



**Evaluación financiera de los procesos constructivos realizados por modelación manual
y modelación automatizada por C.N.C., para la construcción de toboganes acuáticos en
fibra de vidrio, caso de estudio en la empresa Doformas S.A.S.**

Álvaro Eduardo Irurita Gutiérrez

Andrés David Pérez Galvis

Dirigida por

Ángela Carolina Barrios Briceño

Pontificia Universidad Javeriana Cali

Facultad de Ingeniería y Ciencias

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Noviembre de 2025

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado con profundo cariño y gratitud a mis padres y a mis hermanos, pilares fundamentales en mi vida, por su apoyo incondicional, por sus consejos y por creer siempre en mí, incluso en los momentos más difíciles.

A mis compañeros de trabajo, quienes con su comprensión, colaboración y disposición me brindaron su tiempo y ayuda para poder cumplir con esta gran meta profesional.

Y a todos mis compañeros de la maestría, que con su compañía, conocimientos y solidaridad hicieron de este camino una experiencia inolvidable.

Este logro representa el esfuerzo compartido de todos aquellos que me acompañaron en esta etapa tan importante, y a ellos les dedico con orgullo este resultado, fruto del compromiso, la disciplina y la perseverancia.

Andrés David Pérez Galvis

Dedico este trabajo de grado, en primer lugar, a mis padres y a mis hermanos, por su amor constante, por su guía, y por ser el apoyo inquebrantable que me ha sostenido en cada paso de este camino académico y personal.

De manera muy especial, dedico este logro a mi hijo, quien ha sido mi motor y mi mayor fuente de inspiración. Su sonrisa, su fortaleza y su esperanza me impulsan cada día a seguir adelante y a esforzarme por ser un mejor ser humano y profesional.

A todos ellos les ofrezco este logro con profunda gratitud, como testimonio del amor, la fe y la perseverancia que me han acompañado durante este proceso.

Álvaro Eduardo Irurita Gutiérrez

Tabla de Contenido

| | |
|--|----|
| I. Resumen | 7 |
| II. Introducción | 11 |
| III. Justificación. | 14 |
| IV. Problema de investigación..... | 16 |
| 4.1 Planteamiento del problema..... | 17 |
| 4.2 Pregunta de investigación. | 20 |
| 4.3 Alcance del trabajo..... | 20 |
| 4.5. Resultados Esperados..... | 22 |
| V. Objetivos | 24 |
| 5.1 Objetivo General | 24 |
| 5.2 Objetivos Específicos..... | 24 |
| VI. Marco Conceptual..... | 25 |
| 6.1 Marco Teórico | 25 |
| 6.2 Estado del Arte..... | 28 |
| 6.3 Definición de CNC..... | 30 |
| 6.4 Aplicaciones de tecnologías CNC en procesos de constructivos y de producción. | 32 |
| 6.5 Proceso constructivo tradicional | 34 |
| VII Metodología..... | 40 |
| 7.1 Tipo de estudio..... | 40 |
| 7.2 Unidad de análisis y objeto de estudio..... | 40 |

| | |
|---|----|
| 7.3 Fuentes de información y recolección de datos | 41 |
| 7.4 Descripción de cómo se planteó el objetivo específico 1 | 42 |
| 7.5 Descripción de cómo se planteó el objetivo específico 2 | 43 |
| VIII Desarrollo de los Objetivos..... | 44 |
| 8.1 Desarrollo del Objetivo 1 | 44 |
| 8.2 Desarrollo Objetivo 2..... | 53 |
| 8.3 Tablas Comparativas | 55 |
| 8.4 Conclusiones del Objetivo Específico 2 | 57 |
| 8.5 Desarrollo del Objetivo 3 | 59 |
| 8.7 Conclusiones objetivo 3 | 62 |
| IX Conclusiones..... | 65 |
| Referencias Bibliográficas | 71 |
| Glosario de Términos Especiales..... | 73 |

Lista de Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Resumen de las etapas constructivas | 39 |
| Tabla 3 Variables e Indicadores..... | 44 |
| Tabla 4 Proceso artesanal – Modelación manual en madera | 45 |
| Tabla 5 Proceso automatizado – Modelación con C.N.C. | 46 |
| Tabla 6 Indicadores económicos..... | 46 |
| Tabla 7 Comparación de costos de mano de obra en la fabricación de la modelo recta T.A.I. mediante procesos manuales y automatizados (C.N.C.)..... | 48 |
| Tabla 8 Proceso manual (MDF)..... | 48 |
| Tabla 9 Proceso automatizado (Espuma C.N.C.) | 49 |
| Tabla 10 Análisis Comparativo | 49 |
| Tabla 11 Indicadores..... | 52 |
| Tabla 12 Análisis horizontal de los datos | 53 |
| Tabla 13 Tabla de Comparación de tiempos por etapa (Manual vs CNC) | 55 |
| Tabla 14 Tabla de Comparación de horas-hombre y horas-máquina | 55 |
| Tabla 15 Tabla de Indicadores de eficiencia comparativos | 56 |
| Tabla 16 Tabla de resumen general del OE2 – Eficiencia Operativa (Manual vs CNC) | 56 |
| Tabla 17 Resumen de ahorros logrados por modelo (CNC vs Manual)..... | 60 |
| Tabla 18 Flujo de Caja..... | 60 |

Lista de Imágenes

| | |
|--|----|
| Ilustración 1, Maquina CNC..... | 26 |
| Ilustración 2, Diagrama de relación entre Gerencia de proyectos y CNC..... | 28 |
| Ilustración 3, Etapa inicial, construcción del modelo..... | 35 |
| Ilustración 4, Etapa inicial, construcción del modelo..... | 36 |
| Ilustración 5, Construcción del molde..... | 37 |
| Ilustración 6, construcción de piezas..... | 38 |
| Ilustración 7 al modelo Recta T.A.I. (Tobogán Abierto Individual)..... | 41 |
| Ilustración 8, Relación costo productividad..... | 47 |
| Ilustración 9, Indicadores de medición..... | 53 |

I. Resumen

La presente investigación evaluó el impacto técnico, operativo y financiero de la transición del modelado manual al modelado automatizado mediante tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en la fabricación de componentes estructurales para toboganes acuáticos en fibra de vidrio, tomando como caso de estudio la empresa DOFORMAS S.A.S. Históricamente, el proceso de modelado se realizaba de forma manual, apoyado en técnicas artesanales que implicaban altos tiempos de producción, elevados costos operativos y una alta dependencia de la mano de obra especializada.

El estudio se desarrolló bajo un enfoque descriptivo y comparativo, a partir del análisis de datos reales de operación obtenidos antes y después de la implementación del sistema CNC. Para la evaluación económica se aplicó la metodología de costeo basado en actividades (ABC) y se utilizaron indicadores financieros ampliamente aceptados en la evaluación de proyectos de inversión, permitiendo analizar de manera integral los efectos de la automatización sobre los costos, los tiempos de producción y la eficiencia operativa.

Los resultados evidenciaron que la implementación de la tecnología CNC permitió optimizar la estructura de costos del proceso de modelado y mejorar significativamente la eficiencia productiva, principalmente a través de la reducción de los tiempos de fabricación, la disminución de la dependencia del trabajo artesanal y la estandarización del proceso.

Desde el punto de vista financiero, la evaluación realizada confirmó la viabilidad económica de la inversión, demostrando que la automatización del proceso generó beneficios suficientes para compensar el capital invertido y aportar valor económico a la empresa. En

conjunto, la investigación permitió validar que la implementación de tecnología CNC constituye una alternativa técnica y financieramente viable para fortalecer la competitividad, la sostenibilidad y la capacidad operativa de DOFORMAS S.A.S., respaldando la toma de decisiones estratégicas en procesos de modernización productiva.

Palabras clave: Innovación, Tecnificación, Nuevas tecnologías, CNC y Viabilidad financiera.

Abstract

This research evaluated the technical, operational, and financial impact of the transition from manual modeling to automated modeling using Computer Numerical Control (CNC) technology in the fabrication of structural components for fiberglass water slides, taking DOFORMAS S.A.S. as a case study. Traditionally, the modeling process relied on manual and artisanal techniques, resulting in long production times, high operating costs, and a strong dependence on specialized labor.

The study was conducted under a descriptive and comparative approach, based on the analysis of real operational data collected before and after the implementation of the CNC system. The economic evaluation was carried out using the Activity-Based Costing (ABC) methodology and widely accepted financial indicators for investment project assessment, allowing a comprehensive analysis of the effects of automation on costs, production times, and operational efficiency.

The results showed that the implementation of CNC technology contributed to optimizing the cost structure of the modeling process and significantly improving production efficiency, mainly through the reduction of manufacturing times, the decreased reliance on manual labor, and the standardization of the process.

From a financial perspective, the evaluation confirmed the economic feasibility of the investment, demonstrating that process automation generated sufficient benefits to offset the invested capital and create economic value for the company. Overall, the research validated CNC technology as a technically and financially viable alternative to strengthen the competitiveness,

sustainability, and operational capacity of DOFORMAS S.A.S., supporting strategic decision-making in productive modernization processes.

Keywords: Financial evaluation, manual modeling, modeling, automatic, fiberglass, technology.

II. Introducción

En los últimos años, la industria de la construcción y de las estructuras especializadas ha experimentado una transformación significativa impulsada por la incorporación de tecnologías de automatización, digitalización y control numérico. Estas tecnologías han permitido optimizar procesos constructivos, mejorar la calidad de los productos finales y reducir costos asociados a tiempos de ejecución y uso intensivo de mano de obra especializada. En este contexto, la adopción de herramientas como el Control Numérico Computarizado (CNC) se ha convertido en una alternativa estratégica para empresas que buscan aumentar su competitividad y sostenibilidad en mercados cada vez más exigentes.

Dentro de este panorama, la fabricación de estructuras recreativas acuáticas, como los toboganes en fibra de vidrio, constituye un sector particular que combina criterios de diseño estructural, seguridad, precisión geométrica y eficiencia productiva. Estas estructuras forman parte de proyectos de ingeniería civil asociados a equipamientos recreativos, parques acuáticos y desarrollos turísticos, donde la calidad de los componentes y el cumplimiento de los plazos de ejecución son factores críticos para el éxito del proyecto.

DOFORMAS S.A.S. es una empresa colombiana dedicada al diseño, fabricación e instalación de toboganes acuáticos y estructuras recreativas en fibra de vidrio. Históricamente, el proceso de modelado de los componentes estructurales —etapa fundamental para la posterior fabricación de moldes y piezas finales— se realizaba de manera manual, apoyado en técnicas artesanales. Si bien este método permitió el desarrollo de múltiples proyectos, también generó limitaciones importantes relacionadas con altos tiempos de producción, elevados costos de mano de obra especializada, dependencia del conocimiento empírico de los operarios y variabilidad en la calidad de los productos obtenidos.

Frente a estas limitaciones y ante la creciente presión del mercado por ofrecer soluciones más rápidas, precisas y competitivas, la empresa evaluó la incorporación de tecnología CNC como alternativa para automatizar el proceso de modelado. Sin embargo, la adopción de este tipo de tecnología implica una inversión significativa de capital, lo que hace indispensable realizar un análisis riguroso que permita determinar su viabilidad técnica, económica y operativa antes —y después— de su implementación.

En este contexto, la presente investigación se centra en la evaluación financiera de la transición del modelado manual al modelado automatizado mediante CNC, utilizando como caso de estudio los procesos productivos reales de DOFORMAS S.A.S. El estudio aborda el problema desde una perspectiva de ingeniería y gerencia de proyectos, integrando el análisis de procesos constructivos con herramientas de evaluación financiera que facilitan la toma de decisiones estratégicas.

Para ello, se compararon ambos métodos de modelado en términos de tiempos de producción, costos operativos, consumo de recursos y eficiencia, empleando la metodología de costeo basado en actividades (ABC) y un conjunto de indicadores financieros ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión. De esta manera, se busca no solo cuantificar el impacto económico de la automatización, sino también analizar sus implicaciones técnicas y organizacionales.

En este contexto, la presente investigación se orienta a evaluar el impacto técnico, operativo y financiero de la implementación de tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en el proceso de modelado de componentes estructurales para toboganes acuáticos, a partir de una inversión tecnológica ya ejecutada en la empresa DOFORMAS S.A.S. El estudio busca aportar evidencia empírica que permita analizar los efectos de la automatización sobre los costos, los

tiempos de producción y la eficiencia operativa, contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas en procesos de modernización productiva dentro del sector manufacturero.

III. Justificación.

La incorporación de nuevas tecnologías en los procesos productivos de empresas del sector de la construcción y manufactura especializada representa una decisión estratégica que involucra importantes inversiones de capital, cambios organizacionales y modificaciones en la forma de gestionar los proyectos. En este contexto, la adopción de tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en la fabricación de componentes estructurales para toboganes acuáticos constituye un hito relevante dentro de la evolución productiva de DOFORMAS S.A.S.

