



## VI SIMPOSIO DE DISEÑO E INGENIERÍA ASISTIDA POR COMPUTADORA, BIOMECÁNICA Y MECATRÓNICA.

**Propuesta de Plan de Mantenimiento Preventivo para el Laboratorio de Fabricación Digital de la Escuela de tecnología de la Universidad Estadual de Amazona**

*Proposal for a Mechanical Preventive Maintenance Plan for the Digital Fabrication Laboratory of the Technology School of the State University of Amazonas.*

**Autores: Dr João Evangelista Neto<sup>1</sup>; Ing. Lídia Carolina<sup>2</sup>; Dr Edry Antonio Garcia Cisneros<sup>3</sup>; Dr Rafael Barreda<sup>4</sup>, Dr Daniel Guzman del Río<sup>5</sup>.**

- 1- João Evangelista Neto. Universidade do Estado do Amazonas, Brasil. Email: jneto@uea.edu.br
- 2- Lídia Carolina Azevedo. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: lcas.eng@uea.edu.br
- 3- Edry Antonio Garcia Cisneros. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: ecisneros@uea.edu.br
- 4- Eduardo Rafael Barreda. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: ecampo@uea.edu.br
- 5- Daniel Guzman del Río. Universidad del Estado de Amazonas, Brasil. E-mail: dguzman210@gmail.com

### **Resumen**

Entre los beneficios del mantenimiento preventivo se encuentra la reducción de los tiempos de inactividad de las máquinas durante períodos no planificados, lo que provoca un aumento de los costos de producción, un aumento de los costos de mantenimiento e inquietud del equipo (VIANA, 2002). Por otro lado, para ejecutar un plan de mantenimiento preventivo es necesario planificar la compra y consumo de materiales y repuestos, así como detener la producción para realizar actividades programadas y determinar intervalos de tiempo, lo que muchas veces no es revelado por los fabricantes de máquinas y equipos. Además, a la hora de elaborar un plan de mantenimiento se deben tener en cuenta las condiciones ambientales y operativas en las que se encuentra el equipo. Este trabajo trata del desarrollo de un Plan de Mantenimiento Preventivo Mecánico para tres equipos: Mini CNC, máquina de corte láser y máquina de impresión 3D. El objetivo



del estudio es realizar un levantamiento referencial de los estudios más recientes sobre el tema, identificar los principales indicadores aplicados al mantenimiento preventivo y crear un sistema de planificación y control del mantenimiento para incrementar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos. El plan de mantenimiento propuesto tiene como objetivo permitir a los estudiantes del Laboratorio de Prototipos Digitales (EST/UEA) de la institución controlar y planificar sistemáticamente el mantenimiento de los equipos mencionados. El trabajo espera ayudar a mejorar la eficiencia de las operaciones y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos.

**Palabras-clave:** Planificación del Mantenimiento, Indicadores de Mantenimiento, Mantenimiento Preventivo.

### **Abstract**

Among the benefits of preventive maintenance is a reduction in machine downtime during unplanned periods, causing an increase in production costs, an increase in maintenance costs and staff unrest (VIANA, 2002). On the other hand, in order to carry out a preventive maintenance plan, it is necessary to anticipate the purchase and consumption of materials and parts, as well as stopping production to carry out the programmed activities and determining time intervals, which is often not disclosed by the manufacturers of the machines and equipment. In addition, when drawing up a maintenance plan, the environmental and operational conditions in which the equipment is located must be taken into account. This work deals with the development of a Mechanical Preventive Maintenance Plan for three pieces of equipment: Mini CNC, Laser Cutting Machine and 3D Printing Machine. The aim of the study is to carry out a reference survey of the most recent studies on the subject, identify the main indicators applied to preventive maintenance and create a maintenance planning and control system to increase the availability and reliability of the equipment. The proposed maintenance plan aims to enable students at the institution's Digital Prototyping Laboratory (EST/UEA) to systematically control and plan the maintenance of the aforementioned equipment. The work hopes to help improve the efficiency of operations and ensure the smooth running of the equipment.

**Keywords:** Maintenance Plan, Maintenance Indicators, Preventive Maintenance.



## **1. Introducción**

Cuando se trata de mantenimiento de equipos, el método más costoso es el mantenimiento correctivo. Sin embargo, este sigue siendo el método más utilizado en algunos entornos como los laboratorios. Esta es la realidad actual en el Laboratorio de Fabricación Digital ubicado en la Escuela de Tecnología de la Universidad Estatal de Amazonas (EST-UEA). Con el objetivo de formar tecnológicamente a la comunidad académica ofreciendo una oferta de cursos gratuitos y fomentar la creación de startups a través de programas de acompañamiento y mentoría técnica y tecnológica. El Laboratorio de Fabricación Digital capacita a decenas de ciudadanos cada mes, ya sean estudiantes universitarios, investigadores, emprendedores o profesionales del mercado tecnológico que buscan una formación asequible. Como el Laboratorio de Fabricación Digital está ubicado dentro de un entorno universitario, ofrece una variedad de cursos de tecnología, incluidos tecnólogos, licenciaturas, posgrados e incluso maestrías, da la bienvenida a estudiantes con distintos niveles de conocimiento y experiencia en fabricación.

En el día a día del Laboratorio de Fabricación Digital, el uso y operación de las máquinas y equipos está restringido a estudiantes becarios e investigadores acreditados. Sin embargo, esta restricción no implica que los operadores tengan experiencia o conocimiento de todas las áreas necesarias para la correcta operación y mantenimiento de las máquinas y equipos, que pueden causar daños de todos los niveles de complejidad e incluso comprometer la seguridad de los estudiantes.

