



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL DE MÁQUINA
FRESADORA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Luis André Borbor Godoy
Christian Abraham Gavilánez Arias
TUTOR: Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa

Guayaquil - Ecuador
2023

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Tomás Santiago Gavilánez Gamboa**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana , declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL DE MÁQUINA FRESADORA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO**, realizado por **Luis André Borbor Godoy** con documento de identificación N° **0932446537** y por **Christian Abraham Gavilánez Arias** con documento de identificación N° **0923129738**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 08 de marzo del año 2023

Atentamente,



Ing. Tomás Santiago Gavilánez Gamboa
1802792646

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Luis André Borbor Godoy** con documento de identificación N° **0932446537** y **Christian Abraham Gaviláñez Arias** con documento de identificación N° **0923129738**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico: DESARROLLO DE UN ENTORNO VIRTUAL DE MÁQUINA FRESADORA PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

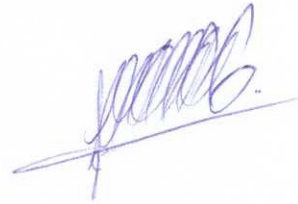
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo a final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana

Guayaquil, 08 de marzo del año 2023

Atentamente,



Luis André Borbor Godoy
0932446537



Christian Abraham Gaviláñez Arias
0923129738

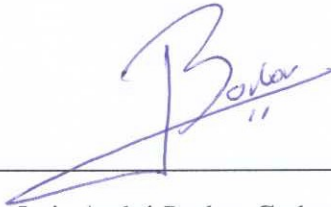
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Luis André Borbor Godoy** con documento de identificación N° **0932446537** y **Christian Abraham Gavilánez Arias** con documento de identificación N° **0923129738**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 08 de marzo del año 2023

Atentamente,



Luis André Borbor Godoy
0932446537



Christian Abraham Gavilánez Arias
0923129738

DEDICATORIA

Esta tesis va dedicada primero a Dios, ya que gracias a él seguimos aquí y pudimos culminar con la carrera, a nuestros padres que han estado ahí presentes en los momentos mas difíciles y han demostrado ser de gran apoyo dándonos consejos para ser persistentes en poder culminar nuestra carrera.

AGRADECIMIENTO

Reconocemos y otorgamos un enorme agradecimiento a nuestros familiares por ser nuestros guías y pilares hacia nuestra formación como profesionales y por habernos brindado su apoyo incondicional ante todo. De igual forma a las entidades docentes de la Universidad Politécnica Salesiana, por brindarnos sus conocimientos y enseñanzas para poder realizarnos como profesionales.

RESUMEN

La alta demanda de laboratorios a nivel mundial ha llevado al desarrollo de entornos virtuales como una alternativa para ampliar su alcance y acceso. Sin embargo, de acorde al informe del Global cities (2019), estos entornos virtuales tienen una complejidad elevada dificultando su introducción al campo educativo. El laboratorio de manufactura de la UPS cuenta con dos máquinas fresadoras, pero su acceso es limitado debido a un alto número de estudiantes, procedimientos internos y riesgos.

Según Lara Ramírez (2022), usar una alternativa virtual permite a los estudiantes tener acceso a más prácticas de laboratorio, evitando riesgos y aplicar conocimientos teóricos. El proyecto tiene como objetivo desarrollar un entorno virtual para prácticas de fresado, que permitirá a los estudiantes realizar prácticas ilimitadas de mecanizado y estar capacitados para usar la fresadora real de la UPS en el laboratorio.

El proyecto ha sido desarrollado utilizando el motor de Unity considerando las cuatro etapas para el proceso de desarrollo de un entorno virtual. La primera etapa corresponde al análisis, la segunda al diseño, la tercera al desarrollo y una etapa de evaluación. Adicionalmente, el proyecto fue evaluado bajo los siguientes criterios de aceptación: estabilidad, escalabilidad, seguridad, usabilidad e interoperabilidad. Finalmente, se llevó a cabo un plan piloto utilizando a 23 estudiantes para valorar el software, obteniendo una calificación de 102,4/115 que da como resultado un 89% de aceptación.

Palabras clave: Aprendizaje educativo, entornos virtuales, fresadora, Unity, digital twin.

ABSTRACT

The high demand for laboratories worldwide has led to the development of virtual environments as an alternative to expanding their reach and accessibility. However, according to the Global Cities report (2019), these virtual environments have a high level of complexity, making it difficult to introduce them into the educational field. The manufacturing laboratory at UPS has two milling machines, but access is limited due to many students, internal procedures, and risks.

According to Lara Ramírez (2022), using a virtual alternative allows students to have access to more laboratory practices, avoiding risks and applying theoretical knowledge. The objective of this project is to develop a virtual environment for milling practices, allowing students to perform unlimited machining practices and be qualified to use the real milling machine at UPS in the laboratory.

The project has been developed using the Unity engine, considering the four stages for the development process of a virtual environment. The first stage corresponds to analysis, the second to design, the third to development, and an evaluation stage. Additionally, the project was evaluated under the following acceptance criteria: stability, scalability, security, usability, and interoperability. Finally, a pilot plan was carried out using 23 students to evaluate the software, obtaining a rating of 102.4/115, resulting in an 89 % acceptance rate.

Keywords: Educational learning, virtual environments, milling processes, Unity, Digital twin.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	PROBLEMA	2
II-A.	Descripción del problema	2
III.	Justificación	3
IV.	OBJETIVOS	4
IV-A.	Objetivo general	4
IV-B.	Objetivos específicos	4
V.	Marco Teórico	5
V-A.	Introducción a los Entornos virtuales de aprendizaje	5
V-A1.	Características y tipos de entornos virtuales de aprendizaje	6
V-A2.	Criterios de diseño para un entorno virtual de aprendizaje	7
V-A3.	Ventajas de los entornos virtuales en la actualidad	8
V-A4.	Procesos de desarrollo de un entorno virtual	9
V-A5.	Criterios de aceptación de un entorno virtual	10
V-A6.	Entornos Virtuales para fines educativos	11
V-B.	Procesos de manufactura	12
V-C.	Procesos de fresado	13
V-C1.	Generalidades	13
V-D.	Maquina y Herramientas	14
V-D1.	Fresadora	14
V-D2.	Tipos de fresadoras	15
V-E.	Fresadora Model-UE Serial N 1436N	16
V-E1.	Componentes principales de la Fresadora Model-UE Serial N 1436N	17
V-E2.	Parámetros de fresado	18
V-F.	Defectos de fresado	20
V-F1.	Mecanismo de desgaste en herramientas	21
VI.	Marco Metodológico	22
VI-A.	Diseño CAD de la fresadora.	23
VI-B.	Software de Modelado 3D	23
VI-C.	Identificación de Funcionamiento y parámetros mecanizado de la fresadora.	24
VI-D.	Implementación parámetros de mecanizado.	25
VI-D1.	Interfaz	25
VI-D2.	Parámetros de mecanizado, respectivos cálculos en el entorno virtual	34
VI-E.	Implementación de prácticas en el entorno virtual.	43
VII.	Resultados.	45
VIII.	Cronograma y actividades	48
IX.	Presupuesto	49
IX-A.	Talento humano	49
IX-B.	Recursos materiales	49
X.	CONCLUSIONES	49

