

Asimilación de la Tecnología Utilizada en la Manufactura Híbrida

Assimilation of Technology Used in Hybrid Manufacturing

Carlos Sánchez-López ^a
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de
Aguascalientes, México
carlos.sl@aguascalientes.tecnm.mx

Recibido: 19 agosto 2024
Aceptado: 10 febrero 2025

Alejandra Ibeth García-Castañón
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de
Aguascalientes, México

José de Jesús Martínez-Prieto
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de
Aguascalientes, México

Juan Gabriel Reyes-Ramírez
Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de
Aguascalientes, México

Resumen:

El principal objetivo del trabajo consistió en la asimilación e implementación de la tecnología subyacente en una máquina híbrida donde se incluyan los procesos de corte/grabado por control numérico computacional (CNC), corte/grabado láser, impresión 3D, y corte con cuchilla, acorde al proceso de fabricación en turno. Se estudió la integración de diversos componentes para la fabricación de la estructura electromecánica de una máquina de 5 ejes. Se usaron guías V-Slot, Motores a pasos NEMA 17, tornillos sinfín, bandas y poleas dentadas. Para el control electrónico se recurrió al uso de la plataforma Arduino Mega 2560. En complemento, para la selección del proceso de fabricación y su programación se emplearon los programas de cómputo Grbl Plotter y Grbl Gru. Como resultado se logra integrar la tecnología de los procesos individuales de estudio y obtener la configuración de una máquina de 5 ejes con las características adecuadas para implementar el concepto de máquina híbrida.

Palabras clave: Manufactura híbrida, Tecnología avanzada, Arduino, Grbl Plotter, Grbl Gru.

Abstract:

The main objective of the work was to assimilate and implement the underlying technology in a hybrid machine that includes the processes of computer numerical control (CNC) cutting/engraving, laser cutting/engraving, 3D printing, and blade cutting processes, tailored to the manufacturing process at hand. The integration of various electromechanical components was studied for fabricating the electromechanical structure of a 5-axis machine. V-Slot guides, NEMA 17 stepper motors, worm screws, timing belts and pulleys were employed. For electronic control, the Arduino Mega 2560 platform was utilized. Additionally, for process selection and programming, the software programs Grbl Plotter and Grbl Gru were utilized. The outcome was the configuration of a 5-axis machine, consisting of three linear and two rotational axes, with the appropriate characteristics to implement the hybrid machine concept.

Principio del formulario

Final del formulario

Keywords: Hybrid Manufacturing, Advanced Technology, Arduino, Grbl Plotter, Grbl Gru.

Introducción

Antecedentes. El desarrollo de esta propuesta se enmarca en las máquinas híbridas las cuales incorporan las ventajas de dos o más procesos de fabricación que pudieran ser del mismo tipo o de diferente naturaleza. Un

Notas de autor

Autor de contacto: carlos.sl@aguascalientes.tecnm.mx

ejemplo típico de máquina híbrida de procesos del mismo tipo es aquella en donde se combinan procesos de torneado con procesos de fresado, ambos procesos son de mecanizado o sustractivos. Las tendencias actuales en las máquinas híbridas se basan en aprovechar las ventajas que ofrecen procesos de diferente naturaleza por ejemplo la combinación de la manufactura sustractiva (MS) con la manufactura aditiva (MA) [1, 2, 3, 4, 5].

Existen muchos retos al combinar procesos de diferente naturaleza en una misma máquina, como son: La selección de velocidades, avances, temperaturas, desplazamientos; El control de las operaciones al intercambiar entre los tipos de procesos involucrados; Las diferencias entre las herramientas de trabajo, su uso y almacenamiento. Así como, estrategias de planeación y control [6, 7].

El objetivo principal consistió en asimilar la tecnología que se utiliza en el desarrollo y funcionamiento de las máquinas híbridas, aportando en solventar la necesidad de la academia y de la industria para explorar y comprender los beneficios y el potencial que proporciona el uso de la manufactura híbrida.

Se analizó la tecnología utilizada en los procesos de corte/grabado CNC, el corte/grabado láser, la impresión 3D, y el corte con cuchilla, identificando los requerimientos técnicos de cada proceso e las similitudes entre ellos como aspectos de convergencia para su integración en una sola máquina.

