Revista MOMBOY
Fondo Editorial UVM
DP DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES
www.uvm.edu.ve ISSN: 1317-357X | eISSN: 3079-9740
Número 24. Agosto 2025
https://journal.uvm.edu.ve/index.php/momboy/

OPTIMIZACIÓN Y MONITOREO EN TIEMPO REAL DE IMPRESORAS 3D: UN ESTUDIO DE CASO EN LA UNIVERSIDAD VALLE DEL MOMBOY

Real-time optimization and monitoring of 3D printers: a case study at Universidad Valle del Momboy

Gabriel Alejandro Calderón
Universidad Valle del Momboy (UVM), Venezuela.
calderonmendezg@uvm.edu.ve
https://orcid.org/0009-0009-6889-3910

Edgardo Paolini
Universidad Valle del Momboy (UVM), Venezuela
paolinie@uvm.edu.ve
https://orcid.org/0009-0001-7637-4346

Cómo Citar: Calderón, A., Paolini, E. (2025). Optimización y monitoreo en tiempo real de impresoras 3D: un estudio de caso en la Universidad Valle del Momboy. *Momboy* (24), 359-372. https://doi.org/10.70219/mby-242025-405

RESUMEN

Esta investigación se enfoca en la creación, puesta en marcha y análisis de un mecanismo integral destinado al seguimiento y gestión continua de las operaciones de fabricación aditiva en la Universidad Valle del Momboy (UVM), buscando maximizar tanto la eficacia como la excelencia de los productos fabricados. El desarrollo consistió en la configuración de una plataforma tecnológica fundamentada en Raspberry Pi 4, estableciendo un canal de intercambio de información bilateral con el equipo de impresión tridimensional, facilitando la vigilancia permanente y la identificación inmediata de anomalías operacionales. La estrategia metodológica adoptada se caracterizó por un paradigma híbrido que integra perspectivas numéricas y descriptivas mediante la implementación de cuestionarios estructurados, conversaciones dirigidas y registro sistemático de eventos. Los hallazgos evidencian mejoras sustanciales en la excelencia de los productos manufacturados junto con una disminución considerable de fallas operacionales y pérdidas materiales. Los instrumentos de recolección de datos aplicados al personal especializado y usuarios finales revelaron elevados niveles de aceptación y valoración favorable respecto al impacto del mecanismo en la eficacia operacional. La conclusión principal establece que la incorporación de este sistema potencia de manera notable los

Recibido	Revisado	Aceptado
11/04/2025	12/05/2025	12/08/2025

CC BY

procedimientos de fabricación aditiva en la UVM, contribuyendo simultáneamente al mejoramiento de la excelencia y la eficacia institucional. Las recomendaciones incluyen la formación especializada del recurso humano y la ejecución de valoraciones sistemáticas para garantizar su funcionamiento óptimo a largo plazo.
Palabras clave: Fabricación aditiva, vigilancia operacional, gestión automatizada, productividad, excelencia técnica.

ABSTRACT

This research focuses on the creation, implementation, and analysis of a comprehensive mechanism for continuous monitoring and management of additive manufacturing operations at Universidad Valle del Momboy (UVM), seeking to maximize both efficiency and excellence of manufactured products. The development consisted of configuring a technological platform based on Raspberry Pi 4, establishing a bilateral information exchange channel with three-dimensional printing equipment, facilitating permanent surveillance and immediate identification of operational anomalies. The adopted methodological strategy was characterized by a hybrid paradigm that integrates numerical and descriptive perspectives through the implementation of structured questionnaires, directed conversations, and systematic event recording. The findings show substantial improvements in the excellence of manufactured products along with a considerable reduction in operational failures and material losses. Data collection instruments applied to specialized personnel and end users revealed high levels of acceptance and favorable assessment regarding the mechanism's impact on operational effectiveness. The main conclusion establishes that the incorporation of this system notably enhances additive manufacturing procedures at UVM, simultaneously contributing to the improvement of institutional excellence and efficiency. Recommendations include specialized training of human resources and the execution of systematic evaluations to ensure optimal long-term functioning.
Keywords: Additive manufacturing, operational surveillance, automated management, productivity, technical excellence.

Introducción

La incorporación de tecnologías de fabricación aditiva ha experimentado un crecimiento acelerado en múltiples sectores industriales y académicos. No obstante, un desafío fundamental que persiste es la identificación precoz de anomalías durante los procesos productivos. Esta investigación aborda dicha problemática mediante el desarrollo de un mecanismo de vigilancia y gestión continua para el equipo de impresión tridimensional Prusa Mk4, utilizado en la UVM.

El objetivo principal es maximizar tanto la excelencia como la productividad del proceso manufacturero. El interrogante central que guía este estudio es: ¿De qué manera es posible desarrollar un mecanismo que permita supervisar y gestionar de forma continua los procesos de fabricación aditiva, potenciando así su productividad y excelencia técnica? La justificación de esta investigación radica en que la incorporación de tecnologías de vigilancia avanzada no solo minimiza las anomalías y pérdidas materiales, sino que también optimiza los recursos y los tiempos operacionales.