Debido a que tiene un presupuesto limitado y necesita aprobaciones de varios sectores para adquirir nuevos materiales y piezas, es de suma importancia que los responsables del Laboratorio sepan operar con bajos costos, alta productividad y alta previsibilidad de mantenimiento de máquinas y equipos. De lo contrario, existe el riesgo de que no sea posible satisfacer las demandas específicas de la investigación interna. Esto también pondría en peligro el apoyo brindado a las startups impulsadas por Samsung, causando daños tanto a la comunidad científica de la Universidad como al desarrollo tecnológico brasileño.

Actualmente, las máquinas y equipos disponibles en el Laboratorio de Fabricación Digital están sujetos al método de mantenimiento más antiguo: el mantenimiento correctivo (o sistema break-fix debido a que no existe un Plan de Mantenimiento Preventivo. Por lo tanto, a partir de este problema, se propuso desarrollar un plan de mantenimiento



mecánico detallado, a los equipos principales y más utilizados del Laboratorio de Fabricación Digital ubicado en EST-UEA.

## **2. Metodología**

Hoy, en Brasil, la definición de mantenimiento dada por la NBR 5462:1994 es el conjunto de acciones técnicas, administrativas y de supervisión que tienen como objetivo mantener o devolver un elemento a un estado en el que pueda realizar la función requerida (ABNT, 1994). En otras palabras, el mantenimiento es una forma de alargar al máximo la vida útil de las máquinas y equipos. Con un mantenimiento planificado se puede reducir el número de intervenciones urgentes y paradas de los equipos, lo que reduce los costes de mantenimiento y aumenta la productividad del sector.

El mantenimiento mecánico es el conjunto de actividades planificadas y ejecutadas sobre equipos y sistemas mecánicos para preservar su integridad, extender su vida útil y asegurar su disponibilidad operativa (KARDEC; NASCIF, 2019).

El mantenimiento mecánico puede tener varios objetivos según la situación. Entre los principales se encuentran: Incrementar la vida útil de los equipos; reducir los costos de reparación; evitar paradas no programadas y suspensiones de operaciones y garantizar la seguridad del operador. En resumen, el mantenimiento preventivo es responsable de aumentar la confiabilidad de los equipos, la seguridad del operador y la eficiencia del proceso productivo.

Hay varias formas diferentes de clasificar los tipos de mantenimiento. Sin embargo, varios autores se ciñen a tres tipos, que son considerados los principales para el mantenimiento de máquinas y equipos en las industrias: mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo. (FONSECA, 2011); (SILVA, 2016); (FARIA, 2018).

La definición de mantenimiento correctivo, según la NBR 5462/1994 (Confiabilidad y Mantenibilidad), es "el mantenimiento realizado después de la ocurrencia de una avería con el objetivo de devolver un elemento a condiciones para realizar una función requerida" (ABNT, 1994).

Este tipo de mantenimiento incluye acciones e intervenciones realizadas después de la ocurrencia de fallas, ya sean potenciales o funcionales. Es decir, la intervención en la máquina o equipo sólo se produce tras la ocurrencia de una falla imprevista y mucho



menos planificada, y sigue siendo el tipo de mantenimiento más utilizado en el sector industrial (FONSECA, 2011).

Como este tipo de mantenimiento se aplica después de que ha ocurrido una falla, se debe realizar lo más rápido posible para evitar reducir la productividad de la industria. (FONSECA, 2011)

El mantenimiento predictivo se define como "el mantenimiento que asegura una calidad de servicio deseada, basado en la aplicación sistemática de técnicas analíticas, utilizando medios de supervisión centralizada o muestreo, para reducir al mínimo el mantenimiento preventivo y el mantenimiento correctivo" (ABNT, 1994).

Si bien esto representa un gran avance para la industria global, requiere de un costo inicial de equipos para realizar este tipo de mantenimiento, ya que se puede realizar a través de pruebas de ultrasonido, análisis de vibraciones mecánicas, análisis de aceite lubricante y termografía, entre otros de similar. complejidad (VIANA, 2002).

Según la NBR 5462/1994 (Confiabilidad y Mantenibilidad), el mantenimiento preventivo es "el mantenimiento realizado a intervalos predeterminados, o de acuerdo con criterios prescritos, destinados a reducir la probabilidad de falla o degradación del funcionamiento de un elemento" (ABNT, 1994).

En otras palabras, el mantenimiento preventivo es cualquier servicio de mantenimiento cuyo objetivo es evitar o reducir fallas o caídas en el desempeño a través de un método sistemático, luego de intervenciones planificadas en intervalos de tiempo predeterminados, con el fin de anticipar fallas o averías operativas (FARIA, 2018).

Entre los beneficios del mantenimiento preventivo se encuentra la reducción de los tiempos de inactividad de las máquinas durante períodos no planificados, lo que provoca un aumento de los costos de producción; un aumento de los costes de mantenimiento y la inquietud del equipo (VIANA, 2002).

Realizar la gestión del mantenimiento es un proceso de mejora para la industria que trae las siguientes ventajas: aumentar la vida útil de las máquinas y equipos; control de existencias para no perjudicar la producción en caso de necesidad de reposición; control de gastos e inversiones, permitiendo la compra de repuestos y equipos a precios más competitivos sin comprometer la calidad; mayor seguridad de los empleados, evitando que accidentes provoquen ausencia y/o incapacitación de los trabajadores; y una mejor capacitación de los operadores, con un cronograma de capacitación planificado



Los resultados de la gestión del mantenimiento pueden tener un impacto significativo en el éxito de una empresa en el sector (SCHULZ, 2016).