El proyecto se realizó durante el año 2023 en las instalaciones del TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, principalmente en el laboratorio de Ingeniería Mecánica y en el taller de manufactura del departamento de Metal-Mecánica. El desarrollo estuvo a cargo del cuerpo académico Manufactura Avanzada en la Automatización de Sistemas Sustentables, clave ITAGU-CA-12. Se conformaron tres equipos de trabajo: Uno enfocado al diseño, otro a la fabricación y el tercero al control.

Fundamentos teóricos

Los elementos teóricos que fundamentan el trabajo desarrollado residen en los procesos sustractivos, aditivos y de corte, principalmente el corte/grabado CNC, el corte/grabado láser, la impresión 3D, y el corte con cuchilla, considerados en trabajos previamente reportados [8, 9, 10]. Del mismo modo, se incluyen fundamentos del cambio automático de herramientas [11, 12, 13].

Las capacidades que ofrece la manufactura aditiva híbrida (MAH) están reescribiendo las reglas de diseño de los materiales y agregando una nueva dimensión en el paradigma del diseño para la fabricación aditiva. Como el interés en la MAH está en crecimiento, se necesitan nuevas herramientas económicas y de sostenibilidad, así como la detección de tecnologías que facilitan el procesamiento híbrido, resultando en un área emergente de investigación y desarrollo con rápido crecimiento. Existe una creciente necesidad de la academia y de la industria para comprender mejor y explorar los beneficios que puede proporcionar esta tecnología avanzada [14].

La implementación de las máquinas híbridas es relativamente nueva y hay una notable falta de conocimiento sobre las implicaciones que surgen de su uso en la práctica. Al combinar la MA con la MS, ayuda a superar la baja precisión y alta rugosidad relacionada con la MA, que en muchos de los casos las piezas fabricadas mediante MA presentan mala calidad superficial y acabado dimensional, requiriendo de post procesamientos, así como la producción de piezas complejas previamente inalcanzables [15, 16, 17].

Las directrices de diseño se enfocan en la manufactura, el ensamble, la reducción de riesgos, la sustentabilidad, la estandarización, la durabilidad, el reciclaje, el mantenimiento, los materiales, los costos mínimos, entre otros. Se ha identificado que el desarrollo de herramientas, teorías, métodos, y procesos pueden compilarse en el sector educativo y ponerlos a disposición del sector industrial [18, 19].

Aplicando los principios de los sistemas de fabricación reconfigurables (RMS), a saber, modularidad, escalabilidad, integrabilidad, convertibilidad, diagnosticabilidad y personalización, es factible diseñar una máquina en la que puede modificarse su configuración. El diseño puede ser una respuesta a empresas pequeñas o medianas sustituyendo dos o más máquinas por una que incluya varios procesos de fabricación [20].

El desarrollo del trabajo también se fundamenta en los sistemas mecatrónicos y la especificación de trayectorias tridimensionales en el uso de alguna herramienta de trabajo o de medición, con el potencial de adaptar dos o más procesos de fabricación en una sola máquina herramienta [21, 22].

Materiales y métodos

Materiales y métodos

La investigación se realizó en tres etapas desarrolladas simultáneamente e identificadas como *estructura y sistema mecánico*, *sistema electrónico y de control*, y *sistema de programación*.

Estructura y sistema mecánico. Se estudiaron a partir de los procesos de corte/grabado CNC, Impresión 3D, corte/Grabado láser, y el proceso de corte con cuchilla, a través de las máquinas que se observan en la Figura 1, la máquina de control numérico CNC 3018, el centro de mecanizado vertical (CMV) XH714 Fanuc OiMate-MD, la impresora de filamento Raise3D Pro2 Plus, el equipo para corte/grabado STM Robotics láser CO2, y un Plotter de corte STM Robotics.

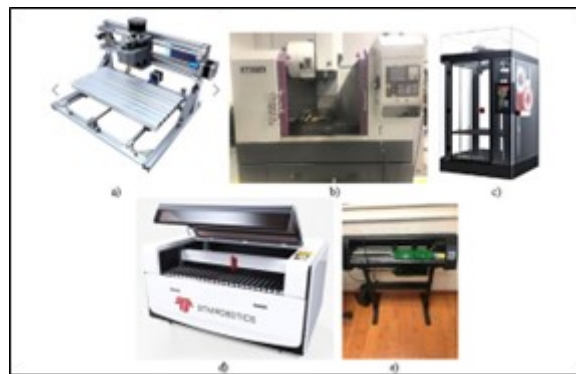


FIGURA 1.