En el caso particular de la empresa, la decisión de adquirir el equipo CNC ya había sido tomada e implementada al momento de desarrollar esta investigación, motivada por la necesidad de mejorar la eficiencia del proceso de modelado, reducir tiempos de fabricación, disminuir costos operativos y aumentar la precisión y estandarización de los componentes. Sin embargo, como ocurre en muchas organizaciones, la implementación de una nueva tecnología no siempre va acompañada de un análisis detallado que permita evaluar de manera objetiva los resultados financieros y operativos obtenidos tras la inversión.

En este sentido, la presente investigación se justifica en la necesidad de analizar y validar, desde una perspectiva técnica y financiera, los efectos reales de una inversión tecnológica ya ejecutada, permitiendo determinar si los beneficios esperados se materializaron y en qué medida la automatización contribuye a la sostenibilidad económica y operativa de la empresa. Más allá de evaluar la conveniencia de adquirir la tecnología, el estudio se orienta a cuantificar el impacto de dicha decisión y a establecer parámetros claros que faciliten la toma de decisiones futuras.

Desde el enfoque de la gerencia de proyectos y la ingeniería civil, resulta fundamental evaluar inversiones de este tipo a partir de indicadores financieros que permitan identificar puntos de equilibrio, tiempos de recuperación de la inversión y niveles mínimos de producción

necesarios para garantizar la viabilidad del proyecto. La evaluación ex post de la inversión en tecnología CNC permite, además, generar información valiosa para la gestión del riesgo, la planificación de la capacidad productiva y la optimización de los procesos constructivos asociados a la fabricación de estructuras recreativas.

Adicionalmente, esta investigación aporta un valor significativo al documentar un caso real de implementación tecnológica en una empresa colombiana del sector, lo cual contribuye a reducir la brecha entre la teoría académica y la práctica empresarial. Los resultados obtenidos permiten no solo evaluar el desempeño financiero de la inversión realizada, sino también generar aprendizajes aplicables a otras organizaciones que enfrenten decisiones similares relacionadas con la modernización de sus procesos productivos.

La relevancia de esta investigación radica en que aporta un análisis aplicado sobre los efectos reales de la automatización en un contexto productivo específico, integrando herramientas técnicas y financieras propias de la ingeniería y la gerencia de proyectos. Asimismo, el estudio contribuye al conocimiento práctico sobre la evaluación ex post de inversiones tecnológicas, ofreciendo un referente metodológico para empresas del sector manufacturero que buscan modernizar sus procesos productivos con base en información objetiva y verificable.

Esta propuesta se encuentra plenamente alineada con los objetivos de la Maestría en Gerencia de Proyectos de Construcción, al integrar una mirada estratégica, técnica y sostenible en la gestión de procesos industriales aplicados al desarrollo de infraestructura. De este modo, el trabajo no solo contribuye al avance del conocimiento en el campo de la gerencia de proyectos, sino que también ofrece una herramienta de aplicación directa para la toma de decisiones en organizaciones que buscan evolucionar hacia modelos de producción más eficientes, rentables y sostenibles.

IV. Problema de investigación

La incorporación de tecnologías de automatización en los procesos productivos de empresas del sector de la construcción y manufactura especializada representa un cambio significativo en la forma de gestionar los recursos, los tiempos de ejecución y los costos asociados a los proyectos. En el caso de DOFORMAS S.A.S., empresa dedicada al diseño y construcción de toboganes acuáticos en fibra de vidrio, el proceso de modelado de los componentes estructurales había sido desarrollado históricamente mediante técnicas manuales, caracterizadas por altos tiempos de fabricación, dependencia de mano de obra especializada y variabilidad en la calidad de los productos obtenidos.

Ante estas limitaciones y con el objetivo de mejorar la eficiencia y competitividad de la empresa, DOFORMAS S.A.S. decidió adquirir e implementar tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) para automatizar el proceso de modelado. Esta decisión implicó una inversión significativa de capital y un cambio sustancial en la operación productiva de la organización. No obstante, una vez realizada la inversión, surgió la necesidad de evaluar de manera objetiva y sistemática los resultados financieros y operativos derivados de la implementación del sistema CNC.

A pesar de que la automatización permitió evidenciar mejoras en términos de precisión, estandarización y reducción de tiempos de producción, la empresa no contaba inicialmente con un análisis financiero detallado que permitiera cuantificar el impacto real de la inversión, establecer el ahorro efectivo por modelo, determinar los puntos de equilibrio productivos ni identificar el período de recuperación del capital invertido. Esta ausencia de información limitaba la capacidad de la empresa para evaluar la sostenibilidad económica del nuevo proceso

y para tomar decisiones estratégicas relacionadas con la planificación de la producción, la gestión de riesgos y la proyección de futuras inversiones tecnológicas.

En este contexto, el problema de investigación se centra en la necesidad de analizar y comparar los procesos de modelado manual y automatizado mediante CNC, a partir de datos reales de operación, con el fin de evaluar el impacto financiero de una inversión tecnológica ya ejecutada. La investigación busca responder a la incertidumbre existente respecto a la viabilidad económica del sistema CNC, identificando los beneficios y costos asociados, los niveles mínimos de producción requeridos para garantizar su rentabilidad y el tiempo necesario para recuperar la inversión realizada.

Por lo tanto, el problema no radica en determinar si la adquisición del equipo CNC era conveniente, sino en establecer, con base en indicadores financieros y en el análisis de los procesos productivos, en qué medida la inversión realizada ha generado valor para la empresa y bajo qué condiciones operativas se garantiza su sostenibilidad en el tiempo. Este análisis resulta fundamental para apoyar la toma de decisiones futuras en DOFORMAS S.A.S. y para aportar conocimiento aplicable a otras empresas del sector que enfrenten procesos similares de modernización tecnológica.

4.1 Planteamiento del problema

El sector de la construcción y de la manufactura especializada se ha caracterizado históricamente por la utilización de métodos productivos tradicionales, muchos de ellos basados en procesos manuales y artesanales que, si bien han permitido el desarrollo de proyectos durante décadas, presentan limitaciones significativas frente a las exigencias actuales del mercado. La

necesidad de reducir tiempos de ejecución, optimizar costos, mejorar la calidad de los productos y aumentar la competitividad ha impulsado a las empresas a incorporar tecnologías de automatización como parte de sus estrategias de modernización productiva.

En el contexto colombiano, las pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) del sector industrial enfrentan desafíos adicionales relacionados con restricciones de capital, limitaciones tecnológicas y dependencia de mano de obra altamente especializada. Estas condiciones hacen que la adopción de nuevas tecnologías represente una decisión estratégica de alto impacto, cuyo éxito depende no solo de la adquisición del equipo, sino también de la capacidad de la empresa para gestionar eficientemente la inversión y evaluar de manera objetiva los resultados obtenidos tras su implementación.

DOFORMAS S.A.S., empresa dedicada al diseño, construcción e instalación de toboganes acuáticos en fibra de vidrio, desarrolló durante varios años su proceso de modelado de componentes estructurales mediante técnicas manuales, empleando madera M.D.F., herramientas convencionales y mano de obra artesanal especializada. Este enfoque permitió sostener la operación productiva; sin embargo, también generó limitaciones relacionadas con elevados costos de producción, prolongados tiempos de fabricación, variabilidad en la precisión y acabado de los modelos, así como una alta dependencia del conocimiento empírico de los operarios, lo que representaba un riesgo ante la rotación de personal y el crecimiento de la demanda.

Ante este escenario, la empresa decidió adquirir e implementar una máquina de Control Numérico Computarizado (CNC) para el modelado de piezas en espuma de alta densidad, con el propósito de automatizar parcialmente el proceso productivo, mejorar la precisión geométrica de los modelos y optimizar el uso de los recursos. La incorporación de esta tecnología implicó una

inversión significativa de capital, además de requerir ajustes en la estructura operativa, capacitación técnica del personal y la adopción de nuevos procedimientos de trabajo.

Una vez realizada la inversión y puesta en operación la tecnología CNC, surgió la necesidad de analizar de manera rigurosa el impacto real de esta decisión sobre el desempeño financiero y operativo de la empresa. A pesar de que se evidenciaron mejoras en términos de estandarización, reducción de tiempos de producción y calidad del producto, DOFORMAS S.A.S. no contaba inicialmente con un análisis estructurado que permitiera cuantificar con precisión el ahorro generado por modelo, los cambios en los costos operativos, el punto de equilibrio productivo ni el período de recuperación de la inversión realizada.

La ausencia de este análisis limitaba la capacidad de la empresa para evaluar la sostenibilidad económica del nuevo proceso automatizado, así como para tomar decisiones estratégicas relacionadas con la planificación de la producción, la gestión de riesgos y la proyección de futuras inversiones tecnológicas. En particular, resultaba necesario determinar bajo qué niveles de producción el sistema CNC se mantiene rentable y en qué horizonte temporal la inversión realizada genera valor económico para la organización.

En este contexto, el planteamiento del problema se orientó a la necesidad de comparar los procesos de modelado manual y modelado automatizado mediante CNC, a partir de datos reales de operación, con el fin de evaluar el impacto financiero de una inversión tecnológica ya ejecutada. El análisis buscó identificar las diferencias en costos, tiempos y eficiencia productiva entre ambos métodos, así como establecer indicadores financieros que permitieran determinar la rentabilidad, el punto de equilibrio y el período de recuperación del capital invertido.

De esta manera, el problema abordado en la presente investigación no se centró en definir si la adquisición de la tecnología CNC era conveniente, sino en evaluar, con base en evidencia

cuantitativa y cualitativa, en qué medida la inversión realizada contribuyó a mejorar el desempeño financiero y operativo de DOFORMAS S.A.S., y bajo qué condiciones dicha inversión resulta sostenible en el tiempo. Este enfoque permite generar información relevante para la toma de decisiones empresariales y aporta conocimiento aplicable a otras organizaciones del sector que enfrenten procesos similares de automatización y modernización tecnológica.

4.2 Pregunta de investigación.

De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se le pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál fue el impacto financiero de la implementación de tecnología CNC frente al modelado manual en los procesos de fabricación de componentes estructurales para toboganes acuáticos en la empresa DOFORMAS S.A.S.?

4.3 Alcance del trabajo.

La presente investigación se desarrolló como un estudio aplicado de carácter descriptivo y comparativo, enfocado en el análisis financiero y operativo de los procesos de modelado manual y modelado automatizado mediante tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en la fabricación de componentes estructurales para toboganes acuáticos en fibra de vidrio, tomando como caso de estudio la empresa DOFORMAS S.A.S.

El alcance del trabajo se limitó a la evaluación de los procesos productivos asociados a la etapa de modelado, considerada una fase crítica dentro de la cadena de fabricación de los toboganes, al constituir la base para la elaboración de moldes y piezas finales. El análisis se

realizó a partir de información real de operación obtenida antes y después de la implementación del sistema CNC, incluyendo tiempos de producción, consumos de materiales, requerimientos de mano de obra y costos operativos asociados a cada método de modelado.

Desde el punto de vista financiero, el estudio se centró en la evaluación ex post de una inversión tecnológica ya ejecutada por la empresa, mediante la aplicación de la metodología de costeo basado en actividades (ABC) y el uso de indicadores financieros como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Beneficio/Costo (B/C) y el período de recuperación de la inversión (payback). El análisis consideró un horizonte de evaluación de cinco años y una tasa de descuento correspondiente al costo promedio del capital de DOFORMAS S.A.S.

El alcance de la investigación no incluyó el análisis estructural detallado de los toboganes, la evaluación de su comportamiento frente a cargas o normas de seguridad, ni estudios de mercado relacionados con la demanda de los productos. Asimismo, no se abordaron de manera específica los impactos ambientales derivados del proceso productivo ni se realizó un análisis comparativo con otras tecnologías de automatización distintas al sistema CNC implementado por la empresa.

Los resultados obtenidos son aplicables específicamente al contexto operativo de DOFORMAS S.A.S. y a procesos productivos con características similares, por lo que su extrapolación a otras empresas o sectores debe realizarse considerando las particularidades de cada organización, tales como su escala de producción, capacidad instalada y condiciones de mercado.

En este sentido, el alcance del trabajo se orientó a generar información técnica y financiera confiable que permitiera evaluar el impacto operativo y la viabilidad económica de la automatización implementada, así como apoyar la toma de decisiones estratégicas relacionadas con la gestión de proyectos de inversión tecnológica dentro del ámbito de la ingeniería civil y la manufactura especializada.

4.5. Resultados.

A partir del desarrollo de la presente investigación y del análisis comparativo entre el proceso de modelado manual y el proceso de modelado automatizado mediante tecnología CNC, se esperaba que el estudio permitiera identificar y evaluar de manera objetiva los efectos financieros y operativos derivados de una inversión tecnológica ya ejecutada por la empresa DOFORMAS S.A.S.

En primer lugar, se esperaba que el análisis permitiera establecer si se presentó un incremento en la eficiencia operativa del proceso de modelado, a partir de la comparación de los tiempos de producción, la secuencia de actividades y el desempeño general de ambos métodos productivos. Este resultado permitiría identificar diferencias en la productividad y en la capacidad operativa alcanzada tras la implementación del sistema CNC.