A su vez, la planificación y control del mantenimiento es un enfoque estratégico que involucra la organización y gestión de las actividades de mantenimiento en un sistema o equipo. Este proceso es fundamental para garantizar la eficiencia, disponibilidad y confiabilidad de los activos, optimizando la productividad y reduciendo los costos operativos (OPRIME; FILHO, 2017).

Para cada equipo, la PCM define el tipo de mantenimiento adecuado, su frecuencia y los recursos necesarios, desde materiales hasta recursos humanos. Con esta planificación y análisis de datos de mantenimiento realizado y/o no realizado, es posible mejorar la eficiencia e identificar puntos de mejora para el próximo mantenimiento de los equipos, optimizando y aumentando la productividad de los equipos (KARDEC; NASCIF, 2019). Los indicadores de mantenimiento son métricas cuantitativas o cualitativas que se utilizan para medir la eficiencia, confiabilidad y desempeño de los procesos de mantenimiento en un sistema o equipo determinado. Estos indicadores brindan al gerente de mantenimiento información esencial sobre el estado y productividad de los equipos, ayudándolo a tomar decisiones estratégicas, identificar fallas recurrentes e implementar mejoras continuas en el plan de mantenimiento.

Al analizar los indicadores de mantenimiento, es posible optimizar recursos, reducir costos operativos, aumentar la vida útil de los equipos y maximizar la disponibilidad operativa, contribuyendo a una gestión más efectiva de los procesos de mantenimiento.

El tiempo promedio entre fallas es la frecuencia con la que cada equipo sufre fallas a lo largo del tiempo y se calcula dividiendo la suma de horas disponibles para la operación del equipo por el número de intervenciones correctivas realizadas al equipo durante el período (VIANA, 2002).

Al monitorear este indicador, es posible identificar qué componentes o sistemas son más propensos a tener problemas y cómo se puede optimizar el plan de mantenimiento preventivo de estos equipos para anticiparse a estas fallas.

El tiempo medio de reparación indica el tiempo promedio requerido para reparar el equipo después de una falla, con el objetivo de reducir este tiempo y disminuir el tiempo de inactividad no programado.



El MTTR también puede interpretarse como efectividad del mantenimiento, ya que solo toma en cuenta el tiempo que el equipo está en mantenimiento y no el tiempo de espera para el mantenimiento (VIANA, 2002).

El Cumplimiento del Mantenimiento Preventivo indica la tasa a la que se realiza el mantenimiento preventivo planificado durante un período, idealmente manteniendo esa tasa al 100%.

Como esta investigación tiene como fin encontrar una solución a un problema real mediante la elaboración de un plan de mantenimiento mecánico preventivo de los equipos principales de un laboratorio de uso diario, se puede clasificarla como investigación aplicada y cualitativa, al tratarse de un estudio de caso. Los objetivos de este trabajo son de carácter descriptivo, y para alcanzarlos se utilizó investigación bibliográfica y documental.

Para elaborar un plan de mantenimiento de los equipos del Laboratorio de Prototipos Digitales EST/UEA se siguió la secuencia que se muestra en la figura 1.

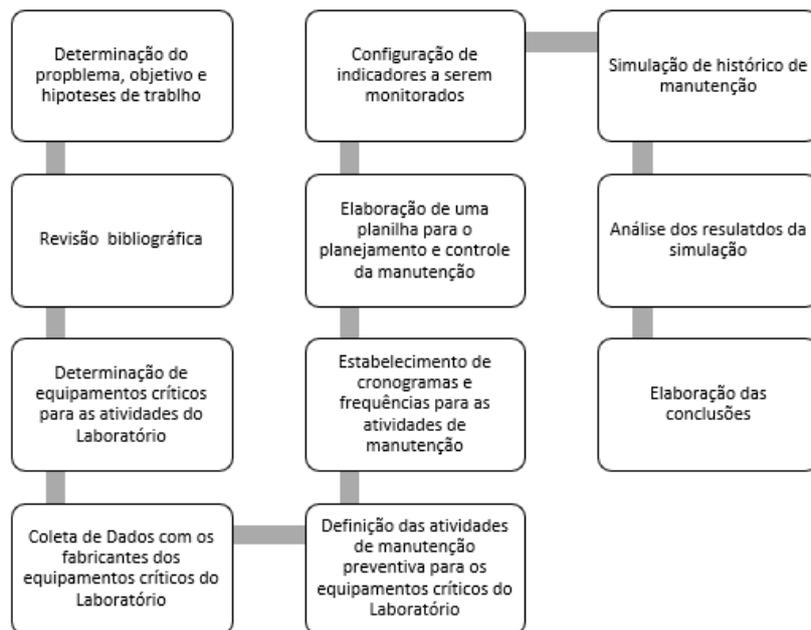


Figura 1. Fluxograma de pesquisa. Fuente: Autores, 2023.

El equipamiento crítico en el Laboratorio de Prototipos de la Universidad Estatal de Amazonas fue determinado por el profesor responsable del laboratorio, teniendo en cuenta la importancia en términos de tamaño de los equipos y su usabilidad para las investigaciones realizadas en el Laboratorio. Se identificaron los siguientes tres equipos

críticos: Mini CNC; Máquina de corte por láser e impresora 3D. Estos equipos luego se incluyeron en la hoja de cálculo como un rango con validación de datos, como normalmente los denomina el equipo del Laboratorio, seguido del nombre del fabricante, para evitar errores tipográficos o de interpretación, como se ilustra en la figura 2.