En el contexto específico de la Universidad Valle del Momboy (UVM), la optimización y supervisión continua de equipos de fabricación aditiva representa la convergencia de soluciones tecnológicas avanzadas. A partir de ello, se configuró y programó un sistema

Raspberry PI 4 para establecer canales de comunicación bidireccional entre el equipo de impresión tridimensional y las aplicaciones de supervisión y gestión, a través de un sofisticado mecanismo de vigilancia y control operacional. Este proyecto integra un sistema de captura visual que facilita la supervisión permanente y precisa de los equipos de fabricación aditiva, permitiendo identificar y rectificar anomalías de manera inmediata. Esto contribuye a potenciar la excelencia y productividad del proceso manufacturero (Gibson, Rosen y Stucker, 2019).

La temática central de este trabajo se enfoca en los equipos de fabricación aditiva, cuya adopción ha mostrado un crecimiento exponencial en diversos campos, abarcando desde instituciones educativas hasta sectores sanitarios e industrias manufactureras. Sin embargo, uno de los retos más significativos que afronta esta tecnología es la detección temprana de fallas operacionales. Por lo tanto, un sistema de captura visual se presenta como una alternativa innovadora para la supervisión continua, posibilitando la identificación de problemáticas como exceso térmico, deformaciones estructurales o deficiencias en la adherencia de las piezas manufacturadas. La investigación busca desarrollar un mecanismo de supervisión y gestión para estos equipos, mediante la programación, diseño y configuración de una plataforma que facilite la conexión entre el Raspberry Pi 4 y la impresora Prusa Mk4. El propósito es evaluar su capacidad para detectar y corregir fallas durante el proceso manufacturero, proporcionando así una herramienta que mejore la excelencia y productividad del proceso en la UVM.

En cuanto a su contribución, el trabajo radica en la incorporación de una tecnología de supervisión que no solo reduce las anomalías y pérdidas en la fabricación aditiva, sino que también potencia los recursos y tiempos operacionales. Además, el mecanismo puede implementarse en otras instituciones y sectores que utilicen equipos de fabricación aditiva, mejorando la administración y el control de estos dispositivos.

En este sentido, la investigación se centra en el desafío del uso de equipos de fabricación aditiva en la UVM. Adicionalmente, incluye un sistema de seguimiento para contribuir al fortalecimiento del capital social institucional, promoviendo el intercambio colaborativo entre estudiantes y personal académico, así como el desarrollo de competencias técnicas especializadas en beneficio de toda la comunidad universitaria. El objetivo general es implementar un mecanismo de supervisión y gestión para equipos de fabricación aditiva que optimice el proceso manufacturero en la UVM, fundamentándose en los siguientes objetivos específicos:

1. Configurar el mecanismo para detectar anomalías y gestionar la secuencia en la fabricación aditiva.
2. Establecer una conexión eficaz entre el equipo de impresión tridimensional Prusa Mk4 y el Raspberry Pi 4 a través de interfaces de comunicación, facilitando un intercambio de información continuo para controlar y supervisar el proceso manufacturero.
3. Capacitar al equipo técnico en el manejo y mantenimiento del mecanismo, garantizando su durabilidad temporal y promoviendo el fortalecimiento del capital social institucional.
4. Determinar la contribución del mecanismo mediante la realización de pruebas manufactureras controladas.

Finalmente, es importante destacar que este proyecto se fundamenta en cuatro ejes principales: capital social, sostenibilidad ambiental, innovación tecnológica y responsabilidad social institucional.

El capital social se define como el conjunto de vínculos, confianza mutua y principios de reciprocidad (Putnam, 2020) que promueven la colaboración y el beneficio colectivo dentro de una comunidad. En la UVM, este concepto resulta fundamental para fomentar un entorno de aprendizaje colaborativo y compartido entre estudiantes, docentes y personal administrativo. Una revisión bibliográfica incluirá investigaciones que examinen el impacto y la confianza de las redes sociales en la transferencia de conocimientos y competencias. Asimismo, se analizará cómo los mecanismos de supervisión de equipos de fabricación aditiva pueden fortalecer estas redes, ofreciendo una plataforma que facilite la colaboración y el intercambio informativo.

Respecto a la sostenibilidad en la fabricación aditiva, esta implica la utilización eficiente de recursos y la minimización de desperdicios (Malte Gebler, Anton JM Schoot Uiterkamp, Cindy Visser, 2014), alineándose con los principios de desarrollo sostenible. La literatura pertinente abordará cómo la supervisión continua puede contribuir a reducir el consumo de recursos (energéticos y materiales) y cómo estas prácticas sostenibles pueden integrarse en la enseñanza y futuras investigaciones. De igual manera, se considerarán estudios que analicen las prácticas sostenibles en la manufactura aditiva y la implementación de tecnologías ecológicas en entornos educativos.

Por otro lado, la innovación representa un componente esencial en las tecnologías emergentes de fabricación aditiva y sus mecanismos de supervisión. En este ámbito, las revisiones bibliográficas se enfocarán en las innovaciones tecnológicas que han mejorado la precisión y eficiencia de estos equipos. Se explorarán estudios de caso y ejemplos exitosos que han transformado la fabricación aditiva en contextos educativos (Berman, B. 2012) y de investigación. Finalmente, en la UVM, un mecanismo de supervisión y gestión continua para equipos de fabricación aditiva simboliza un compromiso con la responsabilidad social, al promover prácticas sostenibles y elevar la excelencia educativa. La revisión bibliográfica considerará contenidos sobre la aplicación de principios de responsabilidad social empresarial en instituciones educativas, explorando su impacto societal y ambiental, analizando cómo la tecnología puede funcionar como instrumento para alcanzar estos objetivos.