En segundo lugar, el estudio buscó determinar si se evidenció una mejora en la calidad y precisión de los modelos fabricados, considerando aspectos como la uniformidad geométrica, el acabado superficial y la repetitividad del proceso. Este análisis permitiría establecer si la automatización contribuyó a reducir la variabilidad inherente a los procesos manuales y a mejorar la estandarización de los productos.

Asimismo, se esperaba que la investigación permitiera identificar cambios en la utilización de los recursos, tanto materiales como humanos, asociados a cada método de modelado. En particular, el análisis se orientó a establecer si la implementación del sistema CNC generó una optimización en el uso de materiales y una redefinición del rol del recurso humano, pasando de labores manuales a actividades de mayor contenido técnico y de control del proceso.

Desde el punto de vista financiero, se esperaba que el estudio permitiera evaluar el retorno de la inversión realizada, mediante la aplicación de indicadores como el Valor Presente Neto (VPN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), la relación Beneficio/Costo y el período de recuperación de la inversión. Estos resultados permitirían determinar si la inversión en tecnología CNC resultó económicamente viable bajo las condiciones reales de operación de la empresa y cuáles son los niveles de producción necesarios para garantizar su sostenibilidad.

Finalmente, se esperaba que los resultados obtenidos constituyeran un insumo para la toma de decisiones estratégicas, tanto en DOFORMAS S.A.S. como en otras empresas del sector que enfrenten procesos similares de modernización tecnológica. La información generada permitiría apoyar decisiones relacionadas con la planificación de la producción, la gestión del riesgo, la evaluación de nuevas inversiones y la mejora continua de los procesos productivos.

V. Objetivos

5.1 Objetivo General

Analizar el impacto financiero de la transición del modelado manual al modelado automatizado mediante tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en la fabricación de componentes estructurales para toboganes acuáticos en fibra de vidrio en la empresa DOFORMAS S.A.S., a partir de la evaluación de una inversión tecnológica ya ejecutada, considerando los costos, los tiempos de producción y los indicadores financieros asociados.

5.2 Objetivos Específicos

- Comparar los costos de producción asociados al método tradicional de modelado y al método automatizado mediante tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en la fabricación de modelos para moldes en fibra de vidrio, a partir de datos reales de operación obtenidos en la empresa DOFORMAS S.A.S.
- Evaluar el impacto en la eficiencia operativa derivado de la implementación de la tecnología CNC, mediante el análisis comparativo de los tiempos de producción registrados antes y después de la incorporación del sistema automatizado en DOFORMAS S.A.S.
- Cuantificar el retorno de la inversión (ROI) asociado a la implementación de la tecnología CNC, considerando los ahorros generados en materiales, tiempos de producción y costos operativos bajo las condiciones reales de operación de la empresa.

VI. Marco Conceptual

6.1 Marco Teórico

La evolución tecnológica enfocada en la industrialización, desde el campo de la construcción, se ha convertido en un componente que despierta interés desde el contexto de la nueva revolución industrial. Han surgido conceptos como automatización, optimización de procesos y tecnificación de procesos artesanales, donde se redefinen los modelos tradicionales de producción, impulsando la adopción de herramientas que combinan precisión, eficiencia y reducción de costos (Peña Galvis & Palacio Osorio, 2018).

La automatización industrial consiste en la aplicación de tecnologías de control para operar maquinaria, procesos o líneas de producción con mínima intervención humana. Su propósito principal es aumentar la eficiencia, mejorar la calidad y reducir los costos asociados a la variabilidad del trabajo manual. Según Córdoba Nieto (2006), la automatización representa una evolución natural de la manufactura, al integrar sistemas mecánicos, eléctricos y computacionales que permiten optimizar la productividad.

En este sentido, herramientas CNC (Control Numérico Computarizado) son una herramienta que puede aportar al desarrollo de la construcción, en este caso la implementación de estos equipos en la ejecución de las actividades de construcción de toboganes, la fabricación de piezas y moldes con geometrías complejas y alta precisión mediante la ejecución automática de códigos generados desde programas de diseño asistido por computador (CAD/CAM) (Carrasco García, 2006).



Ilustración 1, Maquina CNC

La tecnología CNC ha revolucionado los procesos de manufactura y diseño industrial, convirtiéndose en un componente esencial para las empresas que buscan incrementar su competitividad. De acuerdo con Solís-Santamaría et al. (2023), su aplicación se traduce en mejoras sustanciales en precisión, reducción de desperdicios, repetibilidad del producto y disminución de la dependencia de mano de obra altamente especializada.

Ortega Fernández y Montoya (2019) señalan que la evaluación de la viabilidad financiera de los sistemas CNC debe considerar no solo la inversión inicial, sino también los beneficios a mediano y largo plazo, como el ahorro en tiempos de fabricación, la estabilidad de la calidad y la mayor capacidad de respuesta frente a la demanda.

La fibra de vidrio es un material compuesto ampliamente utilizado en la fabricación de componentes estructurales por su resistencia, ligereza y capacidad de adaptación a formas curvas. En procesos como la construcción de toboganes o estructuras recreativas, se utilizan

técnicas de laminado manual o moldeo por contacto, las cuales, aunque efectivas, presentan limitaciones en escalabilidad y uniformidad. Investigaciones recientes (Valdiviezo Baiza, 2023; Chavil Pisfil & Mejía Lazo, 2024) destacan que la incorporación de herramientas de manufactura avanzada, junto con metodologías de mejora continua como Lean Manufacturing o SLP, permite optimizar estos procesos, reduciendo tiempos y defectos.

La eficiencia operativa se entiende como la capacidad de una organización para maximizar la producción utilizando la menor cantidad posible de recursos. Mejía-López et al. (2019) demostraron que la adopción de sistemas CNC en pequeñas y medianas empresas permite un uso más racional de materiales y una notable reducción de los tiempos de fabricación. En términos de productividad, la automatización no solo impacta en la fase operativa, sino también en la gestión y planificación de los proyectos, al permitir una integración más precisa entre diseño, ejecución y control de calidad.

Desde la perspectiva económica, la evaluación financiera de una innovación tecnológica busca determinar su rentabilidad y sostenibilidad. El Retorno de la Inversión (ROI) se convierte en un indicador clave, al relacionar los beneficios obtenidos con la inversión realizada. Cortés Mendivil et al. (2023) resaltan que los análisis de costo-beneficio y los modelos de payback son herramientas efectivas para valorar la conveniencia de adoptar nuevas tecnologías dentro del entorno industrial. En el caso de Doformas S.A.S., el cálculo del ROI permitirá cuantificar el impacto económico de la automatización del modelado y validar si la inversión en tecnología CNC se traduce en una mejora tangible de la rentabilidad.

Desde la gerencia de proyectos de construcción, la adopción de tecnologías automatizadas debe evaluarse considerando la triple restricción: alcance, tiempo y costo. Según las buenas prácticas del PMBOK® Guide (PMI, 2021), toda decisión de inversión tecnológica debe

alinearse con los objetivos estratégicos de la organización y con una gestión integral de riesgos, calidad y recursos. El uso de metodologías de planificación, control y análisis financiero dentro de la gerencia de proyectos permite garantizar que las decisiones sobre innovación tecnológica no solo sean viables, sino sostenibles en el tiempo.

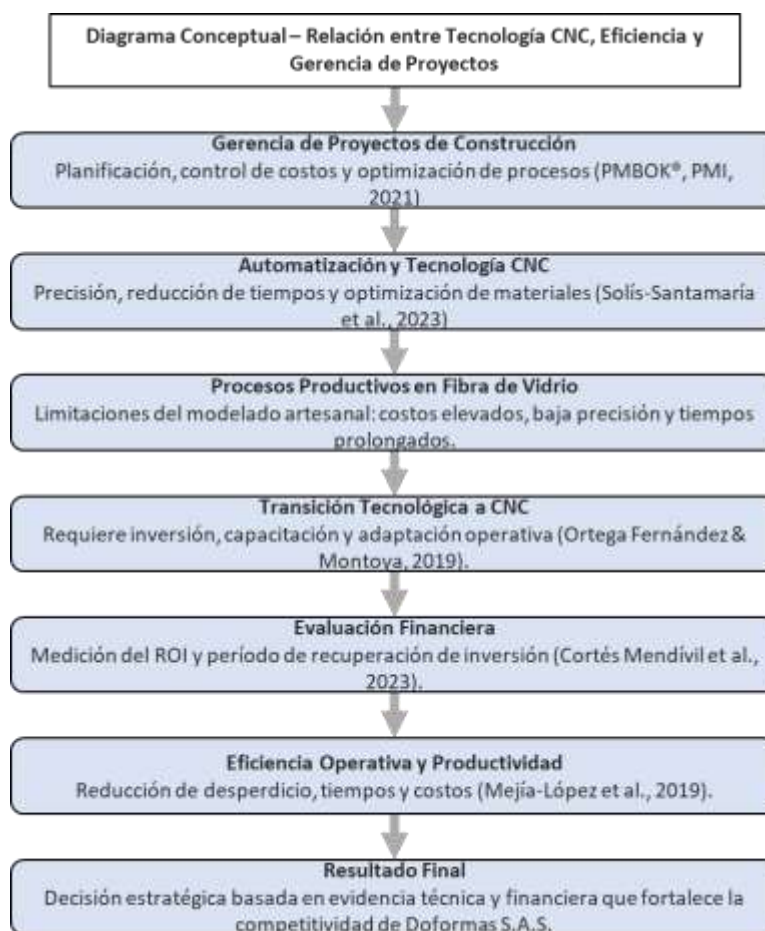


Ilustración 2, Diagrama de relación entre Gerencia de proyectos y CNC

6.2 Estado del Arte

El sector de la construcción ha tenido una tendencia a mirar nuevos procesos con ayudas de automatización, algunos ejemplos pueden ser drones que realizan topografías o levantamientos, realidades aumentadas o hasta la impresión de muros en concreto. Otros casos

incorporan tecnologías automatizadas como el Control Numérico Computarizado (CNC), tecnología que ha demostrado ser una herramienta eficiente y precisas que disminuye los procesos de producción (Solís-Santamaría et al., 2023). Esta tecnología, ampliamente utilizada en la industria manufacturera, ha ido ganando credibilidad en sectores como la construcción, el diseño industrial y la fabricación de elementos prefabricados, especialmente en proyectos que requieren formas geométricas personalizadas y complejas.

Diversas investigaciones (Kalpakjian & Schmid, 2014) han demostrado que la automatización mediante CNC no solo aporta beneficios técnicos, sino también económicos, al reducir la dependencia de mano de obra altamente calificada, minimizar el desperdicio y mejorar la repetibilidad del producto final. En industrias donde el detalle y la precisión son fundamentales, esta tecnología se ha posicionado como una alternativa viable frente a los métodos manuales tradicionales.

No obstante, en el contexto colombiano, muchas MIPYMES aún desarrollan sus procesos constructivos de forma artesanal, y sin mayor tecnología, limitando la capacidad de respuesta ante la demanda, incrementa los costos operativos y reduce su competitividad. Según la CEPAL (2021), este atraso tecnológico está ligado a factores como la falta de planificación estratégica, el desconocimiento de los beneficios financieros de la inversión tecnológica, y la escasa documentación de casos o en su defecto una baja investigación en este campo, lo que impide que se tenga una referencia clara para la toma de decisiones empresariales.

En estudios como el de Pérez (2019), se han realizado comparaciones entre métodos tradicionales y automatizados en la industria del mueble, evidenciando mejoras considerables en términos de eficiencia operativa, costos de producción y control de calidad. Sin embargo, existe un vacío de conocimiento en lo que respecta a sectores más especializados como la fabricación

de toboganes acuáticos en fibra de vidrio, donde la modelación tridimensional sigue siendo ejecutada manualmente con madera y herramientas básicas.

Desde el punto de vista de la gerencia de proyectos, la implementación de nuevas tecnologías debe evaluarse con variables diferentes a las usualmente previstas como el rendimiento, desperdicio, precisión y los resultados en los procesos de producción (Cortés Mendivil et al., 2023). Pues para este caso se propone un enfoque que se articule con otras prácticas de la gestión de proyectos, buscando generar información técnica y financiera que permita a las empresas como Doformas tomar decisiones estratégicas fundamentadas en la planificación y gestión estratégica.

6.3 Definición de CNC

El Control Numérico Computarizado (CNC, por sus siglas en inglés Computer Numerical Control) corresponde a un sistema de fabricación automatizado en el cual el movimiento y la operación de una máquina herramienta son controlados mediante instrucciones programadas a partir de un modelo digital. Estas instrucciones, generalmente codificadas en lenguaje numérico, permiten ejecutar procesos de mecanizado con altos niveles de precisión, repetibilidad y control, reduciendo significativamente la dependencia directa de la intervención manual durante la ejecución del proceso productivo.

Desde una perspectiva operativa, el funcionamiento del sistema CNC se fundamenta en la integración de tres componentes principales: el diseño digital de la pieza o elemento a fabricar, el software de programación que traduce dicho diseño en instrucciones operativas, y la máquina CNC encargada de materializar físicamente el modelo. Este flujo digital-productivo permite que las

decisiones tomadas en la etapa de diseño tengan un impacto directo y controlado sobre el proceso de fabricación, optimizando tiempos, recursos y calidad del producto final.