XI. RECOMENDACIONES	49
XII. Anexos	50
XII-A. Validación de prácticas	50
XII-B. Planos estructurales de la fresadora	52
XIII. Referencias	55

ÍNDICE DE FIGURAS

1.	<i>Simulador Virtual Classroom de la empresa Caterpillar.</i>	5
2.	<i>Simulador de cirugía.</i>	6
3.	<i>Simulador de mantenimiento de equipos aéreos.</i>	6
4.	<i>Proceso del Diseño instruccional.</i>	9
5.	<i>Simulador de Vehículo liviano ATM.</i>	11
6.	<i>Simuladores de vuelo para pilotos agrícolas y comerciales.</i>	12
7.	<i>Clasificación de los procesos de manufactura según Mikell P. Groover.</i>	12
8.	<i>Operaciones comunes de maquinado (Mikell P. Groover, 2007).</i>	13
9.	<i>Operaciones de fresado: a) Fresado periférico, b) Fresado de careado, c) Fresado frontal.</i>	13
10.	<i>Tipos de operaciones de fresado: Convencional y concurrente.</i>	14
11.	<i>Fresadora.</i>	15
12.	<i>(a) fresadora tipo column y codo de husillo horizontal, y (b) fresadora tipo column y codo de husillo vertical. Fuente: G. Boothroyd.</i>	15
13.	<i>fresadora tipo bancada. (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)</i>	16
14.	<i>Esquema de una fresadora de perfiles de cinco ejes.(KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)</i>	16
15.	<i>Fresadora Model-UE Serial N 1436N de la UPS.</i>	18
16.	<i>Fuerza específica de corte en el fresado de oposición y de concordancia.</i>	19
17.	<i>La fuerza máxima de corte se desarrolla en la sección máxima de la viruta (Guillermo Bavaresco, 2016)</i>	20
18.	<i>Distribución de temperaturas en la zonas de corte.</i>	21
19.	<i>Desgaste por abrasión según Antonio Guarnido Barrera.</i>	21
20.	<i>Desgaste por adhesión según Antonio Guarnido Barrera.</i>	21
21.	<i>Desgaste por difusión según Antonio Guarnido Barrera.</i>	22
22.	<i>Procedimiento de desarrollo.</i>	22
23.	<i>Diseño de fresadora en Software CAD.</i>	23
24.	<i>Modelado de fresadora en blender.</i>	24
25.	<i>Modelado de fresadora en Unity 3D.</i>	24
26.	<i>Interfaz del Menú principal.</i>	25
27.	<i>Zona de trabajo del software.</i>	25
28.	<i>Diagrama de flujo del ciclo general del software.</i>	26
29.	<i>Caja de velocidades de la fresadora.</i>	26
30.	<i>Interfaz de caja de velocidades del husillo.</i>	27
31.	<i>Avance manual de la máquina.</i>	27
32.	<i>Interfaz del avance manual.</i>	28
33.	<i>Caja de cambios para avances automáticos.</i>	28
34.	<i>Interfaz de caja de cambios para avances automáticos.</i>	29
35.	<i>Interfaz de medidor de desplazamiento.</i>	29
36.	<i>Interfaz del generador de trabajo y su lista de materiales.</i>	30
37.	<i>Material de trabajo generado.</i>	30
38.	<i>Interfaz de cambio de herramienta.</i>	31
39.	<i>Zona de corte de la herramienta.</i>	31
40.	<i>Diagrama de flujo de corte del material.</i>	32
41.	<i>Interfaz de valores de los parámetros de corte.</i>	32
42.	<i>Alerta de advertencias.</i>	33
43.	<i>Alerta por fallo de cráter.</i>	33
44.	<i>Alerta por fallo de astillamiento.</i>	34
45.	<i>Alerta por fallo de rotura.</i>	34
46.	<i>Alerta por fallo de motor.</i>	34
47.	<i>Primera herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.</i>	35

48.	<i>Catálogo de Lamina technologies.</i>	35
49.	<i>Fuerzas específica de corte de la empresa WALTER.</i>	37
50.	<i>Catálogo de factores de corte empresa technologies.</i>	37
51.	<i>Segunda herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.</i>	38
52.	<i>Datos de la segunda herramienta de corte: Catálogo de Lamina technologies.</i>	38
53.	<i>Segunda herramienta: Catálogo de Lamina technologies.</i>	39
54.	<i>Catálogo de factores de corte para la segunda herramienta empresa technologies.</i>	40
55.	<i>Tercera herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.</i>	40
56.	<i>Datos de la tercera herramienta de corte: Catálogo de Lamina technologies.</i>	41
57.	<i>Tercera herramienta catálogo de materiales Lamina technologies.</i>	41
58.	<i>Catálogo de factores de corte empresa technologies.</i>	42
59.	<i>Práctica # 1.</i>	43
60.	<i>Práctica # 2.</i>	44
61.	<i>Práctica # 3 primera pasada.</i>	45
62.	<i>Práctica # 3 segunda pasada.</i>	45
63.	<i>Resultado final del Entorno virtual de máquina fresadora para prácticas de laboratorio.</i>	45
64.	<i>Validación de prácticas mediante uso del software.</i>	50
65.	<i>Validación de prácticas mediante uso del software.</i>	50
66.	<i>Validación de prácticas mediante uso del software.</i>	51
67.	<i>Revisión de retroalimentación: Firmado por el Ing. Edison LLano.</i>	51

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la tecnología ha permitido el surgimiento de nuevas herramientas y metodologías que han impactado positivamente en diversos campos de estudio, incluyendo la manufactura. Los entornos virtuales son una de estas herramientas, y han demostrado ser una solución efectiva para mejorar la enseñanza y el aprendizaje de habilidades técnicas y prácticas, como el fresado.

Según Sánchez-Gómez et al. (2019), los entornos virtuales son capaces de simular la experiencia práctica de manera efectiva, lo que permite a los estudiantes adquirir habilidades prácticas sin la necesidad de tener acceso a equipos costosos y peligrosos. Por otro lado, en el libro "Virtual Reality in Education: Breakthroughs in Research and Practice", se señala que los entornos virtuales son especialmente útiles para la enseñanza de habilidades técnicas, ya que permiten una mayor flexibilidad y adaptabilidad a las necesidades individuales de cada estudiante (Information Resources Management Association, 2019).