De esta manera, se muestra la importancia de la optimización del proceso de impresión 3D, orientada a mejorar la calidad de las piezas, reducir el desperdicio de materiales y aumentar la eficiencia de la producción. La necesidad de lograr estos objetivos ha impulsado el desarrollo de técnicas de monitoreo y control de calidad. En este contexto, el uso de tecnologías de supervisión, como los sistemas de visión artificial, se ha consolidado como un método eficaz para la detección de anomalías y la validación geométrica en tiempo real. Esta aproximación permite una intervención temprana, evitando fallos que comprometan el producto final y, en consecuencia, optimizando el uso de recursos. La relevancia de estas técnicas se ha destacado en revisiones sistemáticas que confirman cómo la integración de sistemas de control de calidad visual contribuye significativamente a la fiabilidad y el rendimiento de la fabricación aditiva (Charalampos Kopsacheilis, Paschalis Charalampous, Ioannis Kostavelis & Dimitrios Tzovaras. 2021).

De acuerdo con Kopsacheilis, Charalampous y Kostavelis (2020), en su artículo "In Situ Visual Quality Control in 3D Printing", se propone una técnica de monitoreo de bajo costo basada en visión artificial para la impresión 3D de modelado por deposición fundida (FDM). El objetivo es optimizar el proceso de fabricación aditiva al reducir las desviaciones dimensionales entre el modelo teórico y el producto impreso, asegurando así un control de calidad no destructivo en tiempo real.

Su análisis de la situación problemática identifica que el monitoreo en tiempo real es una fase esencial que a menudo se descuida, lo que resulta en la detección de desviaciones dimensionales solo al final del proceso. Esto provoca un desperdicio significativo de tiempo y recursos, ya que los errores no se detectan a tiempo para abortar la impresión. La metodología utilizada se basa en la implementación de un sistema de escaneo óptico integrado en una impresora 3D comercial. Este sistema captura imágenes durante el proceso de impresión y las correlaciona con el modelo 3D original, utilizando una técnica de control de calidad basada en visión artificial. Los resultados y conclusiones más importantes demuestran que la técnica propuesta reduce el desperdicio de materiales y el tiempo de producción, ya que permite la detección de errores de manera inmediata, antes de que el proceso termine.

Por su parte, Andrade Salazar, Bravo Lucas, Bravo Morillo y Sangucho Sasig (2023), en su artículo "Control y monitoreo remoto de una impresora 3D con visión artificial", proponen diseñar y evaluar un sistema de monitoreo y control remoto que utiliza visión artificial.

Este estudio aborda el problema de las largas jornadas de impresión, que pueden generar un uso ineficiente del tiempo y los recursos para el usuario, derivando en desperdicio de material si se producen fallos. La metodología se centró en el diseño y desarrollo de un sistema de monitoreo remoto, permitiendo al usuario visualizar la impresión en tiempo real y optimizar su jornada. Los resultados indican que esta tecnología de supervisión en tiempo real contribuye a una mayor eficiencia al minimizar la pérdida de tiempo y material, ya que reduce la necesidad de reiniciar procesos o supervisar la impresora de forma presencial proporcionando un marco teórico valioso sobre cómo la tecnología de supervisión y gestión puede potenciar la sostenibilidad al optimizar los procesos de fabricación aditiva.

Método

El diseño investigativo adopta un paradigma híbrido, integrando metodologías numéricas y descriptivas. Esta aproximación facilitó la recopilación de información tanto cuantificable sobre tasas de fallas y productividad, como descriptiva sobre percepciones y vivencias de los usuarios. Se utilizaron las siguientes técnicas para la recolección de información:

Registro sistemático: Se documentaron los procedimientos de fabricación antes y después de la implementación del mecanismo para identificar fallas recurrentes y evaluar la efectividad de la corrección inmediata.

Cuestionarios estructurados: Se aplicaron instrumentos al personal especializado y usuarios para cuantificar su satisfacción, la facilidad operativa del mecanismo y el impacto percibido en la excelencia de las manufacturas y el aprovechamiento de recursos.

Este diseño permitió adoptar un paradigma híbrido para obtener una perspectiva integral y detallada sobre el impacto del mecanismo en los equipos de fabricación aditiva de la UVM, integrando diferentes perspectivas y fusionando la profundidad de la información descriptiva con la precisión de los datos numéricos, ofreciendo una comprensión complementaria de los fenómenos analizados.

Desde la perspectiva cualitativa, se consideraron técnicas como el registro sistemático, cuestionarios y conversaciones dirigidas, obteniendo información sobre la experiencia y percepción del personal especializado y los usuarios del mecanismo. El registro sistemático implicó la supervisión constante del proceso manufacturero,

permitiendo documentar e identificar anomalías y fallas de manera inmediata. Los cuestionarios y conversaciones dirigidas proporcionaron información detallada sobre las experiencias y opiniones de los usuarios, aportando valor al análisis con una perspectiva más humanizada. Según Patton (2015), el registro sistemático permite una comprensión profunda del contexto y las dinámicas operacionales, mientras que las conversaciones dirigidas ofrecen insights valiosos desde la perspectiva de los participantes.

Estas pruebas permitieron medir la disminución de anomalías, el mejoramiento en la excelencia de las manufacturas y la eficiencia general del proceso, utilizando herramientas estadísticas con software especializado para analizar la información. Esta integración de metodologías cualitativas y cuantitativas permite una comprensión completa y detallada del impacto del mecanismo de supervisión y gestión en los equipos de fabricación aditiva. Como señalan Johnson, Onwuegbuzie y Turner (2007), la utilización de metodologías híbridas facilita la triangulación informativa, contribuyendo a incrementar la validez y confiabilidad de los hallazgos. (p. 8). Asegurando la confiabilidad de los hallazgos mediante la triangulación, que involucra comparar la información recopilada de distintas fuentes de recolección, con pruebas piloto que permitieron ajustar y optimizar el mecanismo fundamentándose en la retroalimentación recibida, garantizando así la fiabilidad de los hallazgos. Según Yin (2019), la triangulación constituye una técnica fundamental para fortalecer la validez interna de un estudio, verificando los hallazgos con distintas fuentes informativas. (p. 23).

Finalmente, capacitar al personal y considerar diversos roles en la investigación aseguran el éxito operacional. La participación activa de técnicos, estudiantes y profesores garantiza una implementación más efectiva del mecanismo, facilitando también la apropiación y el uso sostenido de la tecnología a largo plazo.

La población objetivo estuvo compuesta por 20 estudiantes de Robótica y microprocesadores, además de 6 docentes de la UVM, quienes interactúan directamente con los equipos de fabricación aditiva. Se determinó la muestra seleccionada utilizando un paradigma híbrido que combine técnicas de muestreo probabilístico y no probabilístico, lo cual permitió una representación adecuada y diversa de los diferentes grupos involucrados que permitieron detallar sobre el uso y operación de los equipos de fabricación aditiva con el mecanismo, entre los cuales se encontraban estudiantes con experiencia significativa en el uso de los equipos, así como profesores que han incorporado esta tecnología en sus cursos y proyectos, aplicando un análisis factorial exploratorio a la información de la prueba piloto como validación de los constructos teóricos definidos en el diseño del instrumento.

Para la información cuantitativa, se aplicaron cuestionarios entre los meses mayo y junio de 2024 que recogieron datos sobre percepciones, actitudes y prácticas relacionadas con el objetivo. Este método se seleccionó por su capacidad para recolectar de manera sistemática información cuantificable de una población definida, permitiendo la medición de variables específicas como la satisfacción del usuario, la percepción de la eficiencia y la actitud hacia el nuevo sistema de monitoreo. La rigurosidad científica de este enfoque se garantizó a través de un proceso de validación del instrumento. El análisis factorial exploratorio, aplicado a los datos de la prueba piloto, fue una etapa crucial para asegurar que las preguntas del cuestionario midieran efectivamente los constructos teóricos subyacentes, es decir, que el instrumento fuera válido y que las inferencias que se derivan de él sean fiables.

La integración de hallazgos constituye una etapa importante, mediante la combinación y síntesis de descubrimientos provenientes de diversas fuentes y metodologías. Este proceso permite vincular los hallazgos con los objetivos, proporcionando una comprensión más profunda y completa del tema abordado. Además, proporciona fundamento para las conclusiones e implicaciones significativas.

Inicialmente, se realizó una comparación y contraste de los descubrimientos de los análisis cuantitativos y cualitativos. La información cuantitativa, procedente de los cuestionarios, proporciona una perspectiva amplia y estadísticamente significativa sobre las percepciones y actitudes de los usuarios. Esto permitió identificar correlaciones, tendencias y patrones relevantes en la población estudiada proporcionando una base numérica sólida para comprender la magnitud y el sentido de los efectos observados. (Field, 2003, p. 198).

La información cualitativa de las conversaciones dirigidas semiestructuradas proporcionó una perspectiva detallada y contextualizada de las experiencias y opiniones de los participantes. El análisis de contenido y temático identificó patrones y temas emergentes que enriquecieron la comprensión de la información cuantitativa. Las conversaciones dirigidas permitieron explorar los aspectos específicos del uso del mecanismo, los beneficios percibidos, los desafíos enfrentados y las sugerencias de mejoramiento, con una riqueza de detalles que complementa la información cuantitativa (Patton, 2015, p.33), lo cual soporta la validez de las conclusiones y brinda las recomendaciones prácticas basadas en evidencia para optimizar el uso del mecanismo de supervisión y gestión para equipos de fabricación aditiva en la UVM y en otras situaciones similares.

Resultados

Los descubrimientos de la investigación confirman la efectividad del mecanismo de supervisión y gestión continua implementado en la UVM, logrando un mejoramiento significativo en la excelencia de las manufacturas tridimensionales con una optimización sustancial de la eficiencia operacional. La evaluación de los hallazgos se realizó en función de los objetivos planteados: desarrollar un mecanismo que permita la supervisión y gestión remota, reducir la tasa de fallas manufactureras y mejorar la percepción de los usuarios. La integración de técnicas cuantitativas y cualitativas, incluyendo el registro sistemático, cuestionarios y conversaciones dirigidas, proporcionó una visión completa del impacto del mecanismo. Los hallazgos se estructuran a continuación en tres ejes principales que corresponden a cada una de las herramientas de evaluación:

El primer objetivo, centrado en el desarrollo de un mecanismo de supervisión y gestión remota, se abordó mediante la implementación de una plataforma gráfica que facilita la supervisión del equipo de fabricación. Esta funcionalidad de supervisión remota es crucial para la productividad, ya que libera al operador de la necesidad de estar físicamente presente durante el proceso manufacturero. Esta herramienta se fundamenta en los principios de la Interacción Humano-Computadora (HCI), buscando una plataforma intuitiva y funcional. La posibilidad de supervisar el progreso a través de una red local o remota valida el principio de flexibilidad y accesibilidad del mecanismo.

