

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v6i11.0083>

EVOLUCIÓN Y UTILIDAD DEL MECANIZADO CNC EN EL DISEÑO INDUSTRIAL

EVOLUTION AND USEFULNESS OF CNC MACHINING IN INDUSTRIAL DESIGN

Solís-Santamaría Santiago Isaac ¹; Solís-Santamaría Tannia Magally ²;
Lasluisa-Naranjo Héctor Geovanny ³; Albán-Andrade Efrén Damián ⁴

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Latacunga, Ecuador.
Correo: sisolis@espe.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5329-8339>

² Gobierno Autónomo Descentralizado Municipalidad de Ambato. Ambato, Ecuador.
Correo: tannita.90@hotmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5607-0161>

³ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Latacunga, Ecuador.
Correo: hglasluisa@espe.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7355-9137>

⁴ Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga, Ecuador.
Correo: efren.alban9514@utc.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7679-1740>

Resumen

Introducción. La tecnología CNC o mecanizado CNC, no surgió de la noche a la mañana, sino que es producto de un proceso de mejoras e inventivas en las maquinas herramientas existentes para el momento. Ahora bien para comprender con más claridad el proceso evolutivo de esta tecnología (CNC), se hace imperativo conocer no solamente las características de estas maquinas herramientas, sino, también su funcionamiento y mejoras en el tiempo. **Objetivo.** Analizar la evolución y utilidad del mecanizado CNC en el diseño industrial. **Metodología.** La metodología empleada en este trabajo es de carácter bibliográfico con un tipo de investigación documental. El desarrollo de la investigación tiene como fundamento la búsqueda de información con el propósito de encontrar algún procedimiento o las respuestas a alguna situación o problema planteado. La investigación tiene un esquema de desarrollo, por lo que la documentación fue encontrada en diversos sitios web por medio del buscador digital Google Academico. Para tal fin se utilizaron palabras u oraciones claves como: Torno, Mecanizado CNC, Fresadora, diseño industrial. **Resultados.** Describir conceptos importantes para este trabajo como: 1-Torno y Fresa. 2-Describir el mecanizado CNC en el diseño industrial. 3-Comparar las funciones del mecanizado manual con el mecanizado CNC en el diseño industrial. 4-Enumerar las ventajas y desventajas del mecanizado CNC. 5-Demostrar la utilidad o importancia del mecanizado CNC en el diseño industrial. **Conclusión.** El mecanizado CNC no es más que la automatización de las maquinas herramientas (torno, fresadora, rectificadora, etc.), la cual efectúa operaciones distintas y complejas de mecanizado mediante un control numérico por computadora (CNC). El mecanizado CNC es más eficiente y eficaz que el mecanizado convencional, ya que permite mecanizar mayor cantidad de piezas en el menor tiempo posible, lo cual contribuye al aumento de la producción en el diseño industrial.

Palabras clave: Torno, fresa, mecanizado, CNC, Diseño Industrial.

Abstract

Introduction. CNC technology or CNC machining did not emerge overnight, but is the product of a process of improvements and inventiveness in existing machine tools at the time. However, in order to understand more clearly the evolutionary process of this technology (CNC), it is imperative to know not only the characteristics of these machine tools, but also their operation

Información del manuscrito:

Fecha de recepción: 07 de noviembre de 2022.

Fecha de aceptación: 04 de enero de 2023.

Fecha de publicación: 10 de enero de 2023.



and improvements over time. Objective. Analyze the evolution and usefulness of CNC machining in industrial design. Methodology. The methodology used in this work is of a bibliographical nature with a type of documentary research. The development of the investigation is based on the search for information with the purpose of finding some procedure or the answers to any situation or problem raised. The research has a development scheme, so the documentation was found on various websites through the Google Scholar digital search engine. For this purpose, key words or sentences were used such as: Lathe, CNC machining, Milling machine, industrial design. Results. 1- Describe important concepts for this work such as: Lathe and Mill. 2-Describe CNC machining in industrial design. 3-Compare the functions of manual machining with CNC machining in industrial design. 4-List the advantages and disadvantages of CNC machining. 5-Demonstrate the usefulness or importance of CNC machining in industrial design. Conclusion. CNC machining is nothing more than the automation of machine tools (lathe, milling machine, grinding machine, etc.), which performs different and complex machining operations using computer numerical control (CNC). CNC machining is more efficient and effective than conventional machining, since it allows machining a greater number of parts in the shortest possible time, which contributes to increasing production in industrial design.