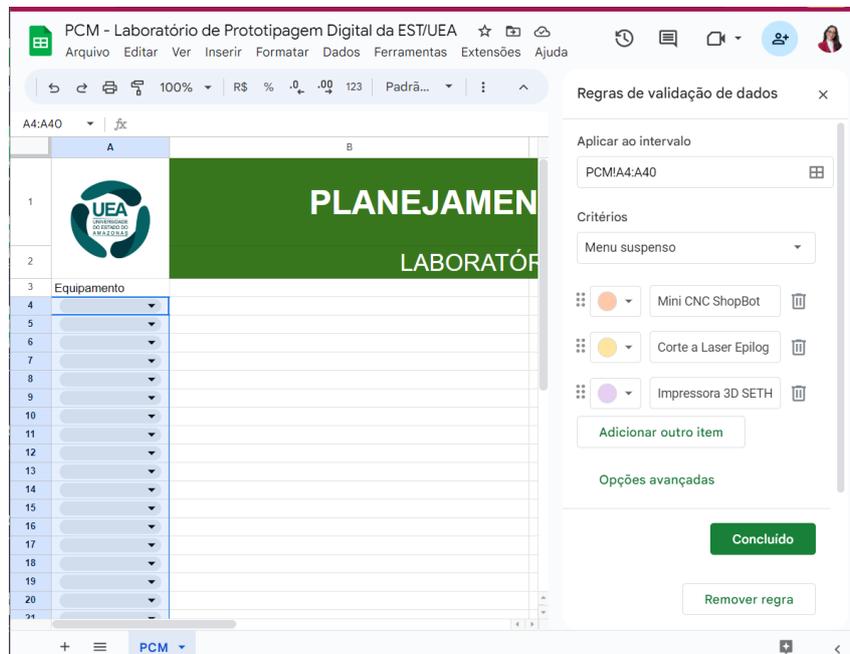


Figura 2. Registro de equipamientos con reglas de validación de datos Fuente: Autores, 2023.

La figura 3 muestra una imagen de una Máquina Minifresadora CNC en el laboratorio.

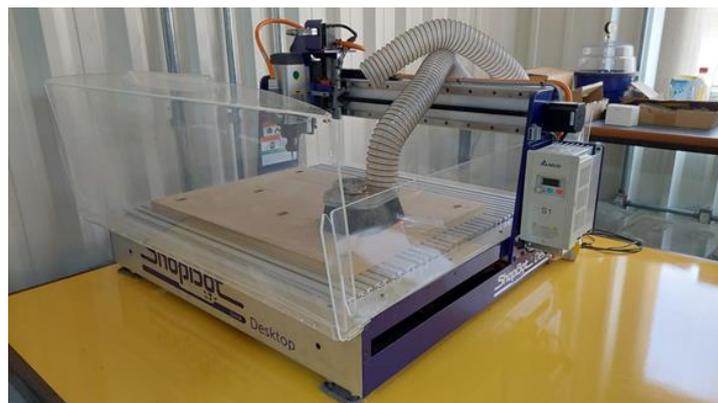


Figura 3 Minifresadora CNC disponible en el laboratorio Fuente: Autores, 2023

Según el ShopBot CNC Handbook (ShopBot Tools Inc., 2023), para que las fresas y tengan una vida útil más larga, es necesario: al cambiar una broca, mover el cabezal del ShopBot por encima de la mesa, favoreciendo así una posible caída del taladro sobre la



mesa en lugar de una caída en el suelo; Antes de usar ShopBot, inspeccione y limpie el taladro. Si la broca está dañada, considere usar una broca nueva; utilizar pinzas limpias y en buen estado; Atornille correctamente la broca en las abrazaderas: ni demasiado floja ni demasiado apretada y evite el contacto con los tornillos o abrazaderas. Además, el fabricante también indica que la vida útil de las pinzas es de 400 a 700 horas trabajadas de forma ininterrumpida y aporta una serie de problemas mecánicos habituales del ShopBot: El taladro se rompe a los avances y velocidades a las que solía trabajar; la broca no mantiene su posición en el eje Z; los cortes no son tan precisos como antes; los círculos no son redondos como deberían ser; los rectángulos no se cortan bien por uno o dos lados; el eje Z no mantiene su posición; e irregularidades que aparecen al nivelar la superficie. A partir de estos datos, se decidió crear una nueva pestaña en la hoja de cálculo del PCM destinada a controlar las horas trabajadas por cada equipo, para que el equipo de laboratorio pueda completarla diariamente. Esta pestaña servirá como base para calcular los indicadores de mantenimiento en el futuro. Una vez registrado el historial de horas trabajadas por equipo, será posible encontrar patrones de trabajo para identificar mejoras en el plan de mantenimiento propuesto por este trabajo, poniendo en práctica el concepto de mejora continua para los estudiantes de Laboratorio. La figura 4 muestra una vista de la pestaña de horas trabajadas por equipo.

		JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Equipamento	Soma de horas trabalhadas	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 4 Visión general del registro de equipamiento. Fuente: Autores, 2023.

En esta nueva pestaña será posible consultar el promedio mensual de horas trabajadas por equipo, así como la suma de horas trabajadas por equipo, permitiendo programar mantenimientos preventivos no sólo por períodos como semanas, meses y trimestres, sino también por horas trabajadas, lo que contribuye a la optimización de las rutinas de mantenimiento.



### Máquina de corte por laser

La máquina de corte por láser permite el corte preciso de diferentes materiales. Según el fabricante Epilog Laser, este equipo tiene una gran ventaja competitiva frente a otras tecnologías de corte. (EPILOGLASER, 2023a). En el Laboratorio de Prototipos Digitales, se utiliza para producir componentes únicos para proyectos más sólidos. El modelo disponible en el laboratorio es el Mini Epilog Modelo 8000, como se muestra en la figura 5, y el manual de este equipo plantea las actividades obligatorias para asegurar su correcto funcionamiento: retirar periódicamente la mesa de corte para limpiar pequeños residuos, manteniendo así limpieza del equipo.