El presente proyecto se desarrollará en cuatro etapas. En la primera etapa, se identifican las características necesarias que necesita el software para su funcionamiento, así como también la naturaleza del proceso de fresado. En la segunda etapa, se incluirá la creación del modelamiento de la fresadora y la interfaz de usuario considerando la respectiva retroalimentación por parte de expertos y usuarios. La tercera etapa, se centra en el cálculo de los parámetros de fresado y la programación del entorno con sus respectivas funciones, incluyendo alertas en caso de condiciones de mecanizado inapropiadas.

Posteriormente, el proyecto se someterá a una etapa de evaluación considerando su desempeño bajo los siguientes criterios de aceptación: estabilidad, escalabilidad, seguridad, usabilidad e interoperabilidad de la aplicación. Además, se ejecuto un plan piloto utilizando 23 estudiantes como sujeto de pruebas para valorar la funcionalidad del software desarrollando tres prácticas.

II. PROBLEMA

II-A. Descripción del problema

A nivel mundial las prácticas de laboratorio se han vuelto una herramienta en el aprendizaje educativo, pero debido a la alta demanda de laboratorios, existe un acceso limitado, como alternativa de solución se han diseñado entornos de digitalización para un mayor alcance y acceso a laboratorios. Sin embargo, todavía existen factores a tomar en cuenta, ya que según un informe de Global cities (2018), estos entornos digitales cuentan con una complejidad elevada, limitando su introducción en el campo educativo.

En el Ecuador, existen entornos virtuales, por ejemplo, simuladores de vuelo que permiten bajos costos en capacitación, seguridad y mejoran la eficiencia en el manejo de emergencias. (Vicepresidencia de la República del Ecuador, noticias, 2017). Relacionado con la manufactura se han encontrado diferentes simuladores que emulan el funcionamiento de una máquina CNC, sin embargo, las máquinas convencionales o semi automáticas no cuentan con simuladores.

Los entornos virtuales han sido utilizados en áreas de automatización, control digital y procesos de manufactura permitiendo una mejor comprensión del funcionamiento de dispositivos como PLCs, Arduinos y CNC. Entre los simuladores de mecanizado que podemos encontrar en la UPS y que son usados para realizar prácticas e impartir clases son: CIMCO y HSMWorks. Sin embargo, estas aplicaciones son enfocadas en el uso de código G para máquinas CNC y no en el uso de fresadoras, como con las que cuenta la UPS. Adicionalmente, estos sistemas no simulan los parámetros de mecanizado, que de no ser los adecuados causarían daños en la máquina/herramienta, consecuentemente se podrían generar inconvenientes como por ejemplo: colisiones, desgaste de herramientas, fuerza de corte excesiva, alto consumo de energía, pérdida de tiempo, desperdicio de materia prima, proceso improductivo, entre otros.

El laboratorio de manufactura de la UPS cuenta con 2 máquinas fresadoras, sin embargo, su acceso es limitado debido a: un alto número de estudiantes, procedimientos internos para uso de laboratorios, riesgos que implican el uso de las máquinas. Adicionalmente, los equipos tienen un consumo de energía y mantenimiento elevado. La Pandemia también tuvo como consecuencia la ausencia de prácticas para el alumnado debido a las medidas restrictivas mantenidas, razón por la cual muchos estudiantes se vieron imposibilitados de hacer las respectivas prácticas.

III. JUSTIFICACIÓN

La falta de práctica de laboratorio afecta de manera negativa a los estudiantes, ya que el aprendizaje se vuelve poco significativo y la falta de capacitación puede provocar accidentes al momento de usar los equipos (Sindy Guitiérrez y Leidy Piñeres, 2021). Para esto la virtualización ha tenido buenos resultados en sectores educativos, capacitaciones y simulaciones de control.

Por esto se busca crear una alternativa que permita a los estudiantes tener acceso a más prácticas de laboratorio, y así aplicar los conocimientos fundamentales de la teoría del mecanizado adquiridos. Según Lara Ramírez et al. (2022), el uso de una alternativa virtual de prácticas representa una oportunidad de aprendizaje activo, ya que los estudiantes pueden usar estos entornos para ensayos, permitiéndoles aplicar sus conocimientos y evitar posibles riesgos que pudieran surgir laboratorios presenciales.

El presente proyecto tiene como objetivo desarrollar un entorno virtual para prácticas de fresado, el cuál contará con una representación virtual de la fresadora FEXAC MODEL-UE Serial N 1436N y sus funcionalidades, que se encuentra en la UPS sede Guayaquil. Además, se implementarán parámetros de maquinado como la velocidad de corte, velocidad de giro, avance, profundidad de pasada y un detector de colisiones.

El proyecto beneficiará a los estudiantes, ya que tendrán a su disposición de manera ilimitada un entorno virtual que permitirá realizar prácticas de mecanizado. Adicionalmente, estarán capacitados para usar la fresadora real de la UPS al momento de mecanizar piezas en el laboratorio. Finalmente, el desarrollo de esta aplicación también tiene como fin implementar el desarrollo de entornos o aplicaciones virtuales como un método educativo, generando así un impulso en el avance tecnológico en la UPS.

IV. OBJETIVOS

IV-A. Objetivo general

Desarrollar un entorno virtual de la máquina fresadora FEXAC MODEL-UE Serial N 1436N facilitando el aprendizaje mediante prácticas virtuales.

IV-B. Objetivos específicos

- Investigar el estado del arte de máquinas que cuenten con entornos virtuales para fines educativos.
- Determinar los parámetros y funcionamiento de la máquina considerando la teoría de maquinado.
- Realizar una representación virtual de la fresadora FEXAC MODEL-UE Serial N 1436N.
- Validar el funcionamiento del sistema implementando tres prácticas virtuales.

V. MARCO TEÓRICO

V-A. *Introducción a los Entornos virtuales de aprendizaje*

Los entornos virtuales de aprendizaje son herramientas que permiten la interacción didáctica del usuario con simulaciones que les permiten familiarizarse con maquinarias y procesos. Facilitan capacitaciones y prácticas que aportan al aprendizaje de conocimientos que son empleados en el campo real. (Salinas, J. & García, A. 2012)

La introducción de los entornos virtuales de aprendizaje es importante debido a la creciente necesidad de incorporar tecnología en la educación y la importancia de ofrecer oportunidades de aprendizaje flexibles y accesibles para los estudiantes. Los entornos virtuales permiten a los estudiantes acceder a recursos educativos, interactuar con sus compañeros, tutores, y participar en actividades de aprendizaje que se adaptan a sus necesidades, considerando su ritmo de aprendizaje individuales. Además, el desarrollo de un entorno virtual específico, puede ayudar a superar las limitaciones de acceso a laboratorios y ofrecer una experiencia de aprendizaje más práctica y enriquecedora.