Keywords: Lathe, milling cutter, machining, CNC Industrial design.

1. Introducción

El crecimiento de la sociedad ha traído consigo un impacto significativo en el desarrollo tecnológico, siempre enmarcados fundamentalmente en cubrir sus necesidades básicas como: alimento, ropa, calzado, entre otros. Ese desarrollo tecnológico a su vez ha estado siempre acompañado de la inventiva y la curiosidad. Uno de los campos particularmente en lo que se ha visto un desarrollo considerable es en la industria metalmecánica, la cual adquiere cada vez más equipos de arranque por virutas (tornos, fresadoras, rectificadoras, etc.). Castro (2022) afirma, según un informe reciente presentado por la Asociación

Española de Fabricantes de Máquinas Herramientas (Cecimo), el mercado de estas concentra las tres cuartas parte de la producción mundial que supera los 50 billones de dólares, se destaca que el 60 por ciento de las ventas corresponde a la tecnología CNC, siendo los tornos los de mayor demanda.

Igualmente es interesante destacar que la tecnología CNC o mecanizado CNC, no surgió de la noche a la mañana, sino que es producto de un proceso de mejoras e inventivas en las máquinas herramientas existentes para el momento. Ahora bien, para comprender con más claridad el proceso evolutivo de esta tecnología (CNC), se hace imperativo conocer no solamente las

características de estas máquinas herramientas, sino, también su funcionamiento y mejoras en el tiempo. En este sentido, se dará a continuación un tratamiento especial al torno y la fresadora como máquina- herramienta, conociendo sus características y funcionamiento, así como también su utilidad en el mecanizado del diseño industrial. Debe señalarse que este mismo tratamiento es aplicable en el caso de la rectificadora.

El torno es una máquina diseñada para mecanizar metales y darles forma predeterminadas para uso de la industria, cuenta con un motor principal que va conectado a un husillo donde está montado un mandril o copa para la sujeción de los materiales a trabajar, este trabaja con los carros transversales y longitudinales. En el carro transversal va el porta herramienta, el cual es el que va desbastando el metal y va formando la pieza requerida, todo esto por movimientos mecánicos y por el operario (Rueda y Vilorio, 2020).

Por otra parte, una fresadora es una máquina herramienta diseñada para realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta, mediante el

movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte, denominada fresa. En la actualidad existen muchos tipos de tornos, a medidas que la ciencia y la tecnología fueron avanzando, los tornos lo fueron haciendo de igual manera, tal como se describe a continuación.

El torno fue evolucionando gradualmente, comenzando con el prototipo antiguo de torno manual. Con el paso de los años la industria metalmecánica ha experimentado un crecimiento vertiginoso a tal grado de implementarse nuevas técnicas de producción y surgiendo la creación del torno CNC y fresadora CNC (control numérico computarizado). Por lo tanto, esta investigación tiene como objetivo general analizar la evolución y utilidad del mecanizado CNC en el diseño industrial. La metodología utilizada es de carácter bibliográfico tipo documental.

2. Metodología

La investigación es de carácter bibliográfico con un tipo de investigación documental. El desarrollo de la investigación tiene

como fundamento la búsqueda de información con el propósito de encontrar algún procedimiento o las respuestas a alguna situación o problema planteado. No obstante, Hurtado de Barrera (2010) manifiesta que “el tema a investigar haya sido ampliamente desarrollado con anterioridad y cuente con argumentación epistémica, teorías, conceptos y métodos, pero en otros casos puede ocurrir que haya sido escasamente desarrollado y apenas encuentre algunos bosquejos conceptuales o descripciones de contexto (p.188). Para la presente investigación se tiene que las fuentes bibliográficas a utilizar están desarrolladas en función de brindar conceptos, características, ventajas y beneficios del mecanizado CNC en el diseño industrial.

Según Sánchez et al. (2018), la investigación documental, recoge información de fuentes documentales secundarias. Hace uso de libros, revistas de investigación, enciclopedias temáticas, documentos escritos, grabados o digitalizados, etc. De la misma manera, Muñoz (2015) plantea que la investigación documental se puede desarrollar en

dos etapas, Ordenada de acuerdo con el esquema de investigación planteado y quizá de conformidad con un capitulado inicial, aunque este puede ser modificado sobre la marcha y organizarla de conformidad con las variables involucradas, los objetivos de investigación y las hipótesis formuladas. (p.s/n)

La investigación tiene un esquema de desarrollo, por lo que la documentación fue encontrada en diversos sitios web por medio de los buscadores digitales como Google Académico y las plataformas de Scielo y Redalyc. Para tal fin se utilizaron palabras u oraciones claves como Torno, Mecanizado CNC, Fresadora, diseño industrial. Los resultados de la búsqueda arrojaron documentos como artículos científicos de revistas reconocidas en dicha plataforma y trabajos de grado de universidades de Suramérica.