Equipos analizados a) CNC 3018, b) CMV XH714, c) Rise3D Pro2 Plus, d) STM Robotics Láser CO2, e) Plotter de corte STM Robotics.

Fuente: propia.

Se analizó la cinemática y la dinámica de cada máquina, las operaciones factibles de realizar, el diseño y funcionamiento del almacén de herramientas. Para cada proceso se analizaron las características geométricas y físicas de las herramientas factibles de utilizar, su forma de sujeción para su uso, los procedimientos para su carga/descarga del área de trabajo y del almacén de herramientas. Se examinaron sistemas de cambio automático de herramienta en máquinas herramienta disponibles en el Instituto Tecnológico de Aguascalientes, lo anterior con la finalidad de caracterizar la tecnología involucrada, su funcionamiento, alcances de aplicación y requerimientos de uso, así como, su integración en una Máquina Híbrida. Se evaluó la similitud de la estructura mecánica y diversos elementos como el uso de guías lineales, motores a pasos o servomotores, tornillos sin fin, bandas y poleas dentadas, elementos de sujeción.

Sistema electrónico y de control. Al analizar los equipos previamente seleccionados se reconoció que la máquina CNC 3018 utiliza una placa propia de la empresa que la produce y está basada en la plataforma Arduino Uno (Figura 2 a)), el CNC Shield para Arduino, drivers A4988, fuente de alimentación, motores paso a paso NEMA 17, tornillos sin fin y una estructura de aluminio extruido. EL CMV XH714 hace uso de la unidad Fanuc Oi Mate-MD (Figura 2 b)). Por otra parte, la impresora Raise3D Pro2 Plus utiliza una tarjeta de control Atmel ARM Cortex M7.400 MHZ FPU, NXP i.MX6, Quad core 1 GHz (Figura 2c)) y es similar a la plataforma Arduino, los desplazamientos se control mediante programación y también emplea motores a pasos NEMA 17.

Así mismo, STM Robotics láser CO2 utiliza una plataforma de la empresa STM Robotics basada en una variante de Arduino (Figura 2d)), los desplazamientos se controlan mediante programación y utiliza motores NEMA 23, guías lineales y sistemas de bandas y poleas dentadas. Del mismo modo, en el Plotter de corte STM Robotics se utiliza su propia placa similar a la de Arduino Uno, guía lineal y motores NEMA 17.

Sistema de programación. En el CNC 3018 la programación se puede realizar mediante el control numérico (NC) o a través de la técnica de vectorización. Los programas de las piezas a cortar y/o grabar se pueden procesar en diversos programas tales como Universal Gcode Sender, Grbl Controller, Laser Web, Laser Grbl, Grbl control Candle, Grbl Plotter, Grbl Gru, todos estos de dominio público. EL CMV XH714 hace uso de la unidad Fanuc Oi Mate-MD, por consiguiente, se programa mediante NC ya sea de forma manual directamente en la unidad de control numérico o mediante algún software como Winunisoft, SSCNC Simulator, o a través de algún sistema CAD/CAM, por ejemplo, Fusión 360, MasterCAM, SolidWorks CAM.

Por otra parte, en la impresora Raise3D Pro2 Plus la programación se realiza a través de vectorización mediante cualquier software que genere archivos con extensión *.stl, *.obj, *.3mf, o de tipo imagen como *.jpg, entre otros, como Inkscape, Fusión 360, SolidWorks, AutoCAD. Esta impresora requiere preprocesar el archivo de la pieza para generar el código G, para lo cual se utiliza el software IdeaMaker, propio de la empresa Raise3D. En lo concerniente al equipo de corte/grabado láser de STM Robotics, la programación se realiza mediante vectorización pudiendo utilizar cualquier software que genere imagen vectorizada y archivos con extensión *.dxf o de tipo imagen como *.jpg, el archivo del diseño se preprocesa con el software RD Works. Así mismo, en el Plotter de corte los diseños se preparan mediante vectorización y se preprocesan con el software Flexi, como resultado de lo anterior se propone utilizar el software Grbl Gru [23].