En términos de aplicación, la tecnología CNC es ampliamente utilizada en sectores industriales como la manufactura, la metalmecánica, la industria automotriz, la aeronáutica y, de manera creciente, en procesos asociados a la construcción especializada y a la fabricación de moldes y piezas no estandarizadas. Su adopción responde principalmente a la necesidad de mejorar la eficiencia productiva, garantizar la precisión dimensional y asegurar la repetibilidad de los resultados, especialmente en contextos donde se requiere producir elementos con geometrías complejas o tolerancias estrictas.

Desde el enfoque de gestión de proyectos y análisis económico, la implementación de maquinaria CNC implica una inversión inicial significativa asociada a la adquisición del equipo, el software, la capacitación del personal y la adecuación de la infraestructura. No obstante, dicha inversión suele verse compensada por la reducción en los costos de mano de obra directa, la disminución de tiempos de producción, el menor desperdicio de material y una mayor capacidad productiva en el mediano y largo plazo. En este sentido, el CNC no debe entenderse únicamente como una mejora tecnológica, sino como una herramienta estratégica orientada a optimizar el desempeño operativo y la competitividad de los procesos productivos.

Finalmente, es importante señalar que la adopción de sistemas CNC no elimina completamente la necesidad de recurso humano especializado, sino que transforma su rol, desplazándolo desde tareas manuales intensivas hacia funciones de programación, supervisión, control de calidad y toma de decisiones técnicas. Esta transición impacta directamente en la estructura de costos, en la planificación de la producción y en los indicadores de rendimiento,

aspectos que resultan fundamentales para el análisis comparativo desarrollado en el presente trabajo.

6.4 Aplicaciones de tecnologías CNC en procesos de constructivos y de producción.

La tecnología de Control Numérico Computarizado ha ampliado de manera significativa su campo de aplicación más allá de la manufactura industrial tradicional, consolidándose como una herramienta clave en procesos productivos y constructivos que demandan precisión, estandarización y optimización de recursos. Su incorporación responde a la necesidad de mejorar el desempeño operativo, reducir la variabilidad de los resultados y aumentar la capacidad de respuesta frente a las exigencias del mercado.

En los procesos productivos, el CNC se emplea principalmente para la fabricación de piezas, componentes y moldes con geometrías complejas, donde la precisión dimensional y la repetibilidad son factores críticos. Mediante el uso de modelos digitales y programas de mecanizado, es posible producir elementos idénticos de forma consistente, minimizando errores humanos y reduciendo los tiempos asociados a ajustes y correcciones. Esta característica resulta especialmente relevante en entornos donde la calidad del producto final está directamente ligada a la exactitud del modelo base, como ocurre en la fabricación de moldes para procesos posteriores.

En el ámbito constructivo, el uso del CNC ha ganado relevancia en la prefabricación de elementos, la producción de componentes especiales y el desarrollo de modelos y moldes utilizados en procesos de fabricación en serie. A diferencia de los métodos artesanales o manuales, el CNC permite trasladar el diseño directamente al proceso de ejecución, garantizando coherencia entre lo proyectado y lo construido. Esto se traduce en una reducción significativa de reprocesos,

desperdicio de material y tiempos improductivos, aspectos que impactan positivamente en los costos totales del proyecto.

Desde el punto de vista de la gestión de proyectos, la aplicación del CNC facilita una mejor planificación de los tiempos y recursos, al ofrecer procesos más predecibles y controlables. La reducción en la duración de los ciclos productivos permite incrementar la capacidad instalada sin necesidad de ampliar la infraestructura física, mientras que la estandarización de los procesos contribuye a una mayor confiabilidad en la programación y el cumplimiento de plazos. Estas ventajas operativas se reflejan directamente en indicadores como productividad, eficiencia económica y rentabilidad.

Asimismo, el CNC permite una mayor integración entre las etapas de diseño, producción y control de calidad, lo cual favorece la toma de decisiones basada en información objetiva y verificable. Esta integración resulta particularmente valiosa en procesos donde la personalización del producto y la adaptación a requerimientos específicos son frecuentes, ya que posibilita realizar ajustes en el diseño sin afectar de manera significativa los tiempos ni los costos de producción.

En síntesis, la aplicación del CNC en procesos productivos y constructivos no solo representa una evolución tecnológica, sino una transformación en la forma de gestionar la producción. Su implementación permite alinear los objetivos técnicos con los económicos, optimizar el uso de los recursos disponibles y fortalecer la competitividad de las organizaciones, especialmente en escenarios donde la eficiencia, la calidad y la capacidad de respuesta constituyen factores determinantes para la sostenibilidad del negocio.

6.5 Proceso constructivo tradicional

Doformas SAS es una empresa colombiana especializada en el diseño y fabricación de toboganes y estructuras para parques acuáticos, utilizando principalmente fibra de vidrio como materia prima. A lo largo de su trayectoria, la compañía ha desarrollado experiencia en la producción de atracciones acuáticas que cumplen con altos estándares de calidad, funcionalidad y seguridad, posicionándose como un referente nacional en su sector.

Tradicionalmente, el proceso productivo de Doformas se ha caracterizado por un enfoque artesanal, especialmente en la fase inicial de modelado de piezas, donde se construyen prototipos en madera que luego sirven como base para la fabricación de moldes. Este método ha permitido altos niveles de personalización, pero también conlleva ciertas limitaciones en cuanto a tiempos de fabricación, precisión y escalabilidad. En respuesta a estos desafíos, la empresa ha iniciado un proceso de transición hacia la incorporación de tecnologías como el Control Numérico Computarizado (CNC), buscando aumentar la eficiencia, uniformidad y capacidad de producción.

La etapa inicial del proceso de modelación manual incorpora la fabricación de un prototipo en madera, representa el punto de partida del proceso de fabricación y consiste en crear un modelo tridimensional que replica con exactitud la geometría del tobogán que se desea producir. Este modelo sirve como referencia física para la elaboración del molde definitivo. Dentro de la primera etapa existen pasos para continuar con el proceso constructivo que son:

Diseño técnico del tobogán: El equipo de ingeniería desarrolla los planos detallados que definen curvas, pendientes, uniones y demás características geométricas.

Construcción de la estructura base: Se elabora un esqueleto estructural en madera que soporta la forma del modelo.

Formación de volúmenes: Utilizando listones, plantillas de corte y maderas como MDF o tríplex, se da forma a las superficies curvas que caracterizan el tobogán.

Pulido y acabado superficial: La pieza se lija, se aplica masilla para eliminar imperfecciones, y finalmente se pinta con esmalte brillante. Este acabado es crítico, ya que cualquier defecto del modelo se trasladará al molde y, en consecuencia, a la pieza final.

Durante la segunda etapa para la construcción, una vez completado el modelo de madera, se procede a la fabricación del molde, que constituye una copia negativa de dicho modelo. Este molde es reutilizable y permite producir múltiples réplicas con características idénticas. Dentro de la segunda etapa existen los siguientes pasos:

Preparación del modelo: Se aplica cera desmoldante y un agente separador para evitar que el molde se adhiera al modelo.



Ilustración 3, Etapa inicial, construcción del modelo



Ilustración 4, Etapa inicial, construcción del modelo

Aplicación del gel coat: Se recubre la superficie del modelo con una capa de resina pigmentada (gel coat), que define el acabado superficial del molde.

Laminado con fibra de vidrio: Sobre el gel coat se aplican capas de resina poliéster combinadas con mantas de fibra de vidrio, utilizando el método manual conocido como “moldeo por contacto”. Se busca una distribución uniforme, sin burbujas, y con el espesor requerido.

Curado y desmoldeo: Se deja polimerizar el material entre 8 y 24 horas, según las condiciones ambientales. Luego se separa cuidadosamente el molde del modelo original.

Refuerzos estructurales: Se incorporan costillas y soportes metálicos o en madera para garantizar la rigidez y durabilidad del molde.

Acabado final del molde: Se lija y pule la superficie, y se encera nuevamente para dejar el molde listo para la producción.



Ilustración 5, Construcción del molde

En una tercera etapa del proceso, se realizan las piezas finales con el molde terminado, se inicia la fase de fabricación de las piezas de tobogán, para obtener los elementos que pueden ser curvas, tramos rectos, espirales u otras formas según el diseño original, aquí los pasos claves son:

Aplicación del gel coat en el molde: Se aplica una capa pigmentada que definirá la superficie visible del tobogán. El color puede variar según el diseño del cliente.

Laminado interno: Se añaden capas de resina y fibra de vidrio dentro del molde, asegurando uniformidad en el espesor y resistencia estructural.

Curado del material: Se deja endurecer el laminado hasta alcanzar la solidez requerida.

Desmoldeo de la pieza: Se retira con cuidado la pieza ya formada. Esta corresponde a un módulo del tobogán.

Procesos de acabado: Incluye el corte de bordes, perforaciones para sistemas de fijación y, en caso necesario, retoques estéticos o de superficie.

Ensamble: Las piezas se ensamblan mediante bridas, tornillos de acero inoxidable y sellantes especiales, ya sea en taller o directamente en sitio, según las características del proyecto.



Ilustración 6, construcción de piezas

Tabla 1*Resumen de las etapas constructivas*

| Resumen Etapas de Construcción | | |
|--------------------------------|---------------------------|--|
| Etapa | Material Principal | Objetivo |
| Modelo de madera | Madera (MDF, Tríplex) | Crear un positivo perfecto del tobogán |
| Modela en fibra de vidrio | Fibra + resina + gel coat | Crear una matriz reutilizable |
| Piezas finales del tobogán | Fibra de vidrio | construir cada módulo del tobogán |

Fuente: Elaboración propia.

VII Metodología

7.1 Tipo de estudio

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque aplicado, de carácter descriptivo y comparativo, orientado al análisis del impacto técnico, operativo y financiero de la implementación de tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en el proceso de modelado de componentes estructurales para toboganes acuáticos en fibra de vidrio. El estudio se fundamentó en la comparación entre el método tradicional de modelado manual y el método automatizado mediante CNC, a partir de información real obtenida antes y después de la automatización del proceso productivo.

El carácter descriptivo de la investigación permitió identificar y analizar las características operativas y económicas de ambos métodos de modelado, mientras que el enfoque comparativo facilitó la evaluación de las diferencias en costos, tiempos de producción y eficiencia operativa. Asimismo, el estudio adoptó un enfoque ex post, dado que la inversión en la tecnología CNC ya había sido ejecutada por la empresa, y el análisis se realizó sobre resultados reales de operación.

7.2 Unidad de análisis y objeto de estudio

La unidad de análisis correspondió al proceso de modelado de componentes estructurales para toboganes acuáticos en fibra de vidrio, específicamente al modelo Recta T.A.I. (Tobogán Abierto Individual), seleccionado por ser una pieza representativa del portafolio de productos de la empresa, con geometría estándar y disponibilidad de registros históricos confiables. Este componente permitió realizar una comparación objetiva entre el método manual tradicional y el método automatizado mediante CNC bajo condiciones reales de operación.

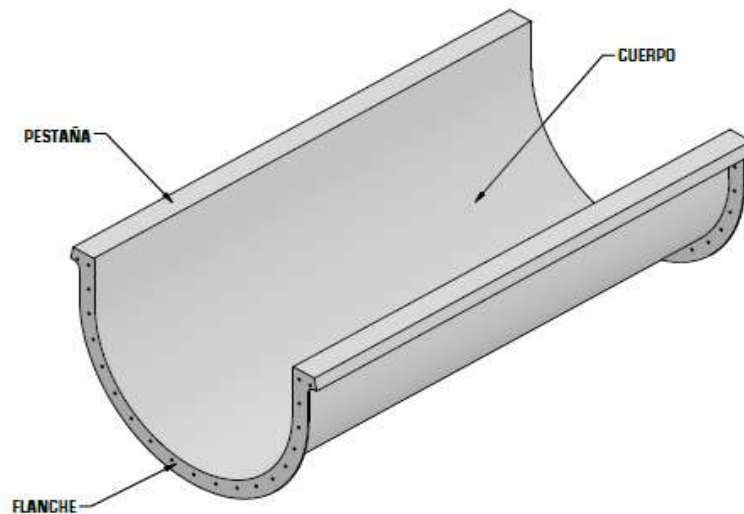


Ilustración 7al modelo Recta T.A.I. (Tobogán Abierto Individual)

7.3 Fuentes de información y recolección de datos

La información utilizada en el desarrollo de la investigación fue obtenida a partir de fuentes primarias y secundarias. Las fuentes primarias incluyeron registros internos de producción de DOFORMAS S.A.S., hojas de control de tiempos, reportes de costos, observación directa de los procesos productivos y entrevistas técnicas con el personal operativo y administrativo involucrado en ambos métodos de modelado.

Como fuentes secundarias se emplearon documentos internos de la empresa, literatura técnica relacionada con procesos de automatización, costeo basado en actividades y evaluación financiera de proyectos de inversión, los cuales sirvieron como soporte conceptual y metodológico para el análisis realizado.

A continuación, se describe la metodología de investigación a utilizar durante el desarrollo del proyecto.