Los efectos de la pandemia del Covid-19 en la educación van más allá del número de personas contagiadas. En todo el mundo, 1.500 millones de estudiantes han tenido que suspender o reprogramar sus clases. Según las actualizaciones realizadas por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, esta cifra representa casi el 90 % de los estudiantes a nivel mundial. En este ámbito, se abre un nuevo panorama para el crecimiento y desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje a través de medios digitales (Diego Romero, 2020).

Los entornos virtuales de aprendizaje se caracterizan por realizar simulaciones interactivas, es decir, que el usuario es capaz de interactuar con las escenas que se muestran para analizar los diferentes comportamientos de elementos o procesos en diferentes campos profesionales. La introducción de estos entornos en la actualidad ha permitido que estudiantes y maestros tengan la posibilidad de interactuar remotamente sin necesidad de estar presentes físicamente en un lugar determinado (Susi Rodríguez, 2020).

Existen simuladores en 3D que son utilizados para el aprendizaje educativo y capacitaciones, de ejemplo esta el simulador virtual de Caterpillar que fue diseñado por la empresa para mejorar la capacitación de sus operadores. Los simuladores permiten a los operadores practicar en un entorno virtual antes de operar la maquinaria real, lo que reduce los riesgos de accidentes y daños a la maquinaria. Caterpillar informa que los operadores que completan el programa de capacitación con el simulador tienen una tasa de éxito en las pruebas de certificación del 90 % o superior. Además, se ha reducido el tiempo de capacitación en un 50 % y se han logrado ahorros significativos en los costos de mantenimiento y reparación de la maquinaria. (Ver Figura 1)



Figura 1. *Simulador Virtual Classroom de la empresa Caterpillar.*

En 2020, un equipo de cirujanos del Hospital Johns Hopkins utilizó un simulador de cirugía para practicar una operación de reemplazo de rodilla antes de llevarla a cabo en un paciente real (Ver Figura 2). La práctica en el simulador les permitió afinar su técnica y mejorar el resultado de la operación. (Johns Hopkins surgeons practice knee replacement on virtual patient, 2020)



Figura 2. *Simulador de cirugía.*

Adicionalmente, existen simuladores en aplicaciones de mantenimiento relacionados con la industria aérea y aeroespacial, como es el caso de la empresa Boeing. Boeing ha desarrollado un programa de entrenamiento basado en la realidad virtual que utiliza gafas VR y simuladores de maquinaria en 3D. Los técnicos pueden practicar en un entorno virtual antes de trabajar en el avión real, lo que reduce los riesgos de accidentes y aumenta la eficiencia del trabajo (Ver Figura 3). Boeing informa que los técnicos que completan el programa de entrenamiento en realidad virtual realizan las tareas de mantenimiento en un 30 % menos de tiempo que aquellos que no han sido entrenados con VR. Además, se ha reducido el número de errores y retrasos en las tareas de mantenimiento, lo que ha mejorado la satisfacción del cliente.



Figura 3. *Simulador de mantenimiento de equipos aéreos.*

La siguiente sección describirá las características principales de los entornos virtuales de aprendizaje, con el objetivo de comprender los aspectos un entorno de aprendizaje efectivo que satisfaga las necesidades de los estudiantes.

V-A1. Características y tipos de entornos virtuales de aprendizaje:

Las características de los entornos virtuales de aprendizaje son fundamentales para asegurar la calidad y efectividad de la educación. Según el informe “E-learning: The Engine of the Knowledge Economy”, un buen entorno virtual de aprendizaje debe tener las siguientes características:

- **Accesibilidad:** El entorno debe ser fácilmente accesible y navegable para todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades tecnológicas o discapacidades.
- **Interactividad:** Los estudiantes pueden interactuar con el contenido y entre sí para crear un ambiente de aprendizaje colaborativo.
- **Personalización:** Se adapta a las necesidades y preferencias de aprendizaje individuales de cada estudiante.
- **Flexibilidad:** Ofrece la posibilidad de elegir diferentes rutas de aprendizaje y niveles de dificultad para adaptarse al ritmo y la capacidad de cada estudiante.
- **Retroalimentación:** Proporciona retroalimentación inmediata y significativa para permitir a los estudiantes evaluar su progreso y mejorar su aprendizaje.

Adicionalmente, se establecen los tipos de entornos virtuales mediante simulación realista. Este tipo de entornos tiene la definición de vincular dispositivos, como computadoras, que establezcan un sentido de inmersión en el usuario, estos se clasifican de la siguiente manera:

- **Entornos Virtuales Inmersivo.** Según el estudio de Jesús David Quiroz (España, 2010), "Permite al usuario controlar los movimientos de un personaje o avatar con sus propios movimientos, asumiendo el rol de éste". Es decir, que podrá captar los movimientos del usuario y dar una experiencia realista. Sin embargo, también está el hecho de que pueda reproducir un mundo físico en 3D, lo que quiere decir que puede captar ciertos entornos y pasarlos a un dispositivo replicándolo en sus tres dimensiones.
- **Entornos virtuales Multimodal.** Ofrece una experiencia de interacción mucho más real y natural que la anterior, ya que cuenta con dispositivos de entrada y salida que permiten conectar, como en grupo, más sentidos del cliente: oído, perspectiva, tacto, olfato e incluso gestualidad. (Guía breve de interacción multimodal, 2005).

Para el presente proyecto, se selecciona el tipo de entornos virtuales Inmersivo, debido a que se necesita controlar la fresadora y sus componentes. Al entender estas características, se pueden tomar decisiones informadas sobre la implementación de tecnologías educativas, permitiendo mayor flexibilidad y accesibilidad para los estudiantes.

V-A2. Criterios de diseño para un entorno virtual de aprendizaje:

Los criterios de diseño para un entorno virtual son fundamentales para garantizar el proceso de aprendizaje. Según el libro "Designing Effective Instruction" de Gary R. Morrison, Steven M. Ross y Jerrold E. Kemp, los criterios principales a considerar son los siguientes:

- **Relevancia:** El entorno virtual debe ser relevante para el contenido que se está enseñando y para los estudiantes que lo están utilizando.
- **Flexibilidad:** El entorno virtual debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes estilos de aprendizaje, niveles de habilidad y necesidades individuales.
- **Mantenibilidad:** El sistema debe ser fácilmente mantenible y actualizable, permitiendo la incorporación de nuevas funcionalidades y la corrección de errores de manera rápida y sencilla (Rogers, Y., Sharp, H., Preece, J., 2015).

- Estética: La estética se refiere a la apariencia visual del entorno virtual. Un buen diseño de entorno virtual debe ser atractivo y visualmente agradable, para fomentar el interés y la motivación de los usuarios. (Benyon, D., 2010).
- Sostenibilidad: El entorno virtual debe ser sostenible en términos de costo, recursos y tiempo de desarrollo.