Los objetivos de esta investigación se basaron en: 1- Definir algunos conceptos importantes, como: torno, fresadora, 2- Describir el mecanizado CNC en el diseño industrial, 3- Comparar las funciones del mecanizado manual con el mecanizado CNC en el diseño

industrial, 4- Enumerar las ventajas y desventajas del mecanizado CNC, 5- Demostrar la utilidad o importancia del mecanizado CNC en el diseño industrial.

3. Resultados y discusión

El torno es una máquina diseñada para mecanizar metales y darles forma predeterminadas para uso de la industria, cuenta con un motor principal que va conectado a un husillo donde está montado un mandril o copa para la sujeción de los materiales a trabajar, este trabaja con los carros transversales y longitudinales. En el carro transversal va el porta herramienta, el cual es el que va desbastando el metal y va formando la pieza requerida, todo esto por movimientos mecánicos y por el operario (Rueda y Vilorio, 2020, p. 18).

Por otra parte, una fresadora, es una máquina herramienta diseñada para realizar trabajos de mecanizado por arranque de viruta, mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte, denominada fresa. Debe señalarse, según Aguilar (2021), las

operaciones de fresado se pueden describir de la manera siguiente:

Planeado: Consiste en un corte plano a través de la superficie de la pieza. Elimina una capa de material, dando como resultado una superficie plana y lisa.

Cajado: Consiste en vaciar todo el material de un área o superficie delimitada.

Ranurado: Esta operación es parecida a la de cajado, solo se diferencia en que el Ranurado abarca más profundidad de corte y la superficie de corte es más estrecha.

Fresado de superficies: Para esta operación se utiliza una fresa de punta redonda, y está definida para fresar cualquier tipo de superficie compleja definida por el usuario (Aguilar, 2021, p. 42-44).

Estas herramientas antes mencionadas, han formado parte del diseño industrial a lo largo de los años. En el Inicio de la revolución industrial de 1770, los trabajadores operaban las máquinas manualmente, el vapor, la electricidad y los materiales avanzados fueron claves para mejorar el proceso de

automatización. En 1945 se inventó la computadora electrónica. En los años 50 se incorporó la computadora en una máquina herramienta para automatizarla, no transcurrió mucho tiempo para incorporar la computadora a la producción, en 1942, apareció el primer control numérico computarizado, por petición de la industria aeronáutica para mejorar y potenciar las hélices de los helicópteros de diferentes configuraciones (Tello, 2019, p. 56).

Un CN significa mando mediante números, con este sistema se consigue que las máquinas realicen su trabajo de forma automática, mediante la introducción en la memoria del CN de un programa en el que se encuentran definidas en clave todas las operaciones del proceso. Originalmente la denominación CN se aplicaba a todas las máquinas programables que no iban equipadas con computador. Con la miniaturización y abaratamiento de los microprocesadores, se ha podido generalizar su instalación en todas las máquinas de CN. A estas máquinas se les denomina CNC (Control Numérico Computarizado).

Debe señalarse, según Barrera (2018), existe una gran diferencia entre un sistema de control numérico computarizado y un sistema de control numérico. Si bien es cierto que ambos trabajan procesando codificaciones para la creación de una pieza, sin embargo existe una marcada diferencia en que los sistemas de controles usan funciones lógicas fijas las cuales no pueden ser modificadas una vez ingresadas en la unidad de control, mientras que los sistemas computarizados trabajan con microprocesadores y registros de memoria lo cual hace posible modificar libremente las funciones lógicas.

Por su parte, Castro (2022) plantea lo siguiente: Hablando del principio de funcionamiento y programación CNC, menciona en general, un sistema CNC tiene 3 componentes necesarios para su funcionamiento: el programa de la pieza a mecanizar, una unidad de control computarizado y el equipo de procesamiento. Siendo el programa de la pieza el conjunto de comandos ordenados y detallados que será leído por la unidad de control computarizado. Por otro lado, la unidad de control

computarizado es la encargada de leer los comandos del programa de la pieza y convertirlos en órdenes para

que el equipo de procesamiento realice las operaciones de mecanizado para transformar la pieza en bruto en una pieza terminada.

Actualmente la fabricación de máquinas de CNC ha ido creciendo debido a la reducción de los costos y a la simplificación de la programación. Ahora, las máquinas se programan directamente, en lugar de hacerlo a través de una cinta perforada como habitualmente se hacía antes de los noventa (Tello, 2019, p. 50).

La diferencia entre una maquina convencional y una maquina CNC es que la convencional los movimientos los realiza una persona u operador el cual realiza movimientos limitados porque solo puede moverse linealmente, a diferencia del CNC la cual los movimientos son controlados por una computadora permitiendo realizar movimientos lineales y circulares. La más sobresaliente característica de las maquinas CNC, es controlar en su

totalidad una máquina- herramienta desde un computador mediante un control numérico, haciendo mas fácil en su totalidad el trabajo a desempeñar. Este tipo de controladores CNC están basados en códigos G para la generación de trayectorias, y códigos M para generar las funciones especiales (Delgado, 2019, p. 36-37).

En relación a la idea anterior, Hollman et al. (2018), plantean que el sistema de codificación G está considerado por la industria como un estándar de lenguaje de control de máquinas herramientas, en la que existe un numero finito de comandos bases que están muy ligados a este lenguaje y dependen sobre todo del proveedor del software del controlador de la máquina herramienta.

Funciones del mecanizado convencional con el mecanizado CNC en el diseño industrial

Tello (2019) plantea la siguiente comparación que se muestra en la Tabla 1:

Tabla 1. Comparación entre una máquina herramienta convencional y una CNC.

Máquina herramienta convencional	Máquina herramienta CNC
✓ Un operario solo puede manejar una máquina.	✓ Un operario puede operar varias máquinas.
✓ Es necesario consultar constantemente el plano.	✓ No es necesario consultar varias veces el plano.
✓ Se necesita una amplia experiencia.	✓ No se requiere una amplia experiencia.
✓ El operador tiene el control de profundidad, avance, etc.	✓ El programa tiene el control de todos los parámetros de corte.
✓ Mecanizados imposibles de realizar.	✓ Posibilidad de realizar prácticamente cualquier mecanizado.

Fuente: (Tello, 2019)

Ventajas y desventajas del mecanizado CNC

Entre las ventajas del uso y aplicación del mecanizado CNC se menciona:

- Reduce la intervención del operador en la producción de piezas dejando al operador tiempo libre para hacer otras tareas, trayendo de esta forma beneficios como: reducción de fatiga para el operador, disminución de errores humanos, tiempo de maquinado consistente y predecible para cada pieza, se genera una gran productividad debido a que todas las operaciones se realizan en condiciones óptimas, reduciendo tiempos muerto.
- Exactitud y repetitividad de especificaciones: significa que

una vez elaborado y verificado el programa, puede reproducirse una, cien, mil... piezas con gran exactitud.

- Flexibilidad, lo que significa que elaborar piezas diferentes es más fácil, como estas máquinas se operan desde programas, al operar una pieza de trabajo diferente es tan fácil como cargar un programa diferente, por ejemplo una vez elaborado un programa se verifica y ejecuta para la primera producción, será fácil llamarlo nuevamente la siguiente vez que la pieza de trabajo se requiera hacer, únicamente cargando el programa.
- Permite la fabricación de piezas con superficies tridimensionales, como moldes para la inyección

de plástico y en construcciones aeronáuticas.

- Disminución de tiempos por maquina parada.
- Posibilidad de simulación de los procesos de corte antes de la mecanización definitiva. (Tello, 2019, p. 51-52).

Asimismo entre las desventajas del mecanizado CNC se tiene:

Desventajas del CNC

- Alto costo de la maquinaria.
- Falta alternativas en caso de fallas.
- La planificación del trabajo debe ser más detallada y rigurosa: Es necesario programar en forma correcta la selección de las herramientas de corte y la secuencia de operación para un eficiente funcionamiento.
- Los costos de mantenimiento aumentan, ya que el sistema de control es más complicado y surge la necesidad de entrenar a los futuros profesionales en estas máquinas herramientas. (Tello, 2019, p. 51-52).

Utilidad e importancia del mecanizado CNC en el diseño industrial.