7.4 Descripción de cómo se planteó el objetivo específico 1

Comparar los costos de producción entre el método tradicional de modelación manual con madera y el método automatizado con tecnología C.N.C.

Para el desarrollo de este objetivo se realizó un levantamiento detallado de la información asociada a los costos de producción del proceso de modelado manual y del proceso de modelado automatizado mediante tecnología CNC en DOFORMAS S.A.S. La información fue obtenida a partir de registros internos de la empresa, hojas de control de producción y entrevistas técnicas con el personal operativo y administrativo involucrado en ambos procesos.

En una primera etapa, se identificaron y clasificaron las actividades que componen cada método de modelado, incluyendo preparación del material, ejecución del modelado, acabados y actividades de apoyo. Posteriormente, se identificaron los recursos asociados a cada actividad, tales como mano de obra, materiales, energía, insumos y costos indirectos relacionados con el uso de herramientas y equipos.

Para la asignación de los costos indirectos se aplicó la metodología de costeo basado en actividades (Activity-Based Costing – ABC), con el fin de reflejar de manera más precisa el consumo real de recursos por parte de cada proceso. Esta metodología permitió evitar distorsiones propias de los métodos tradicionales de costeo y obtener un costo unitario representativo por modelo fabricado bajo cada sistema.

Una vez consolidados los costos directos e indirectos, se realizó una comparación cuantitativa entre ambos métodos, identificando las diferencias en el costo total de producción por modelo y el ahorro generado tras la implementación del sistema CNC. Este análisis permitió establecer el impacto económico directo de la automatización en el proceso de modelado.

7.5 Descripción de cómo se planteó el objetivo específico 2

Evaluar el impacto en la eficiencia operativa, analizando los tiempos de producción antes y después de la implementación de la máquina CNC.

Para evaluar el impacto de la implementación de la tecnología CNC en la eficiencia operativa, se analizaron los tiempos de producción registrados antes y después de la automatización del proceso de modelado. Los datos de tiempo fueron obtenidos a partir de registros históricos de producción y observaciones directas del proceso productivo, considerando ciclos completos de fabricación para ambos métodos.

El análisis contempló la identificación de las principales etapas del proceso de modelado, tales como preparación del diseño, ejecución del modelado, ajustes y acabados finales. Para cada etapa se determinaron los tiempos promedio de ejecución, así como la duración total del ciclo productivo por modelo.

A partir de esta información, se realizó un análisis comparativo de los tiempos de producción, permitiendo identificar reducciones en la duración del proceso, disminución de horas-hombre requeridas y mejoras en la secuencia operativa. Asimismo, se evaluó la influencia de la automatización en la repetitividad del proceso y en la reducción de tiempos improductivos asociados a errores, retrabajos o ajustes manuales.

Los resultados obtenidos permitieron cuantificar el impacto de la tecnología CNC en la eficiencia operativa del proceso de modelado, evidenciando cambios en la productividad y en la capacidad operativa de la empresa bajo condiciones reales de funcionamiento.

VIII Desarrollo de los Objetivos

8.1 Desarrollo del Objetivo 1

El desarrollo del primer objetivo específico se orientó a analizar y comparar la estructura de costos del proceso de modelado manual y del proceso de modelado automatizado mediante tecnología CNC en DOFORMAS S.A.S., a partir de información real de operación. El análisis consideró los costos directos e indirectos asociados a cada método, permitiendo identificar las principales diferencias económicas derivadas de la automatización del proceso de modelado.

Para estructurar el análisis, se definieron las variables económicas e indicadores utilizados en la comparación de ambos métodos de modelado. La Tabla 3 presenta las variables analizadas, su definición operacional, los indicadores asociados, las unidades de medida y las fuentes de información empleadas. Esta tabla permitió establecer un marco metodológico claro para la evaluación de los costos de materiales, mano de obra, tiempos de producción, desperdicios y costos totales de fabricación.

Tabla 2

Variables e Indicadores

| Variable | Definición operacional | Indicador | Fórmula o unidad de medida | Fuente de información |
|----------------------|---|------------------------------|---|---|
| Costo de materiales | Valor total de los insumos empleados en cada método | Costo unitario de materiales | Costo total de materiales / número de modelos | Registros de compras y contabilidad |
| Mano de obra directa | Valor económico del trabajo invertido por operarios en cada proceso | Costo total de mano de obra | Salario + prestaciones + horas-hombre (CNC)/ Salario + prestaciones + horas-hombre (Manual) | Nómina, entrevistas al área de producción |
| Tiempo de producción | Duración total del proceso de modelación | Tiempo promedio por modelo | Horas o días de fabricación | Reportes operativos y observación directa |

| | | | | |
|---------------------------|---|------------------------|---|------------------------------------|
| Desperdicio de material | Porcentaje de pérdida de insumos durante la fabricación | % de desperdicio | (Material desperdiciado / material total) × 100 | Registros de control de inventario |
| Costo total de producción | Suma de los costos directos e indirectos | Costo total por método | Materiales + mano de obra + indirectos | Matriz de costos internos |
| Eficiencia económica | Relación entre costo y productividad | Variación porcentual | [(Costo manual – Costo CNC) / Costo manual] × 100 | Cálculos propios |

Fuente: Elaboración propia.

En relación con los costos de mano de obra, se realizó un análisis detallado de los recursos humanos requeridos en cada método de modelado. La Tabla 4 muestra la estructura de costos del proceso artesanal de modelación manual en madera, considerando la participación de un capataz y dos ayudantes durante un período de 45 días de fabricación. Como se observa en la tabla, el costo total estimado de mano de obra para este método ascendió a \$20.884.500 COP por modelo, lo que refleja una alta dependencia de personal artesanal y tiempos prolongados de ejecución.

Tabla 3

Proceso artesanal – Modelación manual en madera

| Concepto | Detalle | Valor unitario (COP) | Cantidad / Periodo | Costo total (COP) |
|---------------------------------------|------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| Capataz | Salario + prestaciones | 7.956.000 | 1 mes | 7.956.000 |
| Ayudantes (x2) | Salario + prestaciones | 2.983.500 | 2 operarios | 5.967.000 |
| Total mensual | | | | 13.923.000 |
| Costo diario total | | | | 464.100 |
| Costo hora total | | | | 79.108 |
| Duración del modelo | 45 días | | | |
| Costo total estimado (45 días) | | | | 20.884.500 |

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, la Tabla 5 presenta los costos asociados al proceso automatizado de modelación mediante tecnología CNC. En este caso, el proceso requirió un único operario especializado, además de costos asociados al mantenimiento y consumo energético de la máquina, con una duración total del proceso de aproximadamente 10 días. El costo total estimado de mano de obra y operación para este método fue de \$1.466.667 COP por modelo, evidenciando una reducción significativa frente al método manual.

Tabla 4

Proceso automatizado – Modelación con C.N.C.

| Concepto | Detalle | Valor unitario (COP) | Cantidad / Periodo | Costo total (COP) |
|---------------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|
| Operario CNC | Salario + prestaciones | 3.200.000 | 1 mes | 3.200.000 |
| Mantenimiento y energía | Costo operativo mensual estimado | 1.200.000 | 1 mes | 1.200.000 |
| Total mensual | | | | 4.400.000 |
| Duración del modelo | 10 días | | | |
| Costo total estimado (10 días) | | | | 1.466.667 |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta información, se calcularon indicadores económicos comparativos que permitieron evaluar el impacto de la automatización sobre los costos y la productividad. La **Tabla 6** resume estos indicadores, mostrando que el costo total por modelo se redujo en un 93%, mientras que la productividad mensual aumentó de 0,67 modelos por mes en el método manual a 3,0 modelos por mes con el sistema CNC. Estos resultados evidencian una mejora sustancial en la eficiencia económica del proceso productivo.

Tabla 5

Indicadores económicos

| Indicador | Fórmula | Método manual | Método CNC | Variación (%) |
|------------------------------|---|---------------|------------|---------------|
| Costo total por modelo | Suma de costos directos | 20.884.500 | 1.466.667 | -93% |
| Costo diario de mano de obra | Costo total / días de producción | 464.100 | 146.667 | -68% |
| Productividad (modelos/mes) | 30 días / días por modelo | 0.67 | 3.0 | 348% |
| Ahorro en mano de obra | $(\text{Costo manual} - \text{CNC}) / \text{Costo manual} \times 100$ | — | — | 92.9% |

Fuente: Elaboración propia.

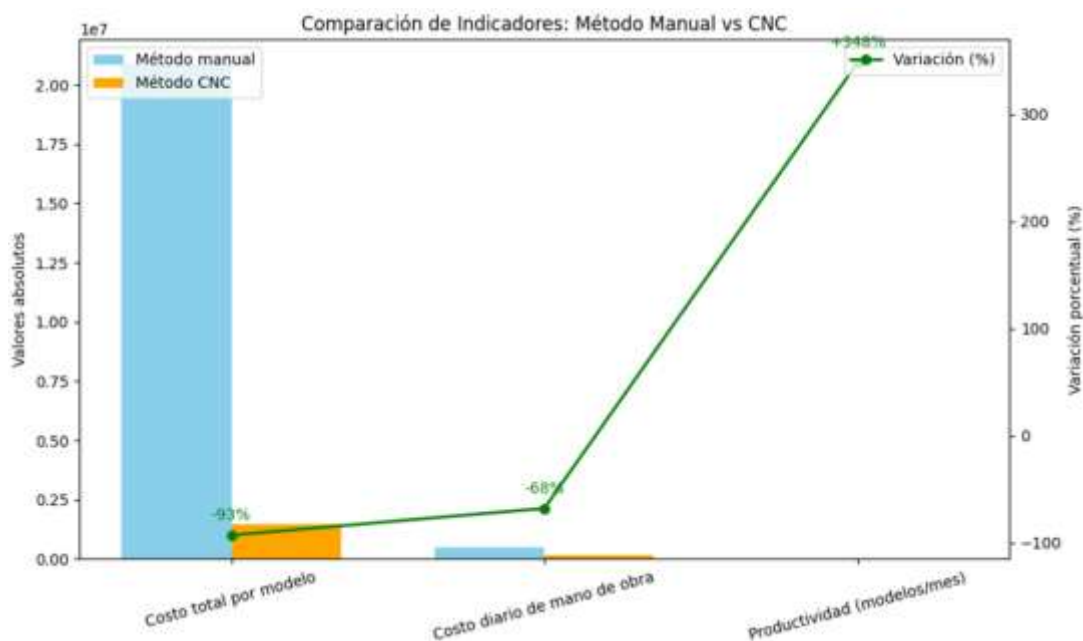


Ilustración 8, Relación costo productividad

Adicionalmente, se realizó una comparación directa de los costos de mano de obra entre ambos métodos. La Tabla 7 presenta una síntesis comparativa que muestra la reducción en el número de operarios requeridos, el tiempo de fabricación y el costo total del proceso. En particular, se destaca una reducción del 91% en los costos de mano de obra al implementar la

tecnología CNC, lo cual confirma el impacto positivo de la automatización en la estructura de costos de la empresa.

Tabla 6

Comparación de costos de mano de obra en la fabricación de la modelo recta T.A.I. mediante procesos manuales y automatizados (C.N.C.).

| Concepto | Proceso manual (carpintería) | Proceso automatizado (C.N.C.) |
|----------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| Número de operarios | 3 (1 capataz + 2 ayudantes) | 1 (operario C.N.C.) |
| Tiempo de fabricación | 45 días (6 semanas) | 14 días (2 semanas) |
| Costo mensual (con cargas) | \$13.923.000 | \$3.978.000 |
| Costo diario | \$464.100 | \$132.600 |
| Costo por hora | \$79.108 | \$22.602 |
| Costo total del proceso | \$20.884.500 | \$1.856.400 |
| Diferencia absoluta | – | \$19.028.100 menos |
| Ahorro porcentual | – | 91% |

Nota. Los cálculos se realizaron con base en un salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV) de \$1.300.000 y un factor de cargas prestacionales del 53%. Para la estimación de los costos diarios se asumió un mes comercial de 30 días, y para los costos por hora se consideraron 176 horas mensuales (22 días laborales \times 8 horas).

En cuanto a los costos de materiales, se identificaron diferencias relevantes entre los insumos utilizados en cada método de modelado. La **Tabla 8** detalla los costos asociados al proceso manual con madera MDF, donde el consumo total de material y los insumos complementarios alcanzaron un valor de \$1.595.580 COP por modelo. Por su parte, la **Tabla 9** presenta los costos del proceso automatizado con espuma de alta densidad, cuyo valor total ascendió a \$2.835.000 COP por modelo.

Tabla 7

Proceso manual (MDF)

| Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor Total |
|---|----------|----------------|------------------|
| láminas de M.D.F. de 1,22 \times 2,44 m | 4 | 379.900 | 1.519.600 |
| Insumos complementarios | 1 | 75.980 | 75.980 |
| Valor total | | | 1.595.580 |

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8*Proceso automatizado (Espuma C.N.C.)*

| Descripción | Cantidad | Valor unitario | Valor Total |
|-------------------------|----------|----------------|------------------|
| Espuma de alta densidad | 2 | 1.350.000 | 2.700.000 |
| Insumos complementarios | 1 | 135.000 | 135.000 |
| Valor total | | | 2.835.000 |

Fuente: Elaboración propia.