Además de estos criterios, también es importante considerar la integración de tecnologías emergentes, la alineación con los objetivos de aprendizaje y la evaluación continua del entorno virtual para asegurar su efectividad (Morrison, G. R., Ross, S. M., Kemp, J. E., 2013). Por lo tanto, luego de entender los criterios de diseño se da conocer las ventajas que pueden tener estos entornos virtuales y como se desarrolla en la actualidad.

V-A3. *Ventajas de los entornos virtuales en la actualidad:*

Los entornos virtuales de aprendizaje (EVA) han surgido como una alternativa de enseñanza y aprendizaje en la actualidad. La tecnología ha permitido una evolución en la educación que ha generado un gran impacto en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Estos entornos ofrecen una serie de ventajas en comparación con los métodos de enseñanza tradicionales. Entre estas ventajas están:

- Permiten una mayor flexibilidad y personalización en el proceso de aprendizaje. Los estudiantes pueden avanzar a su propio ritmo y acceder a los materiales de aprendizaje desde cualquier lugar y en cualquier momento.
- Los estudiantes pueden interactuar con el material didáctico, realizar actividades y ejercicios, y participar en foros de discusión. Esto les permite construir su propio conocimiento de una manera más activa y colaborativa.
- Permiten un acceso rápido y fácil a una gran cantidad de recursos educativos, como videos, presentaciones y materiales multimedia. Los estudiantes pueden acceder a estos recursos para complementar su aprendizaje y ampliar su conocimiento.
- Ofrecen la posibilidad de personalizar el aprendizaje de los estudiantes, lo que significa que pueden adaptar el material y las actividades a las necesidades y habilidades individuales de cada estudiante. Esto permite que los estudiantes se sientan más comprometidos con su proceso de aprendizaje y puedan alcanzar sus objetivos de manera más efectiva. (García-Peñalvo, F. J., 2016)

Durante la pandemia de COVID-19, muchos países se vieron obligados a cerrar escuelas y universidades para prevenir la propagación del virus. En este contexto, se evidenció las ventajas e importancia de contar con entornos virtuales. La educación virtual se convirtió en una necesidad y muchas instituciones de educación implementaron rápidamente entornos virtuales de aprendizaje para asegurar que los estudiantes continuaran su educación sin interrupciones. Estos entornos virtuales permitieron la enseñanza y el aprendizaje en línea, lo que aseguró la continuidad de la educación a pesar de la crisis sanitaria.

Otro ejemplo, de las ventajas de los entornos virtuales se encuentra en el campo de la capacitación empresarial. Las empresas pueden utilizar entornos virtuales para capacitar a sus empleados de manera más eficiente y efectiva, sin tener que preocuparse por los costos y la logística asociados con la capacitación presencial. Los entornos virtuales pueden ofrecer una experiencia de aprendizaje más interactiva y personalizada, y permitir a los empleados aprender de forma asincrónica (Bower, M., Dalgarno, B., Kennedy, G. E., Lee, M. J., & Kenney, J., 2015). Además, los entornos virtuales están siendo utilizados en el sector de la salud, donde se han desarrollado programas de terapia virtual para pacientes que no pueden asistir a las sesiones de terapia en persona. Esto ha permitido a los pacientes recibir atención médica sin tener que viajar o salir de sus hogares, lo que ha sido particularmente útil para pacientes que viven en áreas rurales o que tienen problemas de movilidad. (Childs, S., Blenkinsopp, E., Hall, A., & Walton, G., 2005)

Finalmente, estos ambientes virtuales brindan información en el mismo sistema, lo que permite que el contenido se actualice, almacene, recupere y distribuya de forma inmediata. Para los estudiantes, el aporte comienza con la oferta de fácil acceso a la información, ya que no depende de un espacio o tiempo fijo. (Diego Romero, 2020)

V-A4. *Procesos de desarrollo de un entorno virtual:*

El tema del proceso de desarrollo de un entorno virtual es importante para entender cómo se construyen estas herramientas de aprendizaje y cómo se pueden mejorar para satisfacer las necesidades educativas de los estudiantes. El proceso de desarrollo de un entorno virtual implica una serie de etapas, desde el diseño hasta la implementación y evaluación. Comprender el proceso de desarrollo es fundamental para garantizar que el entorno virtual se ajuste a los objetivos de aprendizaje, así como para garantizar su funcionalidad. Además, al entender el proceso de desarrollo, se pueden identificar posibles problemas y encontrar soluciones para reducir el tiempo de desarrollo asegurando el cumplimiento de sus objetivos.

El proceso de desarrollo de un entorno virtual de aprendizaje (EVA) es un proceso complejo y multidisciplinario que involucra a diferentes especialistas en el campo de la educación, la tecnología y el diseño (Roblyer, M. D., Doering, A. H., 2014). En general, el proceso de desarrollo de un EVA puede ser dividido en cuatro etapas principales:

- Análisis de necesidades
- Diseño instruccional
- Desarrollo
- Evaluación

La primera etapa, análisis de necesidades, es crucial para determinar las necesidades de los estudiantes y los objetivos de aprendizaje. Esta etapa implica la identificación de las metas de aprendizaje, la audiencia a la que se dirige el EVA y la determinación de los requisitos tecnológicos y de recursos humanos necesarios para desarrollar el EVA.

La segunda etapa, diseño instruccional, se enfoca en la creación de un plan de enseñanza que guíe el desarrollo del EVA (Ver Figura 4). Esta etapa involucra la selección de los objetivos de aprendizaje, la definición de los métodos de enseñanza y la selección de los recursos de apoyo al aprendizaje. (Wiley, D. A., 2014)



Figura 4. *Proceso del Diseño instruccional.*

La tercera etapa, desarrollo, implica la creación del entorno virtual. Esto puede incluir el diseño de la interfaz de usuario, la creación de contenidos multimedia y la programación del software necesario para el EVA. (Wiley,

D. A., 2014)

La última etapa, evaluación, es importante para asegurar que el EVA cumpla con los objetivos de aprendizaje y las necesidades de los estudiantes. La evaluación puede incluir pruebas piloto, encuestas de satisfacción de los usuarios y análisis de resultados de aprendizaje. (Wiley, D. A., 2014)

Estos procesos suelen estar por modelados o requisitos de modelado, que son establecidos mediante el desarrollo de un entorno virtual. Dentro de este proceso se encuentran varios tipos de modelados para los entornos virtuales.

- Modelado geométrico.
- Modelado cinemático.
- Modelado físico.
- Modelado del comportamiento.
- Modelado de la interacción.