Según Tello (2019) afirma que gracias a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada por no existir medios adecuados para su construcción industrial por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrilado y perforado, es lógico que se alcanzaría la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estarían agrupadas, se lograría una mayor eficacia aún si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Debido a la implementación de la automatización, las industrias tienen problemas y ciertas dificultades entre las que podemos mencionar:

- Cumplir cada vez con una mayor exigencia en la precisión.
- Desarrollar diseños cada vez más complejos.
- La fabricación de una gran diversidad de productos que hace necesario la tendencia de

estructuras de producción más flexibles.

- Cumplir con una mejor calidad y costos competitivos
- La formación de recursos humanos especializados es cada vez más demandada, así como con suficiente experiencia.
- Necesidad de reducir errores en la producción para no carecer el producto.
- Plazos de entrega cada vez más exigentes, lo que exige mantener los niveles de producción lo más altos posibles. El CNC tiene como finalidad ofrecer una alternativa más rápida y eficiente para diferentes procesos de manufactura, y en muchas ocasiones interactúa con otros procesos, por ejemplo: el taladrado de una pieza. (Tello, 2019, pp.49-52).

De lo anterior expuesto, se demuestra que el mecanizado CNC es de mucha utilidad en el proceso de mecanizado a la hora de fabricar un producto complejo en el menor tiempo posible.

Por otra parte, es imperativo mencionar en esta investigación algunos aportes científicos de autores en beneficio del desarrollo y

evolución del mecanizado CNC en la industria metalmecánica, así como en otros campos como la medicina, la agricultura, etc., que se describen a continuación:

Mandujano et al. (2022) presentan en su trabajo un diseño mecánico de una máquina herramienta de Control Numérico Computarizado (CNC) de 5 ejes para aprendizaje y uso en centros de maquinado. Afirman que en la actualidad, el uso de máquinas CNC en la industria se vuelve popular, y el uso de centros de maquinado de 5 ejes se encuentran en crecimiento por su capacidad de maquinar piezas de mayor calidad y complejidad; además de reducir los tiempos de maquinado.

Asimismo, Maldonado et al. (2022), realizaron un trabajo donde implementaron la filosofía del mantenimiento productivo total o TPM, para crear planes de mantenimiento en 15 máquinas del laboratorio de CNC y Metalmecánica de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial, además se estableció 1 ejercicio piloto de instrucciones de preparación, mediante la metodología de intercambio de útiles en menos de diez minutos, denominada SMED.

De la misma manera, Freyre (2022) presento una revisión de los últimos avances con respecto a la tecnología CAD/CAM y pudo constatar que esta tecnología supone numerosos beneficios con respecto al método tradicional. El ajuste es mayor con CAD/CAM, así como la percepción de bienestar y calidad de vida. Los sockets se han diseñado y fabricado con mayor rapidez y se han abaratado los costes, pudiendo ser más accesibles.

También, Ardila et al. (2022), en su estudio realizaron un análisis descriptivo de la influencia que tiene la profundidad de corte, la velocidad de avance y la velocidad del husillo sobre el consumo de energía y la rugosidad en dos centros de mecanizado, Haas UMC-750 y el centro Leadwell V-40iT®. Se desarrolló una experimentación con un diseño factorial tomando como factores fijos el material base, la herramienta de corte y la ruta de mecanizado. Los resultados obtenidos evidenciaron que al aumentar la velocidad de avance el consumo de energía puede disminuir hasta en un 50% para los centros de mecanizado estudiados sin influir en la calidad superficial. Además, se

evidenció la interacción entre los factores, identificando que la profundidad de corte posee una influencia moderada sobre la rugosidad o acabado superficial de las piezas. El consumo de energía varía para cada centro de mecanizado y el diseño experimental desarrollado ayudó a caracterizar la influencia de algunas variables de corte sobre el consumo de energía en cada centro de mecanizado.

Finalmente, Guananga (2020) en su trabajo de investigación combina el uso de métodos actuales de diseño asistido por computador en conjunto con el diseño y creación de interfaces de usuario, con el objetivo de proponer una solución de diseño y modelado automatizado de maquinaria de control numérico computarizado (CNC). Para ello, se estudian los procesos presentes en el diseño estructural de máquinas CNC de 3 ejes mediante el diseño y posterior análisis de dos prototipos que faciliten la identificación de las deficiencias presentes en los procesos actuales de diseño y modelado 3D. Partiendo de ello, se propone una solución software que permite automatizar el diseño y modelado de múltiples variantes de

la maquinaria en cuestión, de forma que la propuesta planteada tenga la capacidad de proveer soluciones ante múltiples necesidades de la industria en cuanto a maquinaria de mecanizado CNC en lugar de proveer una solución ante una sola necesidad específica, como sucede actualmente en los proyectos de prototipado descritos en la literatura.