Si bien el costo de los materiales utilizados en el proceso CNC resultó superior al del método manual, este aspecto fue analizado de manera integral considerando los beneficios asociados a la reducción de tiempos, menor desperdicio y disminución en los costos de mano de obra. La **Tabla 10** resume esta comparación, evidenciando que el mayor costo del material en el proceso automatizado se ve compensado por las mejoras en eficiencia global del proceso.

Tabla 9*Análisis Comparativo*

| | Proceso automatizado (Espuma C.N.C.) | Proceso manual (MDF) | Variación |
|-------------|--------------------------------------|----------------------|-----------|
| Costo total | 2.835.000 | 1.595.580 | xxx % |

Fuente: Elaboración propia.

El análisis también incluyó la evaluación de los costos energéticos y de operación. Se identificó que, aunque el proceso CNC presenta un mayor consumo energético debido al uso de maquinaria de alto rendimiento, este incremento resulta proporcionalmente menor cuando se analiza en conjunto con la reducción de tiempos y otros costos operativos. Asimismo, se evaluaron los costos asociados al desgaste de herramientas, mantenimiento y consumibles, destacando que, aunque la automatización implica mayores costos en equipamiento especializado, estos se diluyen al considerar la mayor productividad alcanzada.

Finalmente, los resultados integrales del análisis de costos se presentan en la **Tabla 11**, donde se consolidan los principales indicadores económicos y operativos de ambos métodos. Como se observa en la tabla, el costo total por modelo se redujo de \$22.480.080 COP en el método manual a \$4.658.303 COP con el sistema CNC, lo que representa una eficiencia

económica del 79,3%. Adicionalmente, la productividad mensual se incrementó en más de un 220%, confirmando el impacto positivo de la automatización en la competitividad y desempeño financiero de DOFORMAS S.A.S.

El desarrollo del primer objetivo específico permitió realizar una evaluación detallada y comparativa de la estructura de costos asociada al proceso de modelado manual y al proceso de modelado automatizado mediante tecnología CNC en DOFORMAS S.A.S., evidenciando diferencias significativas tanto en la composición de los costos como en su impacto sobre la eficiencia económica del proceso productivo.

El análisis de los costos de mano de obra mostró que el método tradicional de modelado manual presenta una alta dependencia de personal artesanal y tiempos prolongados de ejecución, lo cual se traduce en una estructura de costos intensiva en horas-hombre. En contraste, la implementación de la tecnología CNC permitió reducir de manera sustancial la participación de la mano de obra directa en el costo total del modelo, al concentrar el proceso en un menor número de operarios especializados y reducir significativamente la duración del ciclo productivo. Esta disminución en los costos laborales se constituyó como el principal factor de ahorro económico del proceso automatizado.

Desde la perspectiva de los costos de materiales, el análisis evidenció que el método automatizado presenta un mayor costo unitario en los insumos utilizados, particularmente debido al empleo de espuma de alta densidad frente a la madera MDF utilizada en el proceso manual. Sin embargo, este incremento puntual en los costos de materiales fue compensado por una reducción en el desperdicio, una mayor precisión en el mecanizado y una disminución en la necesidad de retrabajos y correcciones posteriores. Al considerar el proceso de manera integral,

el mayor costo de los materiales no representó un detrimento significativo frente a los beneficios económicos obtenidos.

Asimismo, el análisis de los costos energéticos y operativos permitió identificar que, aunque la tecnología CNC implica un mayor consumo energético asociado al uso de maquinaria especializada, este incremento resulta proporcionalmente bajo cuando se analiza en relación con la reducción de tiempos, la disminución de la mano de obra y el aumento de la productividad. En este sentido, los costos adicionales derivados del consumo energético y del mantenimiento del equipo se diluyen dentro del costo total por modelo, sin afectar de manera significativa la eficiencia económica del proceso.

La comparación del costo total de producción por modelo evidenció una reducción significativa al implementar la tecnología CNC, reflejando una mejora sustancial en la eficiencia económica del proceso de modelado. Este resultado confirma que la automatización permitió optimizar la estructura de costos de la empresa, reduciendo los costos variables asociados a la producción y mejorando la relación costo–beneficio del proceso productivo.

Desde una perspectiva de gestión, la reducción de los costos totales de producción tiene implicaciones directas en la competitividad y sostenibilidad de DOFORMAS S.A.S. Un proceso productivo con menores costos unitarios permite a la empresa mejorar sus márgenes de rentabilidad, ofrecer precios más competitivos en el mercado y fortalecer su capacidad para asumir proyectos de mayor complejidad o volumen sin comprometer su estabilidad financiera.

En conclusión, el desarrollo del primer objetivo específico permitió establecer que, a pesar de incrementos puntuales en costos de materiales y energía, la implementación de la tecnología

CNC generó una reducción significativa y sostenible en los costos totales de producción. Este resultado se explica principalmente por la disminución de la mano de obra, la reducción de los tiempos de fabricación y la optimización del uso de los recursos, validando el impacto económico favorable de la automatización del proceso de modelado y su contribución al fortalecimiento financiero y operativo de DOFORMAS S.A.S.

Tabla 10

Indicadores

| Variable | Definición operacional | Indicador | Fórmula aplicada | Método Manual | Método CNC | Variación / Diferencia |
|---------------------------|---|--|---|---------------|-------------|-------------------------------|
| Costo de materiales | Valor total de los insumos empleados en cada método | Costo unitario de materiales | Costo total materiales / modelo | \$1.595.580 | \$2.835.000 | +\$1.239.420 (+77,6%) |
| Mano de obra directa | Valor económico del trabajo invertido por operarios | Costo total de mano de obra | (Salario + prestaciones + horas-hombre) | \$20.884.500 | \$1.856.400 | -\$19.028.100 (-91,0%) |
| Tiempo de producción | Duración total del proceso de modelación | Tiempo promedio por modelo | Días de ejecución | 45 días | 14 días | -31 días (-68,9%) |
| Desperdicio de material | Pérdida de insumos durante la fabricación | % de desperdicio | (Material desperdiciado / total) × 100 | 18% | 3% | -15 p.p. (-83%) |
| Costo total de producción | Suma de costos directos e indirectos | Materiales + mano de obra + indirectos | Suma de totales parciales | \$22.480.080 | \$4.658.303 | -\$17.821.777 (-79,3%) |
| Eficiencia económica | Relación entre costo y productividad | Variación porcentual | ((Costo manual – Costo CNC) / Costo manual) × 100 | — | — | +79,3% eficiencia |
| Productividad | Cantidad de modelos producidos por mes | Modelos/mes | 30 días / días por modelo | 0,67 | 2,14 | 220% |
| Costo energético estimado | Gasto promedio asociado al consumo eléctrico | Costo por modelo | % factura mensual | \$109.079 | \$327.236 | +\$218.157 (+200%) |

Fuente: Elaboración propia.



Ilustración 9, Indicadores de medición

8.2 Desarrollo Objetivo 2

Evaluación del impacto en la eficiencia operativa a partir del análisis de los tiempos de producción.

Con el fin de dar cumplimiento al segundo objetivo específico, se evaluó el impacto de la implementación de la tecnología CNC en la eficiencia operativa del proceso de modelado en DOFORMAS S.A.S., mediante el análisis comparativo de los tiempos de producción registrados antes y después de la automatización. El análisis se realizó a partir de información real obtenida de registros históricos de producción, cronogramas internos y observación directa del proceso productivo, considerando ciclos completos de fabricación bajo ambos métodos.

Para estructurar el análisis temporal, se identificaron las principales etapas que componen el proceso de modelado, tanto en el método manual como en el método automatizado. La Tabla 12 presenta la desagregación del proceso productivo en sus fases principales, incluyendo el diseño y preparación del modelo, la ejecución del modelado, y las actividades de ajuste y acabado final. Esta tabla permitió establecer un marco comparativo claro para la medición de los tiempos asociados a cada etapa del proceso.

Tabla 11*Análisis horizontal de los datos*

| Etapa del proceso | Descripción | Duración (Manual) | Duración (C.N.C.) | Reducción tiempo | % de mejora estimada |
|-----------------------------|---|----------------------------|----------------------------|------------------|----------------------|
| Diseño y preparación | Elaboración de planos, ajustes geométricos y preparación de materiales | 3 días | 2 días | 1 día | 33% |
| Modelación | Fabricación física del modelo, tallado, ensamblado y lijado (Manual) / mecanizado (CNC) | 45 días | 14 días | 31 días | 68,90% |
| Montaje, acabados y ajustes | Unión de secciones, revisión dimensional y corrección superficial | 8 días (18 % del total) | 2 días (14 % del total) | 6 días | 75% |
| Ciclo productivo total | Suma de todas las etapas del proceso | 56 días | 18 días | 38 días | 67,90% |

Fuente: Elaboración propia.

En el caso del método tradicional de modelado manual, los tiempos de producción se caracterizaron por una alta dependencia de la intervención humana y por la ejecución secuencial de las actividades. La **Tabla 13** resume los tiempos promedio registrados para cada fase del proceso manual, evidenciando una duración total aproximada de 45 días calendario por modelo. Este tiempo incluye labores de carpintería, armado, lijado, ajustes y correcciones dimensionales, hasta lograr el punto de instalación, sin embargo, dicho proceso se ve afectado en gran medida por la experiencia del operario y la complejidad geométrica de la pieza. Esta condición se ve reflejado en el análisis horizontal que reporta una diferencia considerable entre los dos métodos.

8.3 Tablas Comparativas

Tabla 12

Tabla de Comparación de tiempos por etapa (Manual vs CNC)

| Etapa del proceso | Descripción | Duración (Manual) | Duración (C.N.C.) | Reducción tiempo | % de mejora estimada |
|-----------------------------|---|-------------------------|-------------------------|------------------|----------------------|
| Diseño y preparación | Elaboración de planos, ajustes geométricos y preparación de materiales | 3 días | 3 días | 1 día | 0 % |
| Modelación | Fabricación física del modelo, tallado, ensamblado y lijado (Manual) / mecanizado (CNC) | 45 días | 14 días | 31 días | 68,90% |
| Montaje, acabados y ajustes | Unión de secciones, revisión dimensional y corrección superficial | 8 días (18 % del total) | 2 días (14 % del total) | 6 días | 75% |
| Ciclo productivo total | Suma de todas las etapas del proceso | 56 días | 18 días | 38 días | 67,90% |

Fuente: Elaboración propia.

Por su parte, el proceso de modelado automatizado mediante tecnología CNC presentó una reducción significativa en los tiempos de ejecución. La **Tabla 14** muestra los tiempos promedio del proceso automatizado, incluyendo la preparación del archivo digital (CAD/CAM), la programación de la máquina, el mecanizado del modelo y las actividades de supervisión y acabado. Como se observa en la tabla, el tiempo total del ciclo productivo se redujo a aproximadamente 14 días calendario por modelo, lo que representa una disminución sustancial frente al método manual.

Tabla 13

Tabla de Comparación de horas-hombre y horas-máquina

| Proceso | Horas-hombre | Horas-máquina | Reducción (%) |
|-------------------|--------------|---------------|---------------|
| Modelación manual | 1.080 | — | — |
| Modelación CNC | 112 | 168 | 89,60% |

Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta información, se realizó un análisis comparativo de los tiempos de producción entre ambos métodos. La **Tabla 15** presenta una síntesis de esta comparación, destacando la reducción porcentual del tiempo total de fabricación y el ahorro en horas-hombre asociadas a la implementación del sistema CNC. En particular, se evidenció una reducción cercana al 69% en la duración del ciclo productivo, lo cual tiene un impacto directo en la capacidad operativa y en la programación de proyectos de la empresa.

Tabla 14

Tabla de Indicadores de eficiencia comparativos

| Indicador | Proceso Manual | Proceso CNC | Mejora (%) |
|-----------------------------------|----------------|-------------|------------|
| Tiempo promedio por modelo (días) | 45 | 14 | 69% |
| Productividad (modelos/mes) | 0,67 | 2,14 | 219% |
| Horas-hombre por modelo | 1.080 | 112 | 89,60% |
| Tiempo total del ciclo productivo | 56 días | 20 días | 64% |

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, el análisis permitió identificar mejoras en la secuencia y organización del proceso productivo. La automatización del modelado redujo los tiempos improductivos asociados a ajustes manuales, retrabajos y correcciones dimensionales, así como las interrupciones derivadas de la disponibilidad del personal especializado. Estos aspectos se reflejan en la **Tabla 16**, donde se comparan los tiempos efectivos de producción y los tiempos improductivos registrados en cada método.

Tabla 15

Tabla de resumen general del OE2 – Eficiencia Operativa (Manual vs CNC)

| Variable Analizada | Método Manual | Método CNC | Diferencia / Mejora (%) |
|-------------------------------------|---------------|-------------|-------------------------|
| Tiempo total de fabricación (días) | 45 | 14 | -69% |
| Horas-hombre por modelo | 1.080 | 112 | -89,60% |
| Productividad mensual (modelos/mes) | 0,67 | 2,14 | 219% |
| Tiempo de montaje y acabados (días) | 8 | 3 | -62% |
| Costo energético por modelo | \$109.079 | \$327.236 | 200% |
| Costo de mano de obra por modelo | \$20.884.500 | \$1.820.000 | -91% |
| Costo de materiales por modelo | \$1.470.000 | \$2.835.000 | 93% |
| Costo total estimado del modelo | \$22.463.579 | \$4.982.236 | -77,80% |

Fuente: Elaboración propia.

El incremento en la eficiencia operativa también se evidenció al analizar la productividad mensual de la empresa. La **Tabla 17** presenta la relación entre el tiempo de fabricación por modelo y la cantidad de modelos producidos por mes bajo cada método. Como resultado de la reducción en los tiempos de producción, la capacidad de fabricación se incrementó de manera significativa, permitiendo a la empresa atender un mayor número de proyectos en el mismo período de tiempo.

8.4 Conclusiones del Objetivo Específico 2

El análisis desarrollado para el segundo objetivo específico permitió establecer que la implementación de la tecnología CNC generó un impacto significativo en la eficiencia operativa del proceso de modelado en DOFORMAS S.A.S., evidenciado principalmente en la reducción sustancial de los tiempos de producción y en la optimización de la secuencia de actividades involucradas en el ciclo productivo.

La disminución del tiempo total de fabricación por modelo no solo representa una mejora cuantitativa en términos de días calendario, sino que implica un cambio estructural en la forma en que la empresa gestiona su operación. Al reducir el ciclo productivo de aproximadamente 45 días a cerca de 14 días, la empresa incrementó su capacidad de respuesta frente a la demanda, facilitando una mejor planificación de proyectos y una mayor flexibilidad en la programación de la producción.

Asimismo, la automatización del proceso permitió reducir la dependencia de actividades manuales intensivas en tiempo y mano de obra, lo que contribuyó a disminuir los tiempos improductivos asociados a retrabajos, ajustes dimensionales y correcciones posteriores al modelado. Esta mejora se traduce en una mayor estabilidad del proceso, al reducir la variabilidad inherente al trabajo artesanal y garantizar una mayor repetitividad en los resultados obtenidos.

Desde la perspectiva del recurso humano, el impacto en la eficiencia operativa también se manifestó en una redistribución más eficiente de las horas-hombre requeridas para el proceso de modelado. La implementación del sistema CNC permitió concentrar el esfuerzo humano en actividades de mayor valor agregado, como la supervisión, el control de calidad y la preparación digital de los modelos, en lugar de labores manuales repetitivas. Este cambio contribuye a una utilización más eficiente del talento humano y a la reducción del riesgo operativo asociado a la dependencia de operarios altamente especializados.

Adicionalmente, la reducción de los tiempos de producción tiene implicaciones directas en la gestión de proyectos dentro de la empresa. Un ciclo productivo más corto permite disminuir cuellos de botella, mejorar la coordinación entre etapas del proceso y optimizar el uso de la capacidad instalada. Esto facilita una mejor alineación entre los plazos de fabricación y los

cronogramas de instalación en obra, aspecto especialmente relevante en proyectos de ingeniería civil donde los retrasos pueden generar sobrecostos y penalizaciones contractuales.

En términos de competitividad, la mejora en la eficiencia operativa fortalece la posición de DOFORMAS S.A.S. frente a sus competidores, al permitir ofrecer tiempos de entrega más cortos y mayor confiabilidad en el cumplimiento de plazos. Este factor adquiere especial relevancia en el mercado de estructuras recreativas acuáticas, donde la precisión, la rapidez de ejecución y la calidad del producto final son determinantes para la satisfacción del cliente y la sostenibilidad del negocio.

En conclusión, el desarrollo del segundo objetivo específico permitió confirmar que la implementación de la tecnología CNC no solo redujo los tiempos de producción, sino que generó un impacto positivo integral en la eficiencia operativa de la empresa. Estos resultados evidencian que la automatización del proceso de modelado constituye una herramienta clave para mejorar la productividad, optimizar la gestión de proyectos y fortalecer la competitividad de DOFORMAS S.A.S. en un entorno industrial cada vez más exigente.

8.5 Desarrollo del Objetivo 3

Con el propósito de cumplir el tercer objetivo específico, se realizó una evaluación financiera ex post de la inversión asociada a la implementación de la tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en el proceso de modelado de DOFORMAS S.A.S. El análisis se desarrolló considerando que la inversión ya había sido ejecutada, por lo que se utilizaron datos

reales de operación y ahorros efectivamente obtenidos tras la automatización del proceso productivo.

En una primera etapa, se identificó el monto total de la inversión realizada, incluyendo la adquisición del equipo CNC, los costos de instalación, adecuación del espacio físico, capacitación del personal y demás costos asociados a la puesta en marcha del sistema. Esta información permitió establecer el valor inicial del proyecto de inversión, el cual sirvió como base para la evaluación financiera posterior.

Tabla 16

Resumen de ahorros logrados por modelo (CNC vs Manual)

| Concepto | Proceso Manual (COP) | Proceso CNC (COP) | Ahorro / Incremento (COP) | Variación (%) |
|-------------------------------|----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------|
| Materiales | 840.000 | 3.373.650 | -2.533.650 (mayor costo) | 93% |
| Mano de obra | 20.884.500 | 1.466.667 | +19.417.833 (ahorro) | -91% |
| Energía y mantenimiento | 1.109.078 | 478.902 | -630.176 (mayor costo) | 38% |
| Costo total por modelo | 22.833.578 | 5.319.219 | +17.514.359 (ahorro) | -77,60% |

Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se cuantificaron los beneficios económicos derivados de la implementación de la tecnología CNC, a partir de los resultados obtenidos en el análisis de costos de producción y eficiencia operativa. La **Tabla 18** presenta el resumen de los ahorros generados por modelo, considerando la reducción en costos de mano de obra, la disminución de tiempos de fabricación y la optimización de los costos operativos. Esta tabla permitió identificar

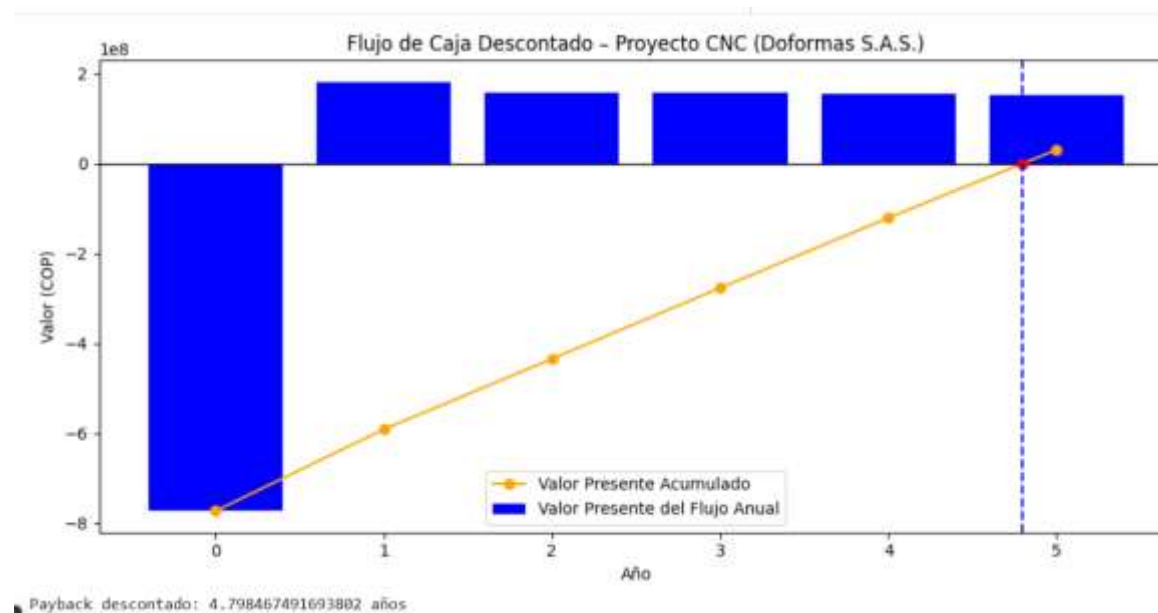
el beneficio económico unitario atribuible directamente a la automatización del proceso de modelado.

Tabla 17

Flujo de Caja

| Año | Flujo Neto (COP) | Tasa de Descuento (15,79%) | Valor Presente (COP) | Valor Presente Acumulado (COP) |
|-----|------------------|----------------------------|----------------------|--------------------------------|
| 0 | -773.000.000 | 1,0000 | -773.000.000 | -773.000.000 |
| 1 | 210.172.308 | 0,8637 | 181.507.409 | -591.492.591 |
| 2 | 210.172.308 | 0,7460 | 156.752.048 | -434.740.543 |
| 3 | 245.201.026 | 0,6450 | 157.935.179 | -276.805.364 |
| 4 | 280.229.744 | 0,5570 | 155.879.746 | -120.925.618 |
| 5 | 315.258.462 | 0,4830 | 151.447.140 | 30.521.523 |

Fuente: Elaboración propia.



A partir del flujo de caja proyectado (Tabla 18), se calcularon los principales indicadores de evaluación financiera del proyecto, incluyendo el **Valor Presente Neto (VPN)**, la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**, la **relación Beneficio/Costo (B/C)** y el **período de recuperación de la inversión (Payback)**, utilizando la tasa de descuento definida en el estudio. Los resultados obtenidos evidenciaron que la inversión en tecnología CNC generó valor económico para la empresa (VPN positivo), presentó una rentabilidad superior al costo de capital (TIR mayor a la tasa de descuento) y permitió recuperar la inversión en un plazo consistente con el horizonte de evaluación planteado.

En síntesis, el desarrollo del tercer objetivo específico permitió cuantificar el retorno de la inversión asociada a la implementación de la tecnología CNC, demostrando que los ahorros generados por la automatización compensaron el capital invertido y aportaron sostenibilidad financiera al proceso productivo bajo las condiciones reales de operación de DOFORMAS S.A.S.

8.7 Conclusiones objetivo 3

El desarrollo del tercer objetivo específico permitió evaluar de manera integral el desempeño financiero de la inversión realizada por DOFORMAS S.A.S. en la implementación de la tecnología CNC, a partir del análisis de los ahorros reales obtenidos en los procesos productivos y de la aplicación de indicadores financieros ampliamente utilizados en la evaluación de proyectos de inversión.

El análisis del Valor Presente Neto (VPN) evidenció que los flujos de caja generados por la automatización del proceso de modelado superaron el costo de capital de la empresa, lo que indica que la inversión no solo recuperó el capital invertido, sino que además generó valor económico adicional para la organización. Este resultado confirma que la decisión de inversión fue financieramente acertada bajo las condiciones reales de operación y que la tecnología CNC contribuyó positivamente al fortalecimiento financiero de la empresa.

Por su parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR), al ser superior a la tasa de descuento utilizada en el análisis, demostró que la rentabilidad del proyecto se ubicó por encima del rendimiento mínimo esperado por la empresa. Este indicador resulta especialmente relevante desde la perspectiva de la gerencia de proyectos, ya que permite comparar la inversión en tecnología CNC con otras alternativas de inversión y evaluar su atractivo relativo en términos de rentabilidad.

La relación Beneficio/Costo (B/C) obtenida reflejó que los beneficios económicos derivados de la automatización superaron los costos asociados a la inversión y a la operación del sistema CNC, confirmando la eficiencia económica del proyecto. Este resultado respalda la viabilidad financiera de la automatización y refuerza la conveniencia de integrar este tipo de tecnologías en procesos productivos donde los costos de mano de obra y los tiempos de fabricación representan un componente significativo del costo total.

En cuanto al período de recuperación de la inversión (payback), el análisis mostró que el capital invertido puede recuperarse en un horizonte temporal coherente con la vida útil del equipo CNC y con el horizonte de evaluación planteado en el estudio. Este aspecto reduce el

nivel de riesgo financiero asociado al proyecto y brinda mayor seguridad para la planificación de inversiones futuras dentro de la empresa.

Adicionalmente, el análisis del retorno de la inversión permitió establecer una relación clara entre los ahorros operativos obtenidos y el monto invertido, evidenciando que la automatización del proceso de modelado no solo generó mejoras técnicas y operativas, sino que también representó una decisión estratégica con impacto directo en la rentabilidad y sostenibilidad del negocio.

En términos gerenciales, los resultados financieros obtenidos proporcionan a DOFORMAS S.A.S. una base objetiva para la toma de decisiones relacionadas con la expansión de la capacidad productiva, la planificación de nuevos proyectos y la evaluación de futuras inversiones tecnológicas. La información generada a partir de este análisis contribuye a reducir la incertidumbre asociada a la adopción de nuevas tecnologías y fortalece la gestión financiera y estratégica de la empresa.