FIGURA 2
Placas de control analizadas a) CNC 3018, b) CMV XH714,
c) Impresora Rise3D y Plotter de corte, d) Láser CO2.

Fuente: propia.

Resultados y discusión

Según se muestra en la Tabla 1, se identificó la similitud en la *estructura mecánica* que existe entre los procesos de corte/grabado CNC, el corte/grabado láser, la impresión 3D (MA) y el corte con cuchilla, resumiéndose en una cinemática de 3 grados de libertad (3GDL), uso de guías lineales, coples flexibles, tornillos sinfín, bandas y poleas, cinemática aplicable en la manufactura híbrida, similar a lo reportado en [21, 22, 24].

Con referencia en el *sistema de control* se parte del hecho de que cada equipo tiene su propia tarjeta o placa de control [6, 7]. Sin embargo, dichas placas de diferentes fabricantes tienen una gran similitud y convergen en un funcionamiento equivalente al de la placa Arduino. Un parámetro muy importante por considerar es

el tipo de drivers y su calibración para el correcto funcionamiento de los motores a utilizar, como se aplicó en [21, 22].

En el Shield CNC de Arduino se utilizan los drivers A4988 o el DVR8825 y son los mismos utilizados en la placa del CNC 3018, en la impresora Rised3D y en el Plotter de corte de cuchilla STM Robotics, mientras que en el equipo de láser CO₂ de STM Robotics se utilizan drivers 3ND583. En cualquiera de ellos debe calibrarse el voltaje o la corriente para su mejor desempeño. Al asimilar la tecnología que implica el control de los equipos en estudio se identificó que cualquiera de ellas se puede controlar con una placa Arduino Uno, Arduino DUE o Arduino Mega 2560, un Shield CNC y drivers A4988, previamente validados en [21, 22]. La ventaja de estos componentes es que existe mucha información para su asimilación, conexión, calibración, programación e implementación en sistemas de uno hasta seis grados de libertad.

TABLA 1
 Similitudes mecánicas en los equipos analizados. Desplazamiento angular: A (alrededor del eje X). Desplazamiento lineal: X, Y, Z.

Equipo	Desplazamiento de la herramienta	Ajuste de la herramienta	Encendido/Apagado de la herramienta	Cambio de la herramienta	Actuadores
Corte/grabado CNC	X, Y	Z	Manual	Manual	NEMA 17
CMV XH714	X, Y	Z	Programación	Programación	Servomotores
Rise3D Pro2 Plus	X, Y	Z	Programación	Programación	NEMA 17
Láser CO ₂	X, Y	Z	Programación	Manual	NEMA 23
Corte con cuchilla	X, A	Z	Programación	Manual	NEMA 17

Fuente: propia.

Se construyó el prototipo de una máquina que permite implementar el concepto de la manufactura híbrida en donde se validó la posibilidad de configurar al menos los procesos de corte/grabado CNC, el corte/grabado láser, el corte con cuchilla y la impresión 3D en la misma máquina (Figura 3) ampliando la cobertura de procesos reportada en [8, 9, 12, 13]. Se ensambló y validó el sistema de control utilizando la placa Arduino Mega 2560, un Shield CNC y drivers A4988 (Figura 4), pudiéndose controlar cinco ejes y un motor adicional para un extrusor. En la Tabla 2 se comparten las direcciones electrónicas donde se encuentra información de algunos componentes utilizados para validar la asimilación de tecnología bajo estudio.

En el *sistema de programación*, para el proceso de corte/grabado CNC los archivos pueden generarse en alguna de las extensiones *.cnc, *.nc, *.tap, *.din, *.txt. En el corte/grabado láser se utilizan archivos de código G (GCODE), imágenes de mapas de bits (raster image), imágenes vectorizadas y archivos con extensión *.cnc, *.nc. En la manufactura aditiva se trabaja con archivos *.stl, *.3mf, *.obj, *.olpt, *.jpg, *.jpeg, *.png, *.bmp, *.tga, *.tiff y en el corte con cuchilla se recurre al uso de archivos *.jpg, *.jpeg, *.png, *.bmp, *.tga, *.tiff.