La base del actuador de enfoque automático debe limpiarse periódicamente con un bastoncillo de algodón humedecido en alcohol isopropílico u otra sustancia de limpieza general; semanalmente o cada vez que se detecte, el polvo en espejos y lentes debe limpiarse con hisopos de algodón flexibles humedecidos con el líquido limpiador de lentes disponible en el kit de accesorios del equipo o en alcohol al 70%, para evitar la acumulación de residuos que reducen la vida útil de los lentes. partes; nunca utilice alcohol isopropílico, acetona o agua para limpiar espejos y lentes, ya que estas sustancias pueden contener impurezas que podrían dañar las piezas ópticas y, antes de utilizar un algodón absorbente humedecido para limpiar el equipo, asegúrese de haber eliminado el exceso de líquido tocándolo con un trozo de algodón absorbente seco. (EPILOGLASER, 2023).



Figura 5: Mini máquina cortadora por Laser, Epilog disponible en el Laboratorio. Fuente: Autores,2023.



### Impresora 3D

La impresora 3D es una máquina con tecnología innovadora que permite utilizar un modelo digital para producir un objeto físico de manera rápida y precisa (COSSETTI, 2023). Estas características de velocidad e inmediatez son especialmente importantes para los desarrolladores de proyectos, permitiéndoles crear prototipos para probar sus creaciones; acelerar la validación o permitir más tiempo para realizar correcciones dentro del plazo acordado con el cliente. El modelo disponible en el Laboratorio de Prototipos Digitales de EST/UEA es el S4X del fabricante SETHI3D, ilustrado en la figura 6. Este es uno de los equipos más utilizados en el laboratorio, tanto para la enseñanza y mejora del modelado 3D por parte de los estudiantes como para la impresión de componentes, piezas y proyectos completos para clientes y socios de laboratorio.



Figura 6 Impresora 3D SETHI3D S4X disponible en el laboratorio. Fuente: Autores, 2023.

Según el manual del fabricante, este modelo cuenta con comandos para automatizar algunos procedimientos frecuentes, los cuales son descritos en los SOP de este equipo, (SETHI3D, 2023).

### **Definición de actividades de mantenimiento preventivo y frecuencia de equipos críticos de laboratorio.**

Se creó un plan de mantenimiento para cada actividad de mantenimiento propuesta. Toda la información esencial para la creación de cada plan se ingresó en la pestaña "Todos los planes", como se muestra en la figura 7. En esta pestaña, es posible definir y visualizar rápidamente el carácter de cada plan, en la columna CARÁCTER, con las opciones:

- Inspección: para planes de mantenimiento para comprobar el desgaste;



- Limpieza: para planes de mantenimiento destinados a limpiar y preservar el buen funcionamiento de los equipos;
- Lubricación: para planes de mantenimiento destinados a cambiar o complementar el nivel de lubricante del equipo;
- Operacional: para los planes de mantenimiento de inspección que se deben realizar antes de utilizar el equipo para asegurar sus condiciones de uso y buen funcionamiento, inmediatamente después de la inspección.

CARÁTER	DESCRIÇÃO	TAG DO POP	EQUIPAMENTO	FREQUÊNCIA	HORAS TRABALHADAS	HORÍMETRO ATUAL
OPERACIONAL	Inspeção da Impressora SETHI 3D S4X	I3D-OPE-MEC	Mini CNC ShopBot	PRE-OPERAÇÃO	N/A	0,0
LIMPEZA	Limpeza da Mesa de Corte da Máquina de Corte a Laser	CAL-LIMP-MEC	Corte a Laser Epilog	QUINZENAL	N/A	0,0
LIMPEZA	Limpeza dos espelhos e lentes da Máquina de Corte a Laser	CAL-OPE-MEC	Corte a Laser Epilog	PRE-OPERAÇÃO	N/A	0,0
LUBRIFICAÇÃO	Lubrificação da Impressora Sethi3D	I3D-LUB-MEC	Impressora 3D SETHI3D	TRIMESTRAL	N/A	0,0
INSPEÇÃO	Troca de Bico da Impressora SETHI 3D S4X	I3D-INS-MEC	Impressora 3D SETHI3D	N/A	1.000 HORAS	0,0

Figura 7: Visualización de los planes de Mantenimiento Preventivo registrados. Fuente: Autores, 2023.

En la segunda columna, DESCRIPCIÓN, es posible registrar una breve descripción del enfoque de las actividades de cada plan para garantizar que la ETIQUETA POP, registrada en la tercera columna, se comprenda adecuadamente. Seguidamente se creó la columna EQUIPOS, que identifica a qué equipos se refiere cada plan de mantenimiento. Luego, las columnas FRECUENCIA y HORAS TRABAJADAS indican la frecuencia de cada plan de mantenimiento, lo que nos permite crear un cronograma de mantenimiento. Para mantenimientos que dependen de un número de horas trabajadas se creó la columna HORAS ACTUALES, en la cual se puede ver rápidamente el total de horas trabajadas por cada equipo, dependiendo de cómo funcionó la pestaña HORAS LABORADAS POR EQUIPO por equipo), creada anteriormente y que se muestra en la figura 7, está completo. Las columnas EQUIPO, FRECUENCIA y HORAS TRABAJADAS, junto con la primera columna, CARÁCTER

Las columnas Equipo, Frecuencia y Horas trabajadas, junto con la primera columna, Carácter, fueron creadas con la herramienta de validación de datos Google Spreadsheets,



permitiendo a los responsables del seguimiento de los planes de mantenimiento filtrar los valores presentados, brindando una visión más clara de los planes registrados por carácter, tipo de equipo o incluso periodicidad.

La posibilidad de filtrar estos valores también permite que, dado que el laboratorio tiene un gran volumen de planes de mantenimiento a ejecutar en próximas fechas, el responsable de planificar y controlar el mantenimiento del laboratorio pueda optimizar el Programa de Mantenimiento del equipo, consolidando planes para el mismo. equipos que tengan la misma frecuencia o por horas trabajadas.

Para planificar y monitorear la ejecución de cada uno de los planes ya registrados, se creó la pestaña "Programa de Mantenimiento", como se muestra en la figura 8.

	A	B	C	D	E	F	G
1		<b>CRONOGRAMA DE MANUTENÇÃO - 2023</b>					
2		LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM DIGITAL - EST/UEA					
3	FREQÜÊNCIA	TAG DO POP	TIPO DE MANUTENÇÃO	DATA PREVISTA	RESPONSÁVEL	STATUS	OBSERVAÇÃO
4	SEMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA	01/01/2023		PROGRAMADO	
5	SEMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	30/06/2023		PROGRAMADO	
6	TRIMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	02/01/2023		PROGRAMADO	
7	TRIMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	02/04/2023		PROGRAMADO	
8	TRIMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	01/07/2023		PROGRAMADO	
9	TRIMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	29/09/2023		PROGRAMADO	
10	TRIMESTRAL	I3D-LUB-MEC	PREVENTIVA PROGRAMADA	28/12/2023		PROGRAMADO	

Figura 8. Cronograma de manutención. Fuente: Autores, 2023

### Desarrollo de procedimientos operativos estándar.

Para cada mantenimiento se creó el respectivo Procedimiento Operativo Estándar (SOP). Todos los procedimientos quedaron consolidados en la pestaña PLAN DE MANTENIMIENTO, que se puede ver en detalle en la figura 9.

### Configuración de indicadores a monitorear

Se crearon nuevas pestañas para monitorear los principales indicadores de mantenimiento presentados en la sección de revisión.



**IV Convención Científica Internacional UCLV 2023**  
**Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas**  
**VI Simposio de Diseño e Ingeniería Asistida por Computadora, Biomecánica y Mecatrónica.**

<b>PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO</b> LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM DIGITAL - EST/UEA	
FEITO	PROCEDIMENTOS
<input type="checkbox"/>	1. Verifique se há alguma peça impressa na mesa. Se houver, retire-a antes de iniciar os passos seguintes.
<input type="checkbox"/>	2. Acesse ao menu MANUTENCAO no equipamento Para acessar o menu Manutenção no equipamento, abra o menu principal do equipamento na tela LCD seleccione o item "MANUTENCAO".
<input type="checkbox"/>	3. Seleccione o comando TROCAR BICO
<input type="checkbox"/>	3.1 Aguarde o equipamento identificar que a temperatura do extrusor está abaixo de 70°C e trazer o
<input type="checkbox"/>	3.2 Quando o extrusor for trazido para a parte da frente da impressora, localize os fios vermelhos que saem da lateral direita do extrusor;
<input type="checkbox"/>	3.3 Localize o conector dos fios vermelhos e pressione a trava para liberá-lo e o puxe para desconectá-lo;
<input type="checkbox"/>	3.4 Localize o parafuso allen um pouco acima do conector;
<input type="checkbox"/>	3.5 Utilize uma chave allen de 3mm para soltar um pouco o parafuso (você não precisa removê-lo totalmente para retirar o bico);
<input type="checkbox"/>	3.6 Observe a posição original do ventilador lateral e puxe seu suporte de Inox para removê-lo;
<input type="checkbox"/>	3.7 Puxe o bico (HotEnd) para baixo para liberá-lo;
<input type="checkbox"/>	3.7 Troque o bico (HotEnd);
<input type="checkbox"/>	3.8 Reencalve o bico;
<input type="checkbox"/>	3.9 Reencalve o ventilador lateral na sua posição original;
<input type="checkbox"/>	3.10 Utilize uma chave allen de 3mm para fixar o parafuso;
<input type="checkbox"/>	3.11 Reconecte o conector dos fios vermelhos da lateral direita do extrusor.
<input type="checkbox"/>	4. Retorne ao menu MANUTENCAO e seleccione o comando AUTO Z-PROBE OBRIGATORIO sempre que o extrusor for reencaloado na SETH3D, pois esse comando ajusta a distância entre o bico do extrusor e a mesa da máquina.
<input type="checkbox"/>	4.1 Aguarde a máquina aquecer o extrusor e executar a calibração automaticamente.
<input type="checkbox"/>	6. AJUSTE FINO Z-PROBE Este comando deixa a primeira camada da impressão um pouco mais apertada (esmagada) ou um pouco menos apertada (esmagada).
<input type="checkbox"/>	5.1 Para uma primeira camada mais apertada, gire o botão no sentido anti-horário para definir um valor negativo. Para uma camada menos apertada, gire o botão no sentido horário, para definir um valor positivo. (O valor 0.00 é a configuração padrão da máquina);
<input type="checkbox"/>	5.2 Quando chegar ao valor desejado, clique no botão para confirmar.

Figura 9. Procedimento operacional padrão. Fonte: Autores, 2023.

### Horas de reparación

En esta pestaña, el responsable registrará, para cada día del mes, el tiempo total que el equipo estuvo detenido para su mantenimiento, en horas. Al ingresar estos datos, podrá consolidar las horas de reparación de cada equipo por mes y año, como se ilustra en la figura 10.