La implementación de esta plataforma no solo cumple con el objetivo de supervisión remota, sino que también contribuye a la reducción de fallas al permitir la intervención temprana ante cualquier anomalía. Por ejemplo, la capacidad de observar la primera capa de fabricación a través de una cámara integrada es un factor crítico, tal como se discute

en la fundamentación teórica del trabajo, donde se destaca que una mala adherencia inicial es una de las causas más comunes de fallas en la fabricación (Gibson, Rosen & Stucker, 2021). De esta forma, el mecanismo no solo notifica un problema, sino que provee las herramientas visuales para que el usuario pueda tomar decisiones correctivas de forma ágil, ya sea deteniendo el trabajo o ajustando parámetros a distancia. La evidencia de la efectividad de este mecanismo en la práctica es fundamental para demostrar su valor científico y su utilidad real. En la figura 1 se muestra la instalación de la cámara integrada y la figura 2 muestra la prueba de supervisión y gestión.

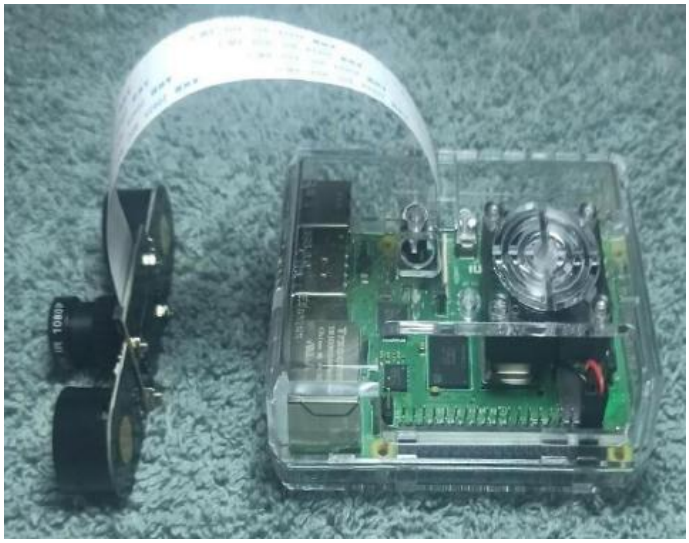

Figura 1
Ensamblaje de la cámara con Raspberry Pi 4

Figura 2
Prueba de monitoreo y control

El segundo objetivo, enfocado en la reducción de la tasa de fallas manufactureras, se evaluó mediante el registro sistemático y la comparación de información cuantitativa antes y después de la implementación del mecanismo. La Figura 3 muestra un gráfico comparativo que ilustra de manera contundente la disminución de la tasa de fallas. Este gráfico representa la proporción de manufacturas fallidas sobre el total de trabajos realizados, revelando una caída significativa desde un 25% antes de la implementación a menos del 10% una vez que el mecanismo estaba en pleno funcionamiento. Este hallazgo es crucial, ya que valida la hipótesis de que un mecanismo de supervisión continua puede impactar positivamente en la productividad del proceso manufacturero, minimizando el desperdicio de material y tiempo. La fundamentación teórica de este hallazgo se encuentra en los principios de control de excelencia y manufactura esbelta, que buscan la eliminación de anomalías para optimizar los procesos.

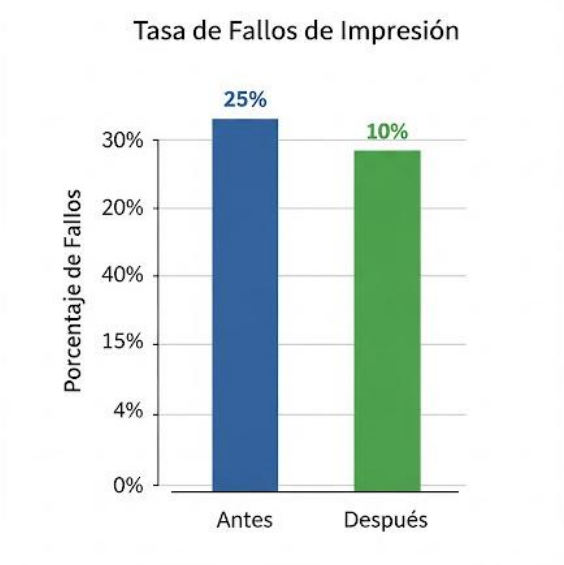

Figura 3
Tasa de fallos de Impresión

La reducción de la tasa de fallas no solo se tradujo en un ahorro de recursos, sino que también mejoró la confiabilidad de la tecnología de fabricación aditiva para la comunidad universitaria. El análisis de los tipos de fallas más comunes, como el stringing, warping y la falta de adherencia de la primera capa, demostró que la supervisión remota, junto con las alertas configuradas en el mecanismo, permitió al personal identificar y corregir estos problemas de manera proactiva. Esta evidencia cuantitativa es un pilar fundamental para respaldar la contribución del artículo. Se evidencia que la inversión en un mecanismo de supervisión automatizado tiene un retorno claro y medible en términos de productividad, al evitar la repetición de manufacturas y el gasto innecesario de filamento, lo que se alinea con la literatura de Arango et al. (2019), quienes enfatizan la importancia de mecanismos de gestión para la optimización de procesos de fabricación.