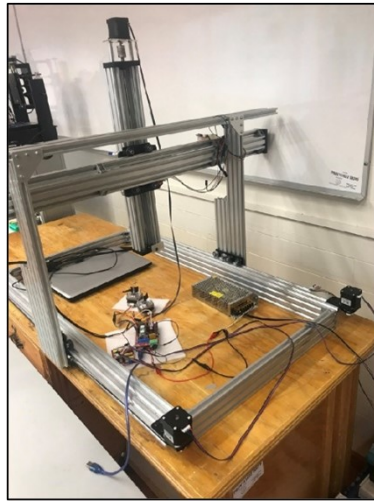


FIGURA 3
Prototipo para la validación del control de cinco ejes
Fuente: propia.

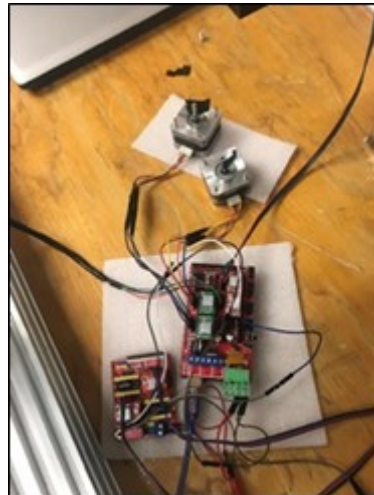


FIGURA 4
Placa Arduino Mega 2056, Shield CNC y drivers A4988
Fuente: propia

En lo concerniente a la ejecución de los archivos con el código G se implementó y validó el uso de los programas Grbl Plotter, Grbl Gru y Universal Gcode Sender, con los cuales se pudo ejecutar códigos G para cualquiera de los procesos citados en este trabajo, incrementando la aplicación reportada en [21, 22, 23]. Para la obtención del diseño se validó el uso de AutoCAD, SolidWorks, Inkscape y archivos con extensión *.jpg, así como diseños precargados en los softwares Grbl Plotter, Grbl Gru [23].

Como resultados adicionales, el trabajo desarrollado permitió la integración de profesores y alumnos del programa educativo de ingeniería mecánica, aportando en la formación de recursos humanos en actividades de investigación en el desarrollo y la asimilación de tecnología de manufactura avanzada.

TABLA 2
Fuentes de información para la implementación de la tecnología asimilada.

Componente	Dirección electrónica
Arduino	Arduino - Home
Arduino Mega 2560	Mega 2560 Rev3 Arduino Documentation
Shield CNC	Using an Arduino CNC Shield V3 • AranaCorp
Drivers A4988	A4988 Datasheet(PDF) - Allegro MicroSystems (alldatasheet.com)
Motor a pasos NEMA 17	Nema 17: todo sobre el motor paso a paso compatible con Arduino (hwlibre.com)
Componentes para construir un CNC	Build List OpenBuilds
Grbl-Plotter	Welcome to GRBL-Plotter < GRBL-Plotter GitHub - svenhb/GRBL-Plotter: A GCode sender (not only for lasers or plotters) for up to two GRBL controller. SVG, DXF, HPGL import. 6 axis DRO.
Grbl Gru	Free CAM application (grblgru.com)

Fuente: propia.

Conclusiones

La cinemática de los equipos utilizados en diversos procesos de manufactura convencional presenta una elevada similitud tanto en elementos mecánicos como de control y programación. Al incorporar las funciones de dos o más máquinas convencionales en una máquina híbrida se tiene como ventaja principal la flexibilidad en el cambio del proceso de fabricación, reflejándose en la reducción de tiempos en lotes pequeños y en trabajos de prototipado, impactando en la reducción de costos.

Los aspectos relevantes de la investigación se concentran en el conocimiento adquirido de los requerimientos básicos mecánicos, de control y de programación.

Adicionalmente, aún y cuando existen diferentes placas de control, actuadores y drivers, los resultados de la investigación permitieron ubicar una gran diversidad de fuentes de información que facilitan la comprensión del funcionamiento y la programación de placas de control, actuadores y drivers, suficientes para implementar el control en una máquina híbrida de bajo costo.

En lo concerniente a la programación, la investigación permitió obtener el software Grbl Gru cuyas funciones permiten utilizarlo en la programación para la fabricación de alguna pieza en cualquiera de los procesos de fabricación bajo estudio. Lo relevante del programa adicional a su flexibilidad es el hecho de ser un programa de uso libre.