<b>HORAS TRABALHADAS POR EQUIPAMENTO - 2023</b> LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM DIGITAL - EST/UEA													
Equipamento	Total de Horas em Reparo	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Mini CNC ShopBot	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Corte a Laser Epilog	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Impressora 3D SETH3D	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 10. Guia de Horas detenidas por mantenimiento de los equipos. Fuente: Autores, 2023

### Historial de fracasos



En esta pestaña, como se ilustra en la figura 11, el responsable del mantenimiento mecánico del equipo registrará, para cada día del mes, la cantidad de mantenimiento correctivo realizado a cada equipo. Con base en estos datos podrá consolidar el número de fallas de equipos por mes y por año.

UEA		HISTÓRICO DE FALHAS POR EQUIPAMENTO - 2023											
LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM DIGITAL - EST/UEA		JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Equipamento	Quantidade de Falhas												
Mini CNC ShopBot	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Corte a Laser Epilog	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Impressora 3D SETHI3D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 11. Guía de mantenimientos correctivos por equipo Fonte: Autores, 2023.

### Resumen de indicadores de mantenimiento

En esta pestaña el responsable del mantenimiento mecánico del equipo no necesitará introducir ningún dato nuevo. Esta pestaña consolidará los indicadores a continuación, utilizando los datos ingresados en las otras pestañas, como se muestra en la figura 12. Los indicadores son: Mantenimiento correctivo total; MTTR; MTBF; MP y Horas trabajadas.

Equipamento	Total de Horas Trabalhadas	JANEIRO	01/01	02/01	03/01	04/01	05/01
Mini CNC ShopBot	7,0	0,2	=ALEATÓRIOENTRE(0;8)				
Corte a Laser Epilog	0,0	0,0					
Impressora 3D SETHI3D	0,0	0,0					

Figura 12 Guía de monitoramiento de indicadores. Autores, 2023.

### Simulación del historial de mantenimiento.

Para realizar la simulación será necesario rellenar los datos de las pestañas HORAS TRABAJADAS, HISTORIAL DE FALLOS y HORAS EN REPARACIÓN, cuyas configuraciones se detallaron anteriormente.



Para completar automáticamente las celdas requeridas en la pestaña HORAS TRABAJADAS, se utiliza la función de Google Sheets "=INTERVAL RATIO()", como se muestra en la figura 13. Esta función nos permite ingresar un rango de números enteros dentro de los cuales Google Sheets devolverá un número aleatorio.

Equipamiento	Total de Horas Trabajadas	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Mini CNC ShopBot	826	3,8	3,7	4,8	3,9	3,6	4,3	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Corte a Laser Epilog	916	4,4	4,5	4,3	5,2	4,2	3,9	3,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Impresora 3D SETHI3D	847	3,7	4,8	3,8	4,0	4,5	3,7	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 13 Definición de función ALEATÓRIO ENTRE en la guía HORAS DE TRABAJO. Fuente: Autores, 2023.

Al elegir el rango entre 0 y 8 para la simulación y reproducir la misma fórmula en todas las celdas designadas para llenar hasta hoy, 28/07/2023, se tienen los promedios mensuales para 2023 que se muestran en la figura 14.

Equipamiento	Quantidade de Falhas	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Mini CNC ShopBot	106	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Corte a Laser Epilog	99	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Impresora 3D SETHI3D	106	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

Figura 14 Simulación de los historico de fallas por equipamiento. Fuente: Autores,2023

Utilizando la misma función en la pestaña HISTORIAL DE FALLOS, pero con el rango entre 0 y 1. Ahora, utilizando la misma función en la pestaña HORAS EN REPARACIÓN, pero con un rango entre 0 y 4 horas, se obtiene el resultado mostrado en la figura 15.

Equipamiento	Total de Horas em Reparo	JANEIRO	FEVEREIRO	MARÇO	ABRIL	MAIO	JUNHO	JULHO	AGOSTO	SETEMBRO	OUTUBRO	NOVEMBRO	DEZEMBRO
Mini CNC ShopBot	364.0	1,6	1,1	2,0	1,0	2,4	2,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Corte a Laser Epilog	346.6	2,1	1,1	1,6	1,0	1,4	2,3	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Impresora 3D SETHI3D	425.0	2,1	1,7	2,0	2,3	1,9	1,8	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Figura 15: Simulación de las horas en reparación por piezas de los equipamientos. Fuente: Autores,2023

**Representación visual de indicadores de mantenimiento basados en el historial de mantenimiento simulado.**



Con base en la simulación realizada y mostrada en las figuras 14, 15 y sumando valores arbitrarios para el promedio histórico de cada indicador con el fin de simular una comparación de los indicadores de mantenimiento anual con el promedio histórico, se obtuvieron los indicadores de la figura 16.

<b>INDICADORES DE MANUTENÇÃO</b>														Última revisão: 23/07/2023	
LABORATÓRIO DE PROTOTIPAGEM DIGITAL - EST/UEA															
EQUIPAMENTO	INDICADOR	MÊS												2023	MÉDIA HISTÓRICA
		JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ		
Mini CNC ShopBot	Total de Manutenções Corretivas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6
	MTTR (Tempo médio para reparo)	2.0	0.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	4.0	0.0	4.0	1.0	0.0	23 h	18 h
	MTBF (Tempo médio entre falhas)	[Simulado]												259 dia(s)	180 dia(s)
Corte a Laser Epilog	Total de Horas Trabalhadas	102	100	131	121	118	122	105	0	0	0	0	0	799 h	600 h
	Total de Manutenções Corretivas	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
	MTTR (Tempo médio para reparo)	2.1	0.0	2.0	4.0	2.0	1.0	3.0	1.0	4.0	1.0	0.0	4.0	24 h	22 h
Impressora 3D SETH3D	Total de Horas Trabalhadas	241	98	113	123	100	95	106	0	0	0	0	0	876 h	850 h
	Total de Manutenções Corretivas	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	9
	MTTR (Tempo médio para reparo)	2.4	1.0	2.0	3.0	4.0	0.0	2.0	2.0	4.0	2.0	2.0	3.0	27 h	56 h
GERAL	Total de Horas Trabalhadas	107	133	115	126	106	113	120	0	0	0	0	0	820 h	1200 h
	Total de Manutenções Preventivas Programadas	5	2	2	3	2	5	3	3	2	2	3		35	35
	MP (Cumprimento de Manutenção Preventiva)	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	80.00%	66.67%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	53.89%	30.00%

Figura 16. Simulación de indicadores de mantenimiento. Fuente: Autores, 2023.