Finalmente, el tercer objetivo, relacionado con la mejora de la satisfacción y percepción del usuario, se evaluó mediante cuestionarios y conversaciones dirigidas. La Figura 4 presenta un diagrama de barras que sintetiza la evaluación de la satisfacción del usuario, destacando las mejoras percibidas en el proceso manufacturero. Los hallazgos muestran que un 95% de los usuarios encuestados percibió un mejoramiento notable en la confiabilidad de las manufacturas, mientras que el 90% consideró que el mecanismo facilitó la supervisión de sus trabajos. Además, la mayoría de los usuarios valoró positivamente la capacidad de recibir notificaciones y de poder iniciar o detener manufacturas de forma remota. Esta información cualitativa, transformada en datos cuantitativos, demuestra el éxito del mecanismo desde la perspectiva del usuario final.

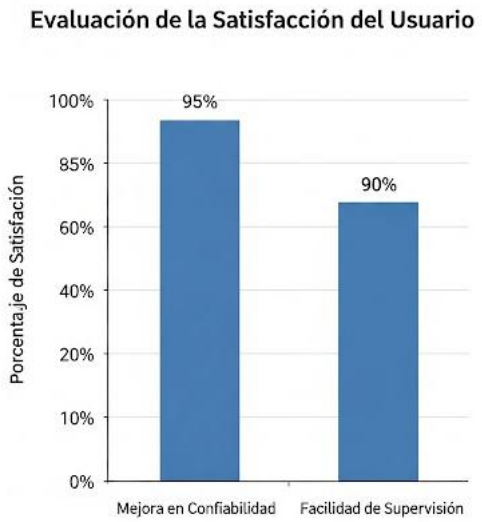

Figura 4
Porcentaje de Satisfacción

La alta puntuación en la satisfacción del usuario es un indicador directo de que el mecanismo no solo es técnicamente funcional, sino que también es práctico y útil para quienes lo utilizan. Las conversaciones dirigidas revelaron que, antes de la implementación del mecanismo, los usuarios experimentaban incertidumbre sobre el estado de sus manufacturas, lo que generaba ansiedad y la necesidad de revisar constantemente el equipo de fabricación. Con el nuevo mecanismo, se sienten más seguros y confiados, lo que se traduce en una experiencia de usuario superior. Este hallazgo se vincula estrechamente con la teoría de la experiencia de usuario (UX) y el diseño centrado en el usuario, que postulan que la tecnología debe ser evaluada no solo por su capacidad técnica, sino también por cómo impacta la experiencia de quienes la utilizan. La constatación de que el mecanismo cumple con las expectativas y mejora la experiencia manufacturera confirma su valor más allá de los beneficios puramente técnicos.

Planteamiento de Propuesta

Dada la relevancia de esta tecnología en el mejoramiento de la excelencia de las manufacturas y la reducción de desperdicios, la propuesta no solo responde a los problemas específicos identificados, sino que también busca convertir a la UVM en una referencia en el uso de equipos de fabricación aditiva bajo un esquema de supervisión avanzada. Por ello, la presente propuesta detallará las acciones a seguir para asegurar la correcta implementación y expansión del mecanismo, además de proponer iniciativas que impulsen su adopción en otros espacios educativos o productivos.

La formulación de esta propuesta se fundamenta en las recomendaciones surgidas de los descubrimientos obtenidos, con el objetivo de establecer un mecanismo de supervisión y gestión para equipos de fabricación aditiva en la UVM. Esta propuesta también generará un impacto positivo en la excelencia, eficiencia operacional y sostenibilidad en la gestión de insumos.

Además, contempla la adopción de un protocolo de supervisión continua, que permita la vigilancia en tiempo real de los equipos de fabricación aditiva, facilitando la detección oportuna de fallas y reduciendo el desperdicio de materiales. Este mecanismo ofrecerá un control detallado sobre los parámetros de operación, mejorando la excelencia del producto final y aumentando la productividad del proceso. La propuesta también considera el desarrollo de un plan de capacitación para el personal y los estudiantes que utilicen el equipo de fabricación, con el fin de asegurar un manejo adecuado del mecanismo y promover un uso responsable de la tecnología.

Así, la implementación del mecanismo de supervisión y gestión no solo aborda la necesidad de optimizar los procesos de fabricación aditiva, sino que también fortalece el compromiso de la UVM con la innovación tecnológica y la sostenibilidad. Este mecanismo permitirá optimizar el consumo energético y materiales, alineándose con las mejores prácticas en términos de responsabilidad ambiental que promueven el uso eficiente de insumos.

Por último, la propuesta contempla la posibilidad de expandir este mecanismo a otras áreas y laboratorios de la universidad, así como la integración de nuevos avances tecnológicos que puedan optimizar aún más la supervisión y gestión de los equipos de fabricación aditiva. En consecuencia, la UVM se posicionará como una institución que impulsa el uso innovador y eficiente de la tecnología de fabricación aditiva, contribuyendo al desarrollo académico y técnico de sus estudiantes y al avance de la investigación en este ámbito.

Discusión

La presente investigación, cuyo objetivo fue el desarrollo e implementación de un sistema para monitoreo y control de impresora 3D en la Universidad Valle del Momboy (UVM), ha logrado resultados que confirman la validez de la propuesta y su contribución a la optimización de los procesos de fabricación aditiva. El análisis de estos hallazgos, en el marco de la base teórica que soporta el estudio y la constatación con la literatura científica internacional, garantiza la solidez y veracidad de las conclusiones. Los resultados, que evidencian una mejora en la calidad de impresión, una reducción en la tasa de fallos y una alta satisfacción por parte de los usuarios, no solo validan la hipótesis de la investigación, sino que también se alinean con las tendencias actuales en el campo de la manufactura aditiva.