En resumen, los resultados obtenidos en el avance de la implementación permitieron validar el conocimiento adquirido en lo concerniente a la cinemática para 3GDL, así como el control y su programación, sentando las bases del conocimiento para la fabricación de una máquina híbrida.

A la fecha en la literatura reportada existen aplicaciones de 5GDL en máquinas híbridas que involucran los procesos de mecanizado CNC y la impresión 3D. Como trabajo a futuro, se planea fabricar el prototipo de una máquina híbrida de 5GDL que incorpore al menos cuatro procesos de fabricación y la posible implementación del cambio automático de herramientas.

Agradecimientos

Se agradece al Tecnológico Nacional de México (TecNM) a través del apoyo brindado al desarrollo del proyecto “Asimilación de la tecnología empleada en el funcionamiento y uso de máquinas híbridas en manufactura sustentable, M00-PR-03-R02, proyecto 18044.

Referencias

- [1] Zhu, Z., Dhokia, V.G., Nassehi, A., and Newman, S.T. (2013), A review of hybrid manufacturing processes state of the art and future perspectives, *Int. J. Comput. Integrated Manuf.* 26 (7) 596e615, <https://doi.org/10.1080/0951192X.2012.749530>.
- [2] Lauwers, B., Klocke, F., Klink, A., Tekkaya, A.E., Neugebauer, R., and McIntosh, D., (2014), Hybrid processes in manufacturing, *CIRP Ann.* 63 (2) 561e583, <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2014.05.003>.
- [3] Xiong, X., Zhang, H., and Wang, G., (2010), Hybrid plasma deposition and milling for an aeroengine double helix integral impeller made of superalloy, *Robot. Comput. Integrated Manuf.* 26 (4) 291e295, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2009.10.002>.
- [4] Kapil, S., Legesse, F., Kulkarni, P., Joshi, P., Desai, A., and Karunakaran, K.P., (2016), Hybridlayered manufacturing using tungsten inert gas cladding, *Prog. Addit. Manufact.* 1 79e91, <https://doi.org/10.1007/s40964-016-0005-8>.
- [5] Song, Y., Park, S., Choi, D., and Jee, H., (2005), 3D welding and milling: Part I-a direct approach for freeform fabrication of metallic prototypes, *Int. J. Mach. Tool Manufact.* 45 (9) 1057e1062, <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2004.11.021>.
- [6] Klocke F., Roderburg A., and Zeppenfeld Ch., (2011), Design methodology for hybrid production processes, *RWTH Aachen University, Laboratory for Machine Tools and Production Engineering WZL, 52074, Aachen, Germany* *Procedia Engineering* 9 417–430. doi:10.1016/j.proeng.2011.03.130
- [7] Cortina, M., Ruiz, J.E., Villarón, I., Arrizubieta, J.I., Borgiattino, H., Dünky, A., Martínez, J., y Baine, S., (2019), Máquinas híbridas, integrando procesos. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/243483-Maquinas-hibridas-integrando-procesos.html>
- [8] Tovar, E., (2018), Máquina híbrida combina manufactura aditiva láser con procesos sustractivos. *Modern Machine Shop México*. <https://www.mms-mexico.com/productos/mquina-h%C3%ADbrida-combina-manufactura-aditiva-lser-con-procesos-sustractivos->