### Conclusiones

- Se realizó una investigación de referencia sobre los estudios más recientes relacionados con la elaboración de un Plan de Mantenimiento Preventivo, que permitió desarrollar un Plan de Mantenimiento Preventivo Mecánico para la Minifresadora CNC, la Máquina de Corte Láser y la Impresora 3D
- Se identificaron los principales indicadores aplicados al mantenimiento preventivo, los cuales deben ser monitoreados por los responsables del equipo.
- Los aportes de este trabajo permitirán a los estudiantes del Laboratorio de Prototipos Digitales de EST/UEA controlar y planificar sistemáticamente el mantenimiento de los equipos propuestos, permitiendo aumentar su disponibilidad y confiabilidad.
- Se sugiere llevar un registro continuo de las variables propuestas para crear y mantener un historial de fallas confiable, que permita optimizar la frecuencia de las operaciones de mantenimiento y en su implementación identificar mejoras en el sistema propuesto.

### Referencias bibliográficas.

ABNT. NBR 5462/1993: Manual de instruções. Av. Torres de Maio, 13. Torres de Maio, 13. 20031-901. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 1994. Disponível em: <<https://www.normas.com.br/visualizador-slim/Viewer.asp?ns=>



8044&token=245421cf-20a2-46d0-8b09-7104326204a9&sid=6b4eba8b-aab2-15c7-faba-34f6a1e21f0a&email=lcas.eng@uea.edu.br>. Acessado em: 22 de agosto de 2022.

BRASIL ESCOLA. Segunda Revolução Industrial. 2022. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/historiag/segunda-revolucao-industrial.htm>>. Acessado em: 12 de agosto de 2022.

COSSETTI, M. C. Como funciona uma impressora 3D: A tecnologia permite que você crie um objeto físico a partir de um modelo digital. 2023. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/responde/como-funciona-impressora-3d/#:~:text=As%20impressoras%203D%20imprimem%2C%20or,essa%20tecnologia%20revolucionou%20a%20ind%C3%BAstria>>. Acessado em: 14 abr. 2023.

EPILOGLASER. Informações básicas sobre o laser: máquina de corte a laser. 2023. Disponível em: <<https://www.epiloglaser.com/pt/como-funciona/corte-a-laser/>>. Acessado em: 14 abr. 2023.

Manual do sistema a laser Mini 18/24 Helix | Modelo 8000. 2023. Disponível em: <<https://www.epiloglaser.com/assets/downloads/manuals/legend-manual-web.pdf>>. Acessado em: 14 abr. 2023.

FARIA, E. A. de. Elaboração e implementação de um plano de manutenção em uma indústria farmacêutica no Rio Grande do Norte. 17 p. Tese (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica)

- Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2018. Disponível em: <[https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/43068/1/Elabora%C3%A7%C3%A3o%20e%20Implementa%C3%A7%C3%A3o\\_Faria\\_2018.pdf](https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/43068/1/Elabora%C3%A7%C3%A3o%20e%20Implementa%C3%A7%C3%A3o_Faria_2018.pdf)>. Acessado em: 23 de agosto de 2022.

FONSECA, N. M. da. Estudo sobre os tipos de manutenção para aplicação em uma indústria alimentícia. 54 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica)) - Universidade São Francisco, Itatiba, SP, 2011. Acessado em: 23 ago. 2022.

H.C. FERREIRA. Building maintenance in the light of standard NBR 5674/1999



- Building Maintenance - Procedure. 2010. Available at:

<<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/34370/FERREIRA\%2C\%20HELDER\%20CALSAVARA.pdf>>. Accessed on: August 21, 2022.

NI, SESI, SENAI, & IEL. Industry 4.0: Understanding its concepts and foundations. Industry Portal: Industry from A - Z. 2021. Available at: <<http://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/>>. Accessed on: August 21, 2022.

OPRIME, P. C.; FILHO, A. A. Manutenção: Função Estratégica. [S.l.]: Editora LTC, 2017. Accessed on: March 20, 2023.

SCHULZ, G. Introduction to Organizational Management: 1ª edição. Porto Alegre, RS: Editora UFRGS, 2016.

SETHI3D. Manual do usuário: impressora sethi3d s4x. 2023. Disponível em: <<https://www.epiloglaser.com/pt/como-funciona/corte-a-laser/>>. Acessado em: 14 de abril de 2023.

ShopBot Tools Inc. Manual do ShopBot CNC (Doc ID: SBG00526). 2023. Disponível em: <[https://www.shopbottools.com/ShopBotDocs/files/ShopBot\\_Handbook.pdf](https://www.shopbottools.com/ShopBotDocs/files/ShopBot_Handbook.pdf)>. Acessado em: 06 abr. 2023.

SILVA, D. B. Implantação do plano diretor de manutenção preventiva para melhorar a eficiência das linhas de envase de leite uht: um estudo de caso. 81 p. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia de Produção) - Centro Universitário Univates, Lajeado, RS, 2016. Acessado em: 23 de agosto de 2022.

VIANA, H. R. G. Planejamento e Controle da Manutenção: 1ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2002.