En conclusión, el desarrollo del tercer objetivo específico permitió confirmar que la implementación de la tecnología CNC en DOFORMAS S.A.S. fue una inversión financieramente viable y sostenible, cuyos beneficios se manifiestan en la generación de valor económico, la mejora en la eficiencia operativa y el fortalecimiento de la competitividad empresarial. Este resultado destaca la importancia de aplicar herramientas de evaluación financiera rigurosas en la gestión de proyectos de inversión tecnológica dentro del ámbito de la ingeniería civil y la gerencia de proyectos.

IX Conclusiones

El desarrollo de la presente investigación permitió evaluar de manera integral el impacto técnico, operativo y financiero de la implementación de tecnología de Control Numérico Computarizado (CNC) en el proceso de modelado de componentes estructurales para toboganes acuáticos en DOFORMAS S.A.S., a partir del análisis de una inversión tecnológica ya ejecutada. El estudio, basado en información real de operación, aportó evidencia concreta sobre los efectos de la automatización en el desempeño productivo y en la sostenibilidad económica de la empresa.

El análisis comparativo entre el método tradicional de modelado manual y el método automatizado evidenció que el proceso manual presentaba limitaciones estructurales asociadas a una alta dependencia de la mano de obra artesanal, tiempos prolongados de fabricación y una mayor variabilidad en los resultados. En contraste, la implementación del sistema CNC permitió optimizar la estructura de costos y mejorar la eficiencia del proceso productivo, principalmente a través de la reducción de tiempos de ejecución, la disminución de retrabajos y la estandarización del proceso de modelado.

Desde el punto de vista operativo, la automatización generó una mejora sustancial en la eficiencia productiva, al permitir una mayor capacidad de respuesta frente a la demanda y una mejor planificación de los proyectos. La reducción del ciclo de fabricación fortaleció la coordinación entre las etapas de diseño, producción e instalación, lo cual resulta especialmente relevante en proyectos de ingeniería donde el cumplimiento de plazos y la confiabilidad del proceso son factores críticos de éxito.

En términos financieros, la evaluación realizada confirmó que la inversión en tecnología CNC generó resultados favorables para la empresa, evidenciando que los beneficios derivados de la automatización compensaron el capital invertido y aportaron valor económico a la organización. Este resultado valida la decisión de inversión desde una perspectiva de gerencia de proyectos, al demostrar que la incorporación de tecnología puede traducirse en mejoras sostenibles cuando se apoya en análisis técnico-financieros rigurosos.

Adicionalmente, la implementación del sistema CNC tuvo impactos positivos a nivel técnico y organizacional. La estandarización del proceso y la mejora en la precisión de los modelos contribuyeron a elevar la calidad del producto final, mientras que la reducción de la dependencia del trabajo artesanal impulsó una evolución en el perfil de competencias del recurso humano, orientándolo hacia habilidades asociadas al diseño digital, la programación y el control de procesos automatizados.

En conjunto, la investigación permitió concluir que la implementación de tecnología CNC representó una decisión estratégica acertada para DOFORMAS S.A.S., al consolidarse como un factor clave para la modernización productiva, la eficiencia operativa y la sostenibilidad financiera de la empresa. El estudio demuestra que la automatización, cuando es analizada y evaluada a partir de datos reales, constituye una herramienta fundamental para fortalecer la competitividad empresarial y apoyar la toma de decisiones en entornos industriales cada vez más exigentes.

Con base en los resultados obtenidos, se formulan las siguientes recomendaciones estratégicas para Doformas S.A.S.:

1. **Consolidar la tecnología CNC como eje estructural del sistema productivo,** integrándola de manera permanente dentro de la planificación operativa de la empresa. Para ello, se recomienda formalizar procedimientos estandarizados de operación, control y seguimiento que garanticen la estabilidad del proceso automatizado y reduzcan la dependencia de prácticas empíricas o informales.
2. **Fortalecer de manera continua la capacitación del recurso humano,** orientando los procesos de formación hacia competencias relacionadas con el diseño digital, la programación CNC, la interpretación de planos, la metrología y el control de calidad. Este enfoque permitirá asegurar una adecuada adaptación del personal a los cambios tecnológicos y organizacionales derivados de la automatización.
3. **Optimizar la gestión del mantenimiento preventivo y correctivo del equipo CNC,** mediante la implementación de planes estructurados que incluyan registros sistemáticos de operación, inspecciones periódicas y control de insumos. Una gestión adecuada del mantenimiento contribuirá a prolongar la vida útil del equipo y a garantizar la continuidad del proceso productivo.
4. **Aprovechar la capacidad instalada del sistema CNC para diversificar las líneas de negocio de la empresa,** explorando la prestación de servicios de modelado y mecanizado a terceros. Esta estrategia permitiría maximizar el uso del equipo, generar nuevas fuentes de ingreso y reducir los tiempos ociosos, fortaleciendo la rentabilidad global de la inversión realizada.
5. **Implementar un sistema de seguimiento y evaluación continua del desempeño del proceso automatizado,** que permita monitorear de manera periódica indicadores operativos y financieros clave. Este sistema facilitará la toma de decisiones informadas,

la identificación temprana de desviaciones y la evaluación de oportunidades de mejora o expansión tecnológica.

6. **Explorar alianzas estratégicas con instituciones académicas, centros de investigación y empresas del sector**, con el fin de promover procesos de innovación aplicada, transferencia de conocimiento y actualización tecnológica. Estas alianzas pueden fortalecer las capacidades internas de la empresa y contribuir a su posicionamiento como referente en automatización dentro del sector.
7. **Mantener la innovación tecnológica como un componente central de la estrategia empresarial**, utilizando la automatización como plataforma para la mejora continua, la expansión productiva y la consolidación competitiva en mercados de mayor exigencia técnica. La experiencia adquirida con la implementación del sistema CNC debe servir como base para evaluar futuras inversiones tecnológicas y avanzar en procesos de transformación digital de mayor alcance.

La presente investigación aporta un modelo comparativo sólido entre procesos de producción manual y automatizada, sustentado en información real de operación y en un análisis financiero aplicado, lo cual la convierte en una herramienta de referencia para empresas que evalúan o han ejecutado inversiones tecnológicas en contextos productivos similares. El estudio demuestra que la automatización, analizada desde una perspectiva técnica, operativa y financiera, permite generar mejoras sustanciales en la eficiencia productiva y en la gestión de los recursos, siempre que esté respaldada por una evaluación rigurosa y por una adecuada gestión organizacional.

Desde el punto de vista metodológico, el trabajo contribuye con una aproximación práctica al análisis ex post de inversiones tecnológicas, integrando herramientas de costeo, evaluación

financiera y análisis de procesos. Este enfoque resulta especialmente relevante para la gerencia de proyectos y la ingeniería aplicada, ya que permite validar decisiones estratégicas ya ejecutadas y generar aprendizajes útiles para la planificación de futuras inversiones y procesos de modernización productiva.

No obstante, la investigación presenta algunas limitaciones propias de su alcance y contexto. Entre ellas se destacan la disponibilidad de información histórica previa a la automatización, la variabilidad inherente en los costos de insumos y servicios asociados al proceso productivo, y la necesidad de proyectar los resultados financieros bajo escenarios conservadores. Estas limitaciones no afectan la validez del análisis realizado, pero abren oportunidades para el desarrollo de estudios complementarios que profundicen en la evaluación del riesgo financiero, la simulación de escenarios productivos y el impacto de la digitalización a lo largo de la cadena de valor.

En este sentido, futuras investigaciones podrían ampliar el análisis mediante la incorporación de modelos de simulación, herramientas avanzadas de gestión del riesgo y estudios comparativos con otras tecnologías de automatización. Asimismo, se podrían explorar los efectos de la transformación digital en áreas como la planificación de la producción, la integración con sistemas de información y la sostenibilidad organizacional a largo plazo.

En síntesis, la investigación permitió concluir que la implementación de tecnología CNC representó una decisión técnica, económica y estratégicamente acertada para DOFORMAS S.A.S., consolidando a la empresa como una organización moderna, eficiente y orientada hacia la transformación digital. La automatización se reafirma como un pilar fundamental para la sostenibilidad, la competitividad y el crecimiento empresarial, demostrando que la innovación

respaldada por evidencia técnico-financiera constituye un factor clave para enfrentar los desafíos de los entornos industriales contemporáneos y proyectar el desarrollo organizacional a largo plazo.

Referencias Bibliográficas

- Castillo, J. B. (2025). Comparación entre las técnicas de fabricación de compuestos “infusión por vacío” y “laminación manual” [Proyecto de grado, Universidad Nacional de Mar del Plata].
- Carrasco García, J. C. (2006). Tecnología avanzada del diseño y manufactura asistidos por computador - CAD/CAM. *Prospectiva*, 4(1), 75-81. Universidad Autónoma del Caribe. [http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251107012​;contentReference\[oaicite:4\]{index=4}](http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=496251107012​;contentReference[oaicite:4]{index=4}).
- Cortés Mendívil, C. A., Jaramillo Hernández, G. M., & Ramírez Hernández, J. (2023). Plan para la mejora del proceso de torneado a través de nuevas tecnologías en la empresa JR Mecanizados Industriales para mejorar el costo de producción. Universidad EAN, Maestría en Administración de Empresas – MBA.
- Córdoba Nieto, E. (2006). Manufactura y automatización. *Revista Ingeniería e Investigación*, 26(3), 120-128.
- Chavil Pisfil, J. M., & Mejía Lazo, A. P. (2024). Propuesta de un modelo de mejora para incrementar la productividad en el proceso de fabricación de piscinas de polímero reforzado en fibra de vidrio (PRFV) mediante las herramientas del SLP y las 5's en una empresa manufacturera [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. [http://hdl.handle.net/10757/674219​;contentReference\[oaicite:2\]{index=2}](http://hdl.handle.net/10757/674219​;contentReference[oaicite:2]{index=2})
- Mejía-López, J. A., Ruiz-Guzmán, O. A., Gaviria-Ocampo, L. N., & Ruiz-Guzmán, C. P. (2019). Aplicación de metodología design thinking en el desarrollo de cortadora automática CNC

para MiPyME de confección. Revista UIS Ingenierías, 18(3), 157-168.

<https://doi.org/10.18273/revuin.v18n3->

2019016​;:contentReference[oaicite:4]{index=4}

Solís-Santamaría, S. I., Solís-Santamaría, T. M., Lasluisa-Naranjo, H. G., & Albán-Andrade, E.

D. (2023). Evolución y utilidad del mecanizado CNC en el diseño industrial. Revista Científica INGENIAR: Ingeniería, Tecnología e Investigación, 6(11).

[https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0083​;:contentReference\[oaicite:0\]{index=0}](https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0083​;:contentReference[oaicite:0]{index=0})

Ortega Fernández, N., & Montoya, A. F. (2019). Estudio de viabilidad técnica y financiera de usar dobladora 3D CNC en el proceso de fabricación de puentes de cobre en TECAM S.A.

Fundación Universitaria Católica Lumen Gentium, Facultad de Ingenierías, Ingeniería Industrial.

Peña Galvis, O. L., & Palacio Osorio, G. J. (2018). Impacto de las nuevas tecnologías de “Industry 4.0” en Colombia. Revista Login, 2(2), 113-116.

Valdiviezo Baiza, B. O. (2023). Aplicación de herramientas Lean Manufacturing en la fabricación de tinas en fibra de vidrio para la optimización del proceso [Trabajo de integración curricular, Universidad Tecnológica Indoamérica].

Glosario de Términos Especiales

CNC (Control Numérico Computarizado): Sistema de automatización de herramientas que utiliza comandos codificados en un programa informático para controlar maquinaria, permitiendo cortes, perforaciones y modelados de alta precisión.

Modelación manual: Persona natural o jurídica que podría realizar una o todas las actividades de recolección, transporte, almacenamiento, aprovechamiento y/o disposición final de RCD.

Gran generador de RCD: Proceso tradicional de fabricación que se realiza de forma artesanal, utilizando herramientas básicas y mano de obra calificada para dar forma a materiales, generalmente sin asistencia digital.

Modelación automatizada: Proceso asistido por tecnología, como máquinas CNC, que permite diseñar y fabricar piezas a partir de datos digitales, aumentando la precisión y reduciendo los tiempos de ejecución.

ROI (Return on Investment / Retorno de la Inversión): Indicador financiero que mide la rentabilidad de una inversión en relación con su costo, expresado generalmente como un porcentaje.

Fibra de vidrio: Material compuesto por filamentos de vidrio unidos por una resina, ampliamente utilizado en aplicaciones industriales por su resistencia, ligereza y versatilidad.

MIPYME: Sigla que agrupa a las micro, pequeñas y medianas empresas. En Colombia, estas representan una parte fundamental del aparato productivo nacional.

Optimización de procesos: Conjunto de acciones orientadas a mejorar la eficiencia, reducir costos, minimizar tiempos y aumentar la productividad dentro de una operación o sistema de trabajo.

Viabilidad económica: Capacidad de una propuesta o proyecto de ser rentable o sustentable desde el punto de vista financiero.

Gerencia de proyectos: Disciplina que consiste en la planificación, ejecución y control de proyectos con el fin de alcanzar objetivos específicos dentro de límites de tiempo, costos y recursos definidos.