- [9] Gentile, A., (2018), La fabricación híbrida combina la impresión 3D y el mecanizado CNC. Protolabs Manufacturing Accelerated. <https://www.protolabs.es/recursos/blog/la-fabricacion-hibrida-combina-la-impresion-3d-y-el-mecanizado-cnc/>
- [10] Lorenz, K.A., Jones, J.B., Wimpenny, D.I., and Jackson, M.R., (2015), Review of Hybrid Manufacturing. Corpus ID: 125084615.
- [11] Jones, J.B., Mcnutt, P., Tosi, R., Perry, C. and Wimpenny, D.I., (2012), Remanufacture of turbine blades by laser cladding, machining and in-process scanning in a single machine, 23rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, TX, USA. University of Texas, pp. 821-827.
- [12] Yamazaki, T., (2016), Development of A Hybrid Multi-tasking Machine Tool: Integration of Additive Manufacturing Technology with CNC Machining, *Procedia CIRP* 42 81 – 86, doi: 10.1016/j.procir.2016.02.193.
- [13] Amanullah, A.N.M., Murshiduzzaman, Saleh, T., and Khan, R., (2017), Design and Development of a Hybrid Machine combining Rapid Prototyping and CNC Milling Operation, *Procedia Engineering* 184, 163 – 170 <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.081>
- [14] Sealy, M. P., Madireddy, G., Williams, R. E., Rao, P., and Toursangsaraki, M., (2018), Hybrid processes in additive manufacturing. *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME*, 140(6), [060801]. <https://doi.org/10.1115/1.4038644>.
- [15] Cortina, M., Arrizubieta, J.I., Ruiz, J.E., Ukar, E., and Lamikiz, A., (2018), Latest Developments in Industrial Hybrid Machine Tools that Combine Additive and Subtractive Operations. *Materials*, 11(12):2583. <https://doi.org/10.3390/ma11122583>.
- [16] Cococetta, N., Jahan, M.P., Schoop, J., Ma, J., Pearl, D., and Hassan, M., (2021), Post-processing of 3D printed thermoplastic CFRP composites using cryogenic machining. *Journal of Manufacturing Processes*, 68, 332-346. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.05.054>.
- [17] Speidel, A., Sélo, R., Bisterov, I., Smith, J.M., and Clare, A.T., (2021), Post processing of additively manufactured parts using electrochemical jet machining, *Materials Letters*, 292, 129671. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2021.129671>.
- [18] Alfaify, A., Saleh, M., Abdullah, F.M., and Ali-Ahmari, A.M., (2020), Design for Additive Manufacturing a Systematic Review. *Sustainability*, 12, 7936. Doi:10.3390/su12197936.
- [19] Alghamdi, S.S., Sabu, J., Choudhury, N.R., and Dutta, N.K., (2021), Additive manufacturing of polymer materials: Progress, Promise and Challenges, *Polimers*, 13, 753. <https://doi.org/10.3390/polym13050753>.
- [20] Sibanda, V., Mpofu, K., and Trimble, J., (2021), Methodology for the design of a reconfigurable guillotine shear and bending press machine (RGS & BMP), *Journal of Engineering, Design and Technology*, 19, 6, 1317 – 1343. DOI 10.1108/JEDT-06-2020-0254.
- [21] Sánchez López C., Reyes Ramírez J.G., Martínez Prieto J.J., Ribera Barbosa A., y Meza de Luna A., (2018), Dispositivo multiproceso de configuración tipo cartesiano, Reporte del prototipo. Departamento de Ingeniería Metal-Mecánica, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Aguascalientes, Fortalecimiento a Cuerpos Académicos PRODEP.
- [22] Sánchez López C., Reyes Ramírez J.G., Martínez Prieto J.J., y Ribera Barbosa A., (2018), Dispositivo multiproceso de configuración tipo SCARA, Reporte del prototipo. Departamento de Ingeniería Metal-Mecánica, Tecnológico Nacional de México/I.T. de Aguascalientes, Fortalecimiento a Cuerpos Académicos PRODEP.
- [23] www.grblgru.com, FreeCAM and 3D-Simulation for mills and lathes.
- [24] Dejan, “DIY Pen Plotter with Automatic Tool Changer | Arduino based CNC Drawing Machine. <https://howtomechatronics.com> (consultado: 08,17,2023)



Disponible en:

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94482151001>

Cómo citar el artículo

Número completo

Más información del artículo

Página de la revista en redalyc.org

Sistema de Información Científica Redalyc
Red de revistas científicas de Acceso Abierto diamante
Infraestructura abierta no comercial propiedad de la
academia

Carlos Sánchez-López, Alejandra Ibeth García-Castañón,
José de Jesús Martínez-Prieto, Juan Gabriel Reyes-Ramírez
**Asimilación de la Tecnología Utilizada en la Manufactura
Híbrida**
Assimilation of Technology Used in Hybrid Manufacturing

Conciencia Tecnológica
núm. 68, p. 1 - 9, 2024
Instituto Tecnológico de Aguascalientes,
ISSN: 1405-5597