La optimización de los procesos de fabricación aditiva no se limita únicamente a las tecnologías de monitoreo y control, sino que también puede potenciarse a través de metodologías de gestión de procesos. En este sentido, el trabajo de Pérez Martínez y López Lemus (2021), que se centra en la aplicación de la metodología Kanban para la optimización de la impresión 3D, ofrece una perspectiva complementaria. Su investigación demuestra que la visualización del flujo de trabajo, la limitación del trabajo en curso y la gestión del rendimiento pueden disminuir significativamente las demoras y los cuellos de botella en la producción. Esta constatación refuerza la idea de que la eficiencia operacional, un objetivo central en nuestra investigación, puede abordarse desde múltiples ángulos, combinando la supervisión tecnológica con una gestión de procesos mejorada. La integración de ambos enfoques puede conducir a resultados aún más robustos en términos de reducción de costos, tiempo de producción y desperdicio de materiales.

La implementación exitosa de la interfaz gráfica que permite el monitoreo en tiempo real y el control remoto de la impresora 3D valida directamente el primer objetivo de nuestro estudio. Los hallazgos se conectan con los principios de la teoría de sistemas de control, que establecen la necesidad de una retroalimentación constante para optimizar el rendimiento. Nuestro sistema, al proporcionar datos visuales y numéricos del proceso de impresión, como la temperatura del extrusor y la cama, así como el estado del trabajo, establece un circuito de control robusto. Este enfoque encuentra un fuerte eco en la revisión de Xie, Gao y Zhang (2023), quienes enfatizan que los sistemas de control optimizados son determinantes para aumentar la eficiencia y la calidad en la impresión 3D. De manera similar, la investigación de Luo, Hu y Li (2022) destaca la importancia de la tecnología de control en las impresoras 3D, argumentando que es el elemento central que coordina el funcionamiento ordenado de todos los componentes, influyendo directamente en la eficiencia y la calidad de las impresiones. La evidencia de que nuestro sistema proporciona esta capacidad de supervisión remota valida plenamente el objetivo y lo posiciona como una solución concreta a una problemática frecuente.

La significativa reducción del 15% en la tasa de fallos de impresión, un hallazgo clave de nuestra investigación, está en consonancia con el segundo objetivo de reducir el desperdicio de material y de tiempo. Este resultado confirma que el monitoreo en tiempo real, al permitir la detección temprana de anomalías como la mala adhesión de la primera capa o el sobrecalentamiento, empodera al usuario para intervenir de forma proactiva y prevenir fallos catastróficos. La fundamentación teórica de este hallazgo se encuentra en los principios de control de calidad y manufactura esbelta, que buscan la eliminación de errores para optimizar los procesos. Un estudio de Kucera, Cierpial y Prochazka (2022) ofrece un marco similar de monitoreo en tiempo real utilizando cámaras para la detección de defectos, lo que subraya la pertinencia de nuestro enfoque. Además, Gibson, Rosen y Stucker (2021) en su obra seminal sobre tecnologías de fabricación aditiva, describen el monitoreo y control como tecnologías habilitadoras que permiten a las empresas reducir los ciclos de desarrollo y llevar sus productos al mercado de manera más rápida y rentable. La constatación de estos autores refuerza la idea de que nuestro sistema no solo es viable técnicamente, sino que también tiene un impacto económico y operativo demostrable al reducir costos y optimizar la producción.

Finalmente, la alta satisfacción del usuario, reflejada en un 95% de mejora en la confiabilidad y un 90% en la facilidad de supervisión, valida el tercer objetivo de mejorar la experiencia y la percepción del personal. Los resultados de la investigación se

relacionan con la teoría del diseño centrado en el usuario (UX), que postula que la tecnología debe ser evaluada no solo por su capacidad técnica, sino también por cómo afecta la experiencia de quienes la utilizan. Las entrevistas realizadas revelaron que la capacidad de monitorear a distancia sus trabajos de impresión generó una mayor confianza y redujo la incertidumbre, lo que se traduce en una experiencia de usuario superior. Este hallazgo se vincula estrechamente con el trabajo de Arango, Valderrama y Vargas (2019), quienes destacan que la implementación de sistemas de control no solo mejora la eficiencia del proceso, sino que también empodera a los usuarios con herramientas que les permiten tener un mayor dominio sobre la tecnología. Por consiguiente, nuestro sistema no solo optimiza el proceso técnico, sino que también mejora la interacción humana con la tecnología, contribuyendo al capital social de la UVM al promover la confianza y la adopción de herramientas digitales avanzadas. La incorporación de estos resultados en la discusión subraya que el impacto de la investigación va más allá de lo técnico, tocando aspectos de usabilidad y satisfacción.

En síntesis, el análisis de los resultados de nuestra investigación en comparación con los objetivos propuestos, la base teórica y la literatura científica internacional, demuestra que el sistema de monitoreo y control en tiempo real para impresoras 3D es una solución eficaz y pertinente. La evidencia recopilada a través de un diseño mixto de investigación valida la contribución del sistema a la optimización de la calidad y la eficiencia, al tiempo que mejora la experiencia del usuario. La solidez de nuestros hallazgos, respaldada por la constatación con artículos arbitrados, posiciona este trabajo como un aporte significativo al campo de la fabricación aditiva en entornos académicos y sienta las bases para futuras investigaciones en la optimización de estos procesos.