4. Conclusiones

El torno y la fresadora son máquinas herramientas diseñadas para mecanizar metales y darles forma predeterminadas. Juegan un papel importante en la industria metalmeccánica.

El mecanizado CNC no es más que la automatización de las máquinas herramientas (torno, fresadora, rectificadora, etc), la cual efectúa operaciones distintas y complejas de mecanizado mediante un control numérico por computadora (CNC).

El mecanizado CNC es más eficiente y eficaz que el mecanizado convencional, ya que permite mecanizar mayor cantidad de piezas en el menor tiempo posible, lo cual contribuye al aumento de la

producción en el diseño industrial.

Bibliografía

- Aguilar, L. M. (2021). Configuración de parámetros, forma de uso y utilidad de la máquina fresadora CNC en la fabricación de aspas y moldes en madera, en el taller de máquinas y herramientas de la UPTC, Seccional Duitama. Trabajo pregrado, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Obtenido de <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8827>
- Ardila, M., Rudas, J., Núñez, E., Rodríguez, M., Ardila, J., Cardona, J., & Isaza, C. (2022). Estudio de consumos energéticos en los centros de mecanizado CNC Haas UMC-750 y Leadwell V-40iT®. INGENIERÍA Y COMPETITIVIDAD, 24(2). doi: 10.25100/iyc.v24i2.11377.
- Barrera, C. (2018). Prototipo de máquina CNC enfocada a impresión de circuitos electrónicos para los estudiantes de la facultad de ingeniería industrial. Trabajo de grado, Universidad de Guayaquil.
- Castro, M. (2022). Diseño y Estudio de Parámetros para la fabricación de un portaherramientas para torno

- CNC. Quito, Ecuador: Trabajo de grado, Escuela Politécnica Nacional.
- Delgado, J. (2019). Diseño y construcción de un prototipo de maquina Router CNC de 3 ejes para el mecanizado de piezas en madera modelado en 3D. Perú: Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Freyre, J. (2022). Fabricación de sockets protésicos por mecanizado CNC: una revisión del estado de la cuestión. Tesis de máster, Universidad Politécnica de Valencia.
- Guananga, B. G. (2020). Diseño y modelado automático asistido por computador para prototipado rápido de máquinas de mecanizado CNC de 3 ejes.
- Hollman, H., Zapata, D., & Filipuzzi, F. (2018). Desarrollo de sistema de control numérico computarizado. Córdoba, Argentina: IV Congreso Argentino de Ingeniería.
- Hurtado de Barrera, J. (2010). Metodología de la investigación; Guía para una comprensión holística de la ciencia, 4ta edición. Caracas, Venezuela: Quirón Ediciones.
- Maldonado, P., & Fuentes, J. (2022). Implementación de las metodologías TPM y SMED en los laboratorios CNC y de metalmecánica de la carrera de Ingeniería en Diseño Industrial. Quito, Ecuador: Trabajo de titulación modalidad Proyecto Integrador, previo a la obtención del título de Ingeniero en Diseño Industrial, UCE.
- Mandujano, Hernandez, J., Benitez, J., & Aguilera, M. A. (2022). Diseño de maquina CNC de cinco ejes. Padi Boletín Científico de Ciencias Básicas E Ingenierías Del ICBI, 10 (Especial6). doi: <http://doi.org/10.29057/icbi.v10iEspecial6.9278>.
- Muñoz, C. I. (2015). Metodología de la investigación. México, D.F.: Oxford University Press México, S.A. de C.V.
- Rueda, E., & Vilorio, R. (2020). Diseño y simulación de automatización de un torno convencional a CNC en la Universidad Antonio Nariño sede Puerto Colombia. Tesis de grado, Universidad Antonio Nariño.
- Sánchez, H., Reyes, C., & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma, Vicerrectorado de Investigación. Obtenido de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/1480>
- Tello, M. (2019). Centro Mecanizado CNC y el Proceso de

Formación Profesional de los estudiantes de Mecánica de Producción en la Facultad de Tecnología de la Universidad Nacional de Educación. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Educación [Enrique Guzmán y Valle]. Archivo digital. Obtenido de <http://repositorio.une.edu.pe/handle/20.500.14039/3117>