El modelado geométrico, se encarga de la apariencia del objeto; el modelado cinemático, estudia los movimientos del objeto; el modelado físico, integra características físicas al objeto; el modelado del comportamiento, modela el comportamiento del objeto respecto a su posición y orientación; y el modelado de la interacción, se enfoca en la precisión de la interacción del usuario con el entorno virtual. El modelado de la interacción es fundamental en todo entorno virtual para lograr una experiencia cercana a la realidad. (Jesús David Cardona Quiroz, 2010)

V-A5. *Criterios de aceptación de un entorno virtual:*

Después de considerar la definición, características, tipos y ventajas, es importante establecer un criterio de aceptación que permita validar la investigación. La aceptación y validación de un entorno virtual de aprendizaje es un proceso crucial que garantiza la viabilidad de la plataforma. Los criterios de aceptación y validación están diseñados para garantizar que el entorno virtual cumpla con los estándares de calidad y satisfaga las necesidades del usuario. En general, los criterios de aceptación se refieren a los requisitos técnicos y funcionales del sistema, mientras que los criterios de validación se centran en la evaluación del rendimiento y la experiencia del usuario.

- Criterios de aceptación: Estos criterios se enfocan en la capacidad del sistema para manejar una gran cantidad de usuarios y datos sin afectar su rendimiento, así como su capacidad para ser compatible con otros sistemas, garantizar la privacidad y la seguridad de la información. Entre los criterios de aceptación, se incluyen:
 - Estabilidad: Es la capacidad del entorno virtual de mantenerse en funcionamiento sin interrupciones o fallas técnicas. Se puede considerar que un entorno virtual es estable si presenta una disponibilidad superior al 99 % del tiempo. (Basili et al., 2018).
 - Escalabilidad: Un entorno virtual es escalable cuando es capaz de adaptarse a la carga de trabajo y los requisitos de rendimiento. Se puede considerar que un entorno virtual es escalable si es capaz de aumentar su capacidad en función de la demanda, sin afectar significativamente su rendimiento o la experiencia del usuario (Chen et al., 2017).
 - Seguridad: Se refiere a la protección de los datos y la información almacenada en el entorno virtual, así como a la prevención de posibles ataques informáticos. Un entorno virtual seguro debería cumplir con las regulaciones y normativas de seguridad vigentes y contar con mecanismos de autenticación y autorización robustos (Tan et al., 2019).

- Usabilidad: Hace referencia a la facilidad de uso y la capacidad de los usuarios para interactuar de manera intuitiva con el entorno virtual. Se puede considerar que un entorno virtual es usable si los usuarios pueden realizar tareas comunes sin problemas y sin necesidad de capacitación previa. Un valor adecuado para la satisfacción del usuario es del 80 % o superior (ISO 9241-11).
- Interoperabilidad: Es la capacidad del entorno virtual de integrarse con otras aplicaciones y sistemas, lo que permite una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a diferentes contextos y necesidades. Un entorno virtual interoperable debería ser capaz de comunicarse y compartir datos con otros sistemas sin obstáculos significativos (Liu et al., 2018).
- Validación de un entorno virtual: Los criterios de validación se centran en la satisfacción del usuario y la efectividad del sistema para cumplir con los objetivos de aprendizaje. La validación implica la evaluación del contenido, la interactividad, la retroalimentación, la personalización, la accesibilidad y la compatibilidad con diferentes dispositivos. Estos criterios se enfocan en la calidad de la experiencia de aprendizaje que proporciona el entorno virtual y su capacidad para mejorar la efectividad del aprendizaje. (Pérez-Mateo, M., Guitert, M., Romeu, T. y Sangrà, A.,2011) .

Este proyecto incluirá una validación a través de una encuesta en la que los estudiantes podrán probar el entorno virtual y proporcionar una retroalimentación sobre su experiencia. En la siguiente sección se dan a conocer los entornos virtuales para fines educativos.

V-A6. *Entornos Virtuales para fines educativos:*

En esta sección, se estudiarán los entornos virtuales con fines educativos en el país para recopilar información que será utilizada en el desarrollo del proyecto. En Ecuador, empresas como Tech Simulation se dedican al diseño de simuladores en diferentes áreas profesionales, como la medicina, agricultura e ingeniería. Dentro de los proyectos que han desarrollado en el área de ingeniería, se encuentran simuladores de montacargas, retroexcavadoras, cargadoras frontales, entre otros. Además, la institución ATM de Ecuador cuenta con un simulador de vehículos livianos desarrollados por esta empresa (Ver Figura 5).



Figura 5. *Simulador de Vehículo liviano ATM.*

También, existen otros simuladores de aprendizaje, como el simulador de vuelo La Escuela de Aviación del Ejército Ecuatoriano, que se utiliza para capacitar a pilotos (Ver Figura 6). Estos simuladores facilitan el proceso de aprendizaje y dan como resultado una mejora en la seguridad y eficiencia en el manejo de emergencias. Aunque este simulador opera tanto de manera privada como pública, su uso es especialmente relevante en la capacitación de pilotos. (Vicepresidencia de la República del Ecuador, noticias, 2017)



Figura 6. Simuladores de vuelo para pilotos agrícolas y comerciales.

Estos entornos virtuales de aprendizaje se basan en un proceso de enseñanza mediante el uso de simulaciones. En este proyecto, se enfocará en la simulación de operaciones específicas de fresado.

V-B. Procesos de manufactura

El proceso de manufactura es un conjunto de actividades interrelacionadas que tienen como objetivo transformar materias primas en productos terminados. Según Groover (2014), los procesos de manufactura se pueden clasificar en cuatro categorías principales: procesos de conformado, procesos de remoción de material, procesos de unión y procesos de cambio de propiedad.

Los procesos de conformado incluyen la deformación plástica de un material para darle forma, tales como el forjado, la laminación, la extrusión y la estampación. En estos procesos, la materia prima se convierte en un producto deseado mediante la aplicación de fuerzas externas que cambian su forma, pero no su volumen. Por otro lado, los procesos de remoción de material, como el torneado, el fresado y el taladrado, se basan en la eliminación selectiva del material en bruto para obtener la forma deseada, como se observa en la Figura 7. (Mikell P. Groover, 2007)

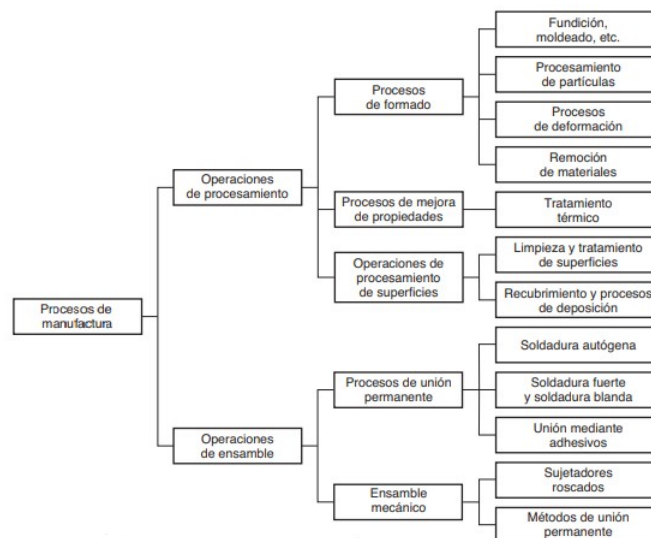


Figura 7. Clasificación de los procesos de manufactura según Mikell P. Groover.

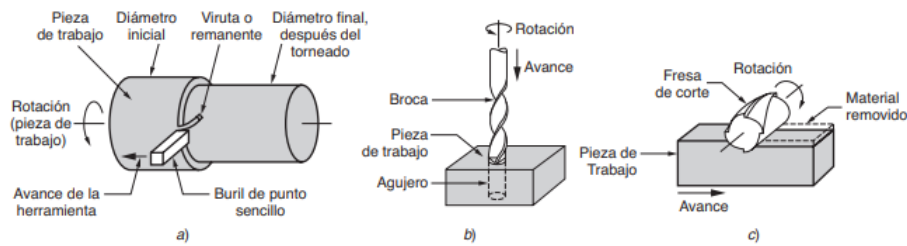


Figura 8. Operaciones comunes de maquinado (Mikell P. Groover, 2007).

De acuerdo con Mikell P. Groover (2007), existen ciertas operaciones comunes en el maquinado, las cuales incluyen: a) el torneado, que implica el uso de una herramienta de corte de un solo filo para extraer metal de una pieza de trabajo en rotación con el fin de reducir su diámetro; b) el taladrado, en el que una broca rotatoria se mueve dentro de la pieza de trabajo para crear un agujero redondo; y c) el fresado, en el que se utiliza un cortador de disco con diferentes filos de corte para seguir la forma de la pieza de trabajo. (Ver Figura 8)

El presente proyecto está basado en el proceso de fresado y sus operaciones, las cuáles serán analizadas en la siguiente sección.

V-C. Procesos de fresado

V-C1. Generalidades:

El fresado es una técnica de mecanizado utilizada para producir piezas con formas precisas y complejas, mediante el uso de una herramienta de corte rotativa llamada fresa. Durante el proceso de fresado, la fresa gira a alta velocidad mientras se mueve a lo largo de la superficie de la pieza de trabajo, eliminando material y creando la forma deseada. Esta técnica es ampliamente utilizada en diversas aplicaciones, desde la producción de piezas de metal para maquinaria y equipos, hasta la creación de moldes y matrices para la fabricación de productos de plástico y otros materiales (Richard R. Kibbe, Roland O. Meyer, Jon Stenerson y Kelly Curran. Wiley, 2015). En la Figura 9 se describen los tipos de operaciones de fresado.

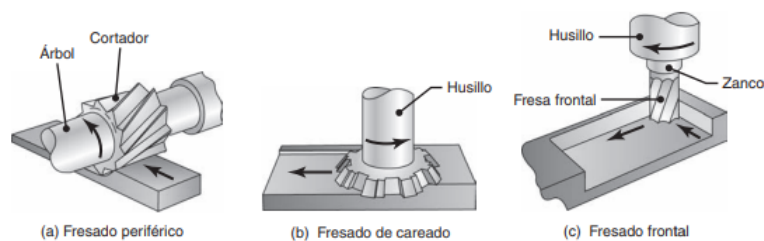


Figura 9. Operaciones de fresado: a) Fresado periférico, b) Fresado de careado, c) Fresado frontal.

- Fresado periférico: En el fresado periférico, la fresa gira alrededor de su eje mientras se mueve a lo largo del borde de la pieza de trabajo. Este proceso se utiliza principalmente para cortar ranuras y crear bordes perfilados. (M. F. Lin, 2013)
- Fresado de careado: En esta operación, la fresa se monta sobre el husillo donde su eje de giro es perpendicular a la zona de la pieza. El cortador gira a la velocidad de rotación y la pieza hace un camino recto a la velocidad lineal. (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)
- Fresado frontal: Esta operación de mecanizado es capaz de producir diferentes perfiles y zonas curvas. El cortador tiene 2 tipos de vástago, vástago recto y vástago cónico, el vástago recto se usa para cantidades

de baja proporción y el vástago cónico para cantidades de alta proporción. El cortador gira sobre un eje perpendicular al área de trabajo, en cuyo caso el cortador también puede ser manipulado para áreas cónicas o curvas. (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

- Fresadora Convencional y fresado concurrente: El cortador rota en el sentido de las manecillas del reloj o también en el sentido opuesto, en el fresado convencional el máximo espesor de las virutas se obtiene al final del corte, este método es el mas utilizado en la operación de fresado, su proceso de corte es fino siempre y cuando los dientes del cortador estén afilados. En el fresado concurrente el corte empezara en la superficie de la pieza de trabajo, donde la viruta sea mas gruesa, este método tiene una ventaja por lo que la fuerza de corte mantiene la pieza en su lugar, como se observa en la Figura 10a. (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

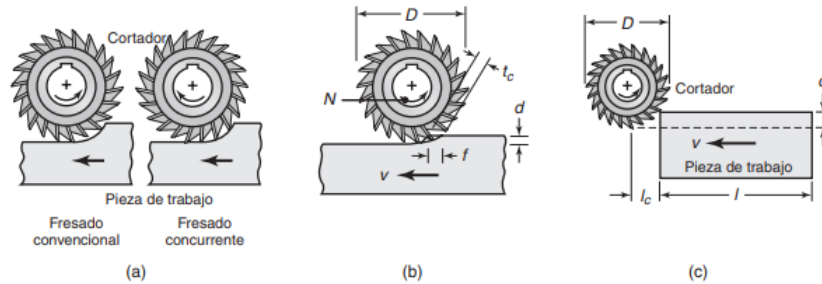


Figura 10. Tipos de operaciones de fresado: Convencional y concurrente.

V-D. Máquina y Herramientas

V-D1. Fresadora:

Una fresadora es una máquina herramienta utilizada en la industria para mecanizar materiales sólidos. Se utiliza principalmente para dar forma y acabado a las piezas de trabajo, cortar ranuras, crear superficies planas y curvas precisas, como se muestra en la Figura 11. El fresado permite procesar una amplia variedad de materiales, como madera, acero, fundición ferrosa, metales no ferrosos y materiales sintéticos.

Debido a la diversificación de los procesos de mecanizado y al aumento de la competitividad internacional, se han creado una gran variedad de fresadoras que tienen una base común pero difieren mucho según el campo industrial. Asimismo, los avances tecnológicos en el diseño y la calidad de las herramientas de fresado han hecho posible trabajar con filos de corte significativamente más altos, lo que lleva a tiempos de mecanizado significativamente más cortos. (Hernán Zapana Venegas, 2015)

Las fresadoras tradicionales mueven la pieza para acercar el área a mecanizar a la herramienta, lo que permite una amplia gama de posibilidades, desde áreas planas hasta áreas más complejas. Inventada a principios del siglo XIX, la fresadora se ha convertido en una máquina indispensable en el campo del mecanizado. Gracias al control numérico integrado, es la máquina herramienta más versátil por su amplia gama de posibilidades de mecanizado y flexibilidad en el proceso de creación.

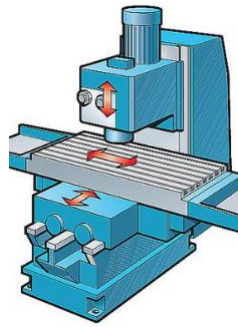


Figura 11. *Fresadora.*

V-D2. *Tipos de fresadoras:*

Máquinas tipo columna y codo. Usadas para operaciones de fresado de objetivo general, las máquinas tipo columna y codo son las fresadoras más frecuentes. El husillo en el cual se monta el cortador de fresado podría ser horizontal, para fresado periférico, o vertical, para operaciones de fresado de careado y frontal, mandrilado y taladrado. En las fresadoras tipo columna y codo universales, la mesa puede girar en el plano horizontal. Tal cual tienen la posibilidad de maquinarse formas complejas, como canales helicoidales a varios ángulos, para crear piezas como engranes, brocas, machuelos y cortadores (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008). Estas se pueden observar en la Figura 12.

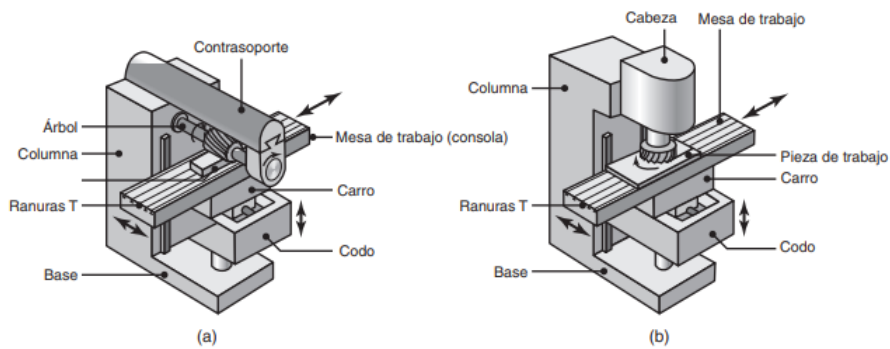


Figura 12. (a) *fresadora tipo columna y codo de husillo horizontal, y (b) fresadora tipo columna y codo de husillo vertical. Fuente: G. Boothroyd.*

La Figura 13 muestra una máquina tipo bancada, la pieza de trabajo se fija directamente sobre la bancada, la cual reemplaza al codo y solo puede moverse longitudinalmente. Esta máquina no es tan versátil como otros tipos, pero tiene una gran rigidez y se utiliza principalmente para trabajos de alta producción. (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

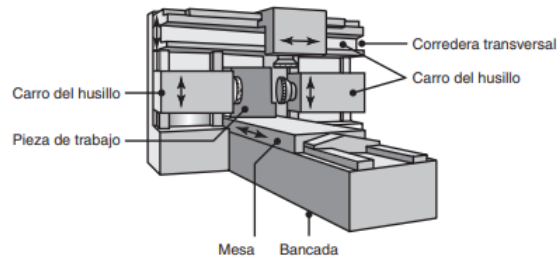


Figura 13. *fresadora tipo bancada.* (KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

Las fresadoras tipo cepilladora son semejantes a las máquinas tipo bancada, permanecen equipadas con distintas cabezas y cortadores para fresar diferentes áreas (Ver Figura 14). Las máquinas de mesa giratoria son semejantes a las fresadoras verticales y permanecen equipadas con una o más cabezas para operaciones de fresado de careado.(KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

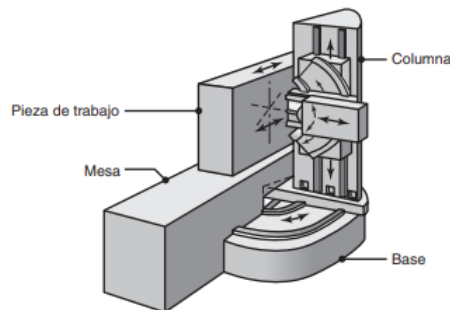


Figura 14. *Esquema de una fresadora de perfiles de cinco ejes.*(KALPAKJIAN, SEROPE, 2008)

V-E. *Fresadora Model-UE Serial N 1436N*

Este tipo de fresadoras son de categoría universal, estos modelos universales se utilizan para realizar operaciones más puntuales. Este tipo de fresadoras se organiza para trabajar mediante el movimiento de la mesa, en donde están fijadas las piezas, esta mesa puede desplazarse en tres diferentes movimientos: longitudinal, transversal y vertical. En la Tabla 1 se muestra la ficha técnica de la fresadora.

Marca	FEXAC
Modelo	UE
Tipo	UNIVERSAL
Dimensiones mesa	1100 x 240 mm
Recorrido longitudinal X	750 mm
Recorrido transversal Y	250 mm
Recorrido vertical Z	425 mm
Nº de Avances	9
Avance longitudinal y transversal	12-280 mm
Avance Vertical	5,4-152 mm
Potencia	2.2 Kw
Cono	ISO 40
Peso aproximado máquina	1450 kg
Dimensiones de la máquina	1570x1180x1510 mm
Gama de velocidades	12, 48-1500 rpm

Tabla I
Características técnicas.

V-EI. Componentes principales de la Fresadora Model-UE Serial N 1436N:

En esta sección se explicará los principales componentes de la fresadora Fexac Model-Ue Serial N 1436N. Sus componentes principales son los siguientes:

- Bancada: Es uno de los componentes principales de una fresadora, ya que es la estructura que soporta todos los demás componentes. La bancada debe ser lo suficientemente rígida para resistir las vibraciones y las fuerzas de corte generadas durante el fresado. En general, la bancada de una fresadora está hecha de fundición de hierro o acero.
- Mesa de trabajo: Es donde se monta la pieza, la cual, al estar fija, la mesa puede hacer diferentes desplazamientos para realizar el mecanizado. Las fresadoras universales pueden realizar desplazamientos hacia la derecha o hacia la izquierda.
- Cabezal: Está ubicado en la parte superior de la bancada. Este contiene el husillo, que es el eje rotatorio que sostiene la herramienta de corte.
- Husillo: Esta parte sostiene la herramienta de corte y la que proporciona de movimiento. El husillo también tiene garras ajustables en donde se pueden adaptar diferentes piezas de trabajo.
- