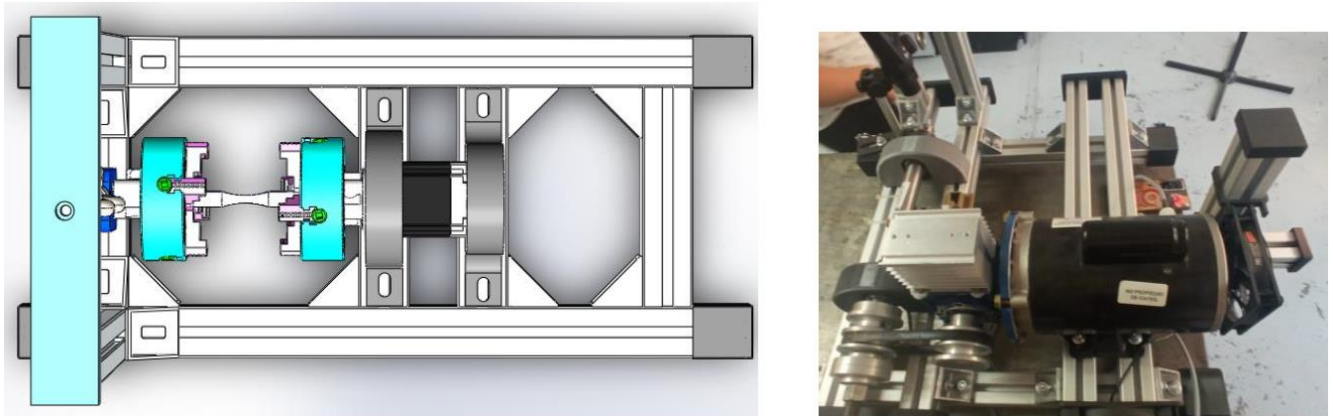


Figura. 6. Estructura del sistema de carga propuesta.

## 3) Refinamientos técnicos y mantenimiento de componentes claves

Estos ajustes mejoran la interacción entre la probeta y el equipo, optimizando el proceso de prueba al asegurar una aplicación uniforme de carga y reducir variaciones. La integridad y fiabilidad de los resultados se ven reforzadas por estos refinamientos técnicos.

Elementos clave como el amplificador de señal, debido a la baja resistividad, se mantendrán en el sistema de carga. En el sistema de potencia, el contador de ciclos y el variador de frecuencia seguirán siendo esenciales para medir la duración hasta el fallo de la probeta. Además, un microscopio electrónico permitirá visualizar el desarrollo de la fractura durante las pruebas de fatiga.

## C. Metodología híbrida

La relevancia de una metodología híbrida en este proyecto está en combinar la flexibilidad de scrum con el enfoque práctico de la investigación-acción. Este enfoque facilita la gestión dinámica de proyectos tecnológicos en educación, adaptándose a las demandas del entorno de aprendizaje y promoviendo la mejora continua. Involucra a todos los participantes de manera significativa para optimizar el impacto y efectividad de las herramientas educativas desarrolladas.

La metodología híbrida propuesta para este proyecto consta de 6 fases como se muestra en la fig. 7.

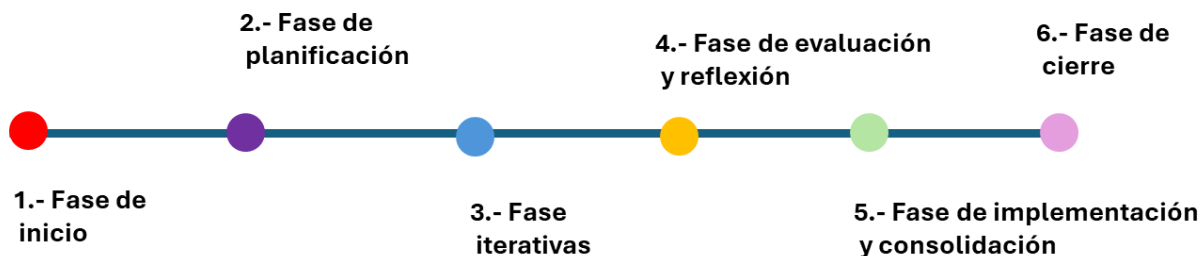


Figura. 7. Fases de la metodología híbrida scrum investigación-acción.

La metodología scrum facilita la adaptación y mejora del kit educativo debido a sus características de adaptabilidad a los cambios, permitiendo la mitigación temprana de riesgos y/o acontecimientos mejorables durante la implementación del kit educativo, gracias a la colaboración efectiva y autogestionada del equipo y de la interacción con los usuarios que estarán familiarizados con la metodología líder en el ámbito académico conocida como “Investigación-acción”. Ambas son metodologías “vivas” que combinadas ofrecen la mejora continua y por ende también el aprendizaje para alumnos y desarrolladores. Por efecto, se tendrá una mayor transparencia y visibilidad del progreso del proyecto y de los alcances obtenidos, con la finalidad de evaluar oportunamente los resultados de estas metodologías para el aprendizaje y la evolución en este sector.

La combinación de scrum y la investigación-acción ha sido fundamental para optimizar el desarrollo de prototipos en la educación tecnológica. Esta integración metodológica no solo mejora el proceso de desarrollo, sino que también asegura la pertinencia y eficacia de las innovaciones. Cada fase del proyecto, detallada en la fig. 8, enfatiza la mejora continua y la adaptación a las necesidades educativas.

Se creó un prototipo de máquina más eficiente y costo más accesible que el original, destacándose por su avance tecnológico, accesibilidad y practicidad para la enseñanza. Este resalta la importancia de fusionar enfoques ágiles y colaborativos en la ingeniería educativa, marcando un cambio efectivo hacia la innovación y la optimización de recursos al no depender de alta inversión en la adquisición de estos equipos.

A continuación, se desglosa la descripción de cada fase de la metodología híbrida utilizada:

**Fase de inicio:** la claridad en la definición del proyecto y el análisis detallado de las partes interesadas establecieron una base sólida y un sentido de dirección claro desde el principio. Esto aseguró que todos los involucrados compartieran una comprensión común de los objetivos, alcance y resultados esperados, facilitando una colaboración efectiva y un enfoque unificado hacia el éxito del proyecto.

**Fase de planificación:** la integración de la planificación de investigación-acción con el backlog de producto de scrum proporcionó una estructura flexible pero exhaustiva para el proyecto. Esta fase permitió identificar y priorizar las tareas críticas, asegurando que el desarrollo del prototipo estuviera alineado con las necesidades educativas identificadas y pudiera adaptarse a los hallazgos emergentes.

**Fases iterativas:** la implementación de sprints de scrum impulsó un desarrollo ágil y adaptable, permitiendo iteraciones rápidas basadas en la retroalimentación continua. La acción y la observación en cada sprint facilitaron ajustes en tiempo real y aseguraron que el diseño del prototipo evolucionara de manera efectiva en respuesta a las necesidades y desafíos detectados.



Fases de evaluación y reflexión: la revisión constante y la reflexión sobre los sprints y las implementaciones proporcionaron insights valiosos para el mejoramiento continuo del prototipo. La capacidad de adaptar y mejorar la transferencia tecnológica basada en la retroalimentación fue crucial para refinar el diseño y la funcionalidad del prototipo, asegurando su relevancia y eficacia en un entorno educativo.

Fase de implementación y consolidación: probar el prototipo en un entorno real validó su efectividad y permitió realizar los ajustes finales necesarios para optimizar su desempeño. La documentación exhaustiva y las evaluaciones formales proporcionaron una base sólida para la transferencia tecnológica y la aplicación práctica del prototipo en contextos educativos.

Fase de cierre: la conclusión formal del proyecto culminó con el lanzamiento de un prototipo bien afinado y efectivo, acompañado de un reporte detallado que documenta el proceso de desarrollo y los hallazgos clave. La diseminación de los resultados promueve la adopción de este enfoque innovador más allá del proyecto inicial, destacando su potencial para transformar la educación en ingeniería.

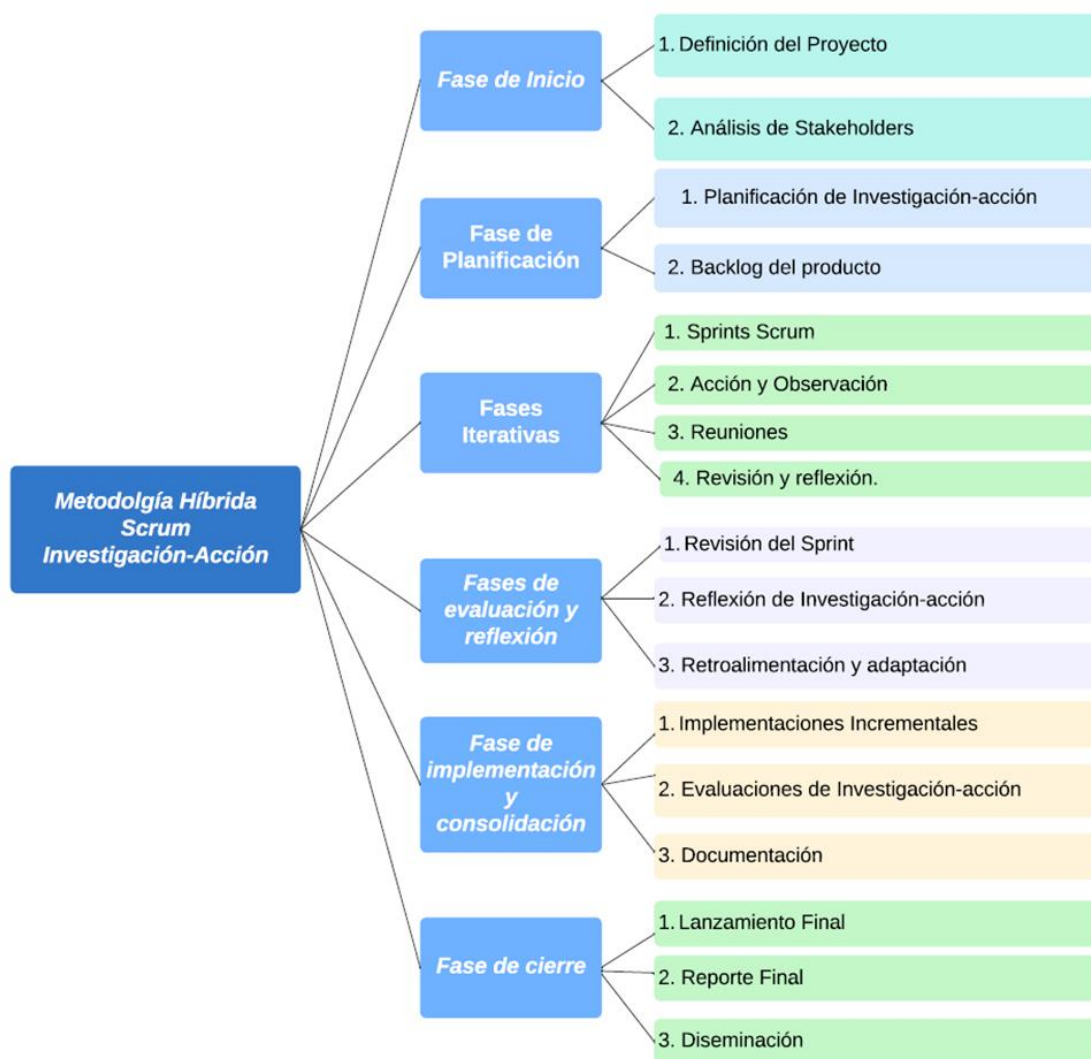


Figura. 8. Fases desglosadas de la metodología híbrida scrum investigación-acción.

### III. RESULTADOS

La implementación del diseño propuesto para el prototipo de máquina de fatiga, inspirado en la máquina original de fatiga rotatoria de viga en voladizo desarrollada en el laboratorio de Recubrimientos Avanzados e Ingeniería de Superficies de CIATEQ A.C., y guiado por una metodología híbrida de investigación-acción y scrum, ha culminado en resultados significativos. Este enfoque integrado no solo facilitó el desarrollo de un prototipo altamente funcional y específicamente adaptado a las necesidades educativas, sino que también enriqueció el aprendizaje estudiantil, ofreciendo una aplicación práctica de conceptos de ingeniería mecánica.

El diseño del prototipo se muestra en la fig. 9 y centrado en la eficiencia, seguridad y adaptabilidad, ilustra efectivamente la integración de teoría y práctica en la educación en ingeniería. La habilidad para adaptar el diseño rápidamente en respuesta a las observaciones y reflexiones del ciclo de investigación-acción, junto con la estructura organizativa proporcionada por los sprints de scrum, fue crucial para navegar desafíos técnicos y pedagógicos, optimizando así el prototipo para un uso educativo más efectivo.

Este proyecto resalta cómo la combinación de metodologías ágiles y participativas puede revolucionar la enseñanza y el aprendizaje en las ciencias e ingeniería. La integración de estas prácticas en el desarrollo del prototipo promovió un ambiente de aprendizaje interactivo, preparando a los estudiantes para abordar desafíos ingenieriles con innovación y trabajo en equipo. La interacción directa con el prototipo permitió a los estudiantes investigar la fatiga de materiales en un contexto práctico, mejorando su comprensión de conceptos complejos y fomentando habilidades esenciales como el análisis de datos y el diseño experimental.

La adaptación de la máquina original del laboratorio para el desarrollo de este prototipo subraya la importancia de una base sólida y una visión para la innovación. Este enfoque híbrido no solo aseguró el desarrollo exitoso de un valioso recurso didáctico, sino que también estableció un modelo replicable para la integración futura de tecnologías educativas, demostrando que la fusión de metodologías ágiles con un enfoque participativo en la investigación es clave para un aprendizaje significativo y actualizado.

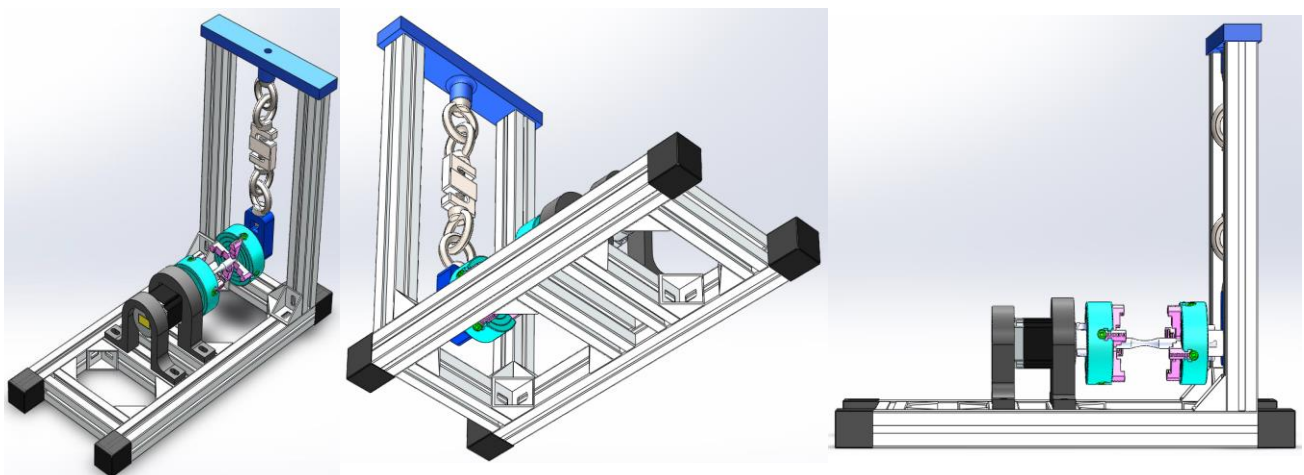


Figura. 9. Perspectivas de propuesta final en isométrica, inferior y lateral.

Además de los logros mencionados, es esencial destacar cómo la implementación específica de las fases de scrum e investigación-acción contribuyó de manera crucial al éxito del desarrollo del prototipo. Los sprints de scrum, organizados en intervalos de dos semanas, permitieron al equipo centrarse en metas concretas y realizar ajustes rápidos basados en la retroalimentación continua. Esta estructura facilitó una evolución ágil del prototipo, asegurando que cada iteración reflejara las necesidades educativas identificadas y las soluciones emergentes a los desafíos técnicos encontrados.

La retroalimentación se incorporó en cada etapa a través de revisiones periódicas con participantes clave del equipo de trabajo, lo que permitió refinar el diseño y la funcionalidad del prototipo de manera efectiva. Este proceso iterativo y colaborativo no solo optimizó el prototipo para su aplicación educativa, sino que también enriqueció el entorno de aprendizaje, promoviendo un diálogo constante entre teoría y práctica.

Al integrar esta descripción detallada, se subraya el papel activo que la metodología híbrida de scrum e investigación-acción jugó en el desarrollo del prototipo, demostrando su efectividad en facilitar un desarrollo tecnológico educativo que es tanto innovador como altamente relevante para las necesidades contemporáneas del aprendizaje en ingeniería.

#### IV. CONCLUSIONES

En primer lugar, la máquina desarrollada en el laboratorio no solo permite estudiar diversos materiales bajo condiciones de fatiga, sino que también facilita el diseño de componentes reales basados en los parámetros obtenidos durante las pruebas, el prototipo propuesto demuestra su valor en el ámbito educativo y de investigación en ingeniería. Asimismo, se identificaron oportunidades de mejora en el sistema de carga, como la simplificación de componentes y ajustes en la estabilidad estructural. Sin embargo, se reconoce la importancia de mantener la flexibilidad del movimiento horizontal en las pruebas para capturar la verdadera naturaleza de la deformación material.

Este estudio ha demostrado la efectividad de integrar las metodologías de investigación-acción y scrum en el contexto de los proyectos educativos tecnológicos, particularmente en la enseñanza y estudio de materiales en ingeniería. La implementación de un prototipo de máquina de fatiga rotatoria de viga en voladizo, diseñado con principios de acceso abierto y adaptabilidad, ha evidenciado cómo las herramientas educativas innovadoras pueden superar la brecha entre la teoría y la práctica en la educación en ingeniería.

La combinación de investigación-acción y scrum ha facilitado un ciclo constante de mejora y adaptación, permitiendo que el proyecto evolucione de acuerdo con las necesidades educativas emergentes y los desafíos específicos del sector. Este enfoque colaborativo y reflexivo ha promovido un ambiente educativo más interactivo y participativo, donde tanto estudiantes como docentes juegan roles activos en el proceso de aprendizaje, favoreciendo el desarrollo de competencias críticas como el pensamiento crítico, la creatividad y el trabajo en equipo.

La propuesta de diseño optimizado de la máquina de fatiga ha demostrado no solo la viabilidad de aplicar conocimientos de dominio público para la creación de herramientas didácticas avanzadas sino también la importancia de la evaluación sumativa y la adaptación basada en el feedback. Esto subraya el valor de la tecnología educativa no solo para mejorar la retención de la información y fomentar la autonomía del estudiante sino también para hacer el aprendizaje más dinámico y relevante para los desafíos ingenieriles actuales.

Finalmente, el proyecto resalta la necesidad crítica de una educación en ingeniería que se mantenga al día con la innovación tecnológica y metodológica. La metodología híbrida presentada ofrece un modelo replicable y escalable para la incorporación de tecnologías educativas y metodologías ágiles en la enseñanza de ciencias e ingeniería, apuntando hacia una transformación educativa que prepare a los estudiantes no solo para enfrentar los retos del presente sino también para liderar el desarrollo tecnológico y social del futuro.

## REFERENCIAS

- [1] Purzer, S., & Quintana-Cifuentes, J. P. (2019). Integrating engineering in K-12 science education: spelling out the pedagogical, epistemological, and methodological arguments. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(1). <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0010-0>
- [2] Brand, B. R. (2020). Integrating science and engineering practices: outcomes from a collaborative professional development. *International Journal of STEM Education*, 7(1). <https://doi.org/10.1186/s40594-020-00210-x>
- [3] Gbagba, S., Maccioni, L., & Concli, F. (2023). Advances in Machine Learning Techniques Used in Fatigue Life Prediction of Welded Structures. *Applied Sciences*, 14(1), 398. <https://doi.org/10.3390/app14010398>
- [4] Coffman, J., & Rencis, J. J. (2008). Integrating Fatigue Analysis into a Machine Design Course or Finite Element Course. <https://www.researchgate.net/publication/346615858>
- [5] Kruzela, I., Alder, K., Johansson, O., Persson, M., & Johansson, P. (2012). On the Use of Scrum in Project Driven Higher Education. <https://www.researchgate.net/publication/267690193>
- [6] Boucher, D. (2017). Application of an Action Research Process: Reflections on an Undergraduate Information Systems (IS) Software Development Project (SDP). <https://www.researchgate.net/publication/320238460>
- [7] Herreras, E. B. (n.d.). La docencia a través de la investigación-acción.
- [8] Javed, A., & Iqbal, U. (2014). Review-Scrum Introduction of Model driven Architecture in Agile Methodology Review-Scrum(R-Scrum) Introduction Of Model Driven Architecture (MDA) In Agile Methodology. Article in *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(11). [www.ijstr.org](http://www.ijstr.org)