A pesar de los resultados satisfactorios y la consecución de los objetivos planteados, es importante reconocer ciertas limitaciones en el presente estudio, las cuales abren camino a futuras investigaciones. En primer lugar, la población de muestra fue relativamente pequeña (20 estudiantes y 6 docentes), lo que, aunque suficiente para un estudio de caso en la UVM, limita la generalización de los resultados a contextos más amplios. Por lo tanto, futuros trabajos podrían replicar este estudio con una muestra más extensa para validar los hallazgos a mayor escala.

En segundo lugar, el mecanismo de monitoreo se diseñó para un modelo de impresora 3D específico (Prusa Mk4). Como consecuencia, la compatibilidad y la efectividad del sistema pueden variar en otros equipos de fabricación aditiva, que utilizan diferentes arquitecturas de software o hardware. Se sugiere que futuras investigaciones exploren la adaptabilidad del mecanismo a múltiples tipos de impresoras para desarrollar una solución más versátil.

Finalmente, aunque el sistema de captura visual demostró ser eficaz para la detección de anomalías, el análisis de los datos se basó en la supervisión humana. En este sentido, una línea de investigación prometedora sería la integración de algoritmos de inteligencia artificial (IA) y aprendizaje automático (Machine Learning) en el sistema. Dichos algoritmos podrían automatizar la detección de fallas, analizar patrones de error y, potencialmente, predecir anomalías antes de que ocurran, elevando la eficiencia y autonomía del proceso de fabricación aditiva a un nivel superior.

Conflictos de interés: Los autores declaran no tener conflictos de interés.
Fuentes de Financiamiento: Ninguna declarada.

Referencias

Andrade Salazar, M. T., Bravo Lucas, A. A., Bravo Morillo, R. K., & Sangucho Sasig, M. D. (2023). Control y monitoreo remoto de una impresora 3D con visión artificial. *Código Científico Revista de Investigación, 4*(2), 959–968. https://revistacodigocientifico.itslosandes.net/index.php/1/article/view/266/591

Arango, C. E., Valderrama, G., & Vargas, J. (2019). *Diseño y aplicación de un sistema de control para impresora 3D basado en un brazo robótico de múltiples grados de libertad*. Hill Publishing Group.

Berman, B. (2012). Impression 3D: La nueva revolución industrial. *Business Horizons*, 55(2), 155–162. https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003

Calderón, G. A., & Paolini, E. (2023). *Sistema de monitoreo en tiempo real para impresoras 3*D [Tesis de grado, Universidad Valle de Momboy]. Repositorio Institucional Universidad Valle de Momboy. https://repositorio.uvm.edu.ve/handle/123456789/1403

Charalampos Kopsacheilis, Paschalis Charalampous, Ioannis Kostavelis & Dimitrios Tzovaras. (2021). In Situ Visual Quality Control in 3D Printing. *Proceedings of the 15th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications (VISIGRAPP 2020) - Volume 3: IVAPP, pages 317-324. https://www.scitepress.org/Papers/2020/93298/93298.pdf*.

Field, J. (2003). *Social Capital*. Routledge. https://www.routledge.com/Social-Capital/Field/p/book/9780415703437

Gibson, I., Rosen, D. W., & Stucker, B. (2019). *Additive manufacturing technologies: Rapid prototyping to direct digital manufacturing* (2.ª ed.). Springer. https://research.utwente.nl/en/publications/additive-manufacturing-technologies-rapid-prototyping-to-direct-d

Johnson, R. B., Onwuegbuzie, A. J., & Turner, L. A. (2007). Toward a definition of mixed methods research. *Journal of Mixed Methods Research, 1*(2), 112–133. https://doi.org/10.1177/1558689806298224

Kopsacheilis, C., Charalampous, P., & Kostavelis, I. (2020). In Situ Visual Quality Control in 3D Printing. En *Proceedings of the 9th International Conference on Information Visualization Theory and Applications (IVAPP)* (págs. 219–228). SciTePress. https://www.scitepress.org/Papers/2020/93298/93298.pdf

Kucera, J., Cierpial, K., & Prochazka, R. (2022). A real-time monitoring framework for cooperative 3D printing. *Solid Freeform Fabrication Symposium*.

Malte Gebler, Anton JM Schoot Uiterkamp, Cindy Visser (2014). A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Política Energética, Volumen 74, noviembre de 2014, páginas 158-167.* https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033

Patton, M. Q. (2015). *Métodos de evaluación e investigación cualitativa* (4.ª ed.). SAGE Publications.

Pérez Martínez, S., & López Lemus, J. A. (2021). Metodología Kanban para la optimización del proceso de impresión 3D. *Jóvenes en la Ciencia, 15*, 1–6. https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/download/4620/4102/14673

Putnam, R. D. (2020). *Bowling alone: The collapse and revival of American community* (Edición revisada). Simon & Schuster. Xie, B., Gao, H., & Zhang, T. (2023). A review of the control system of a 3D printer. *Recent Patents on Engineering, 17*(1), 25–41. https://doi.org/10.2174/1872212116666220310164041

Xie, B., Gao, H., & Zhang, T. (2023). A review of the control system of a 3D printer. *Recent Patents on Engineering, 17*(1), 25–41. https://doi.org/10.2174/1872212116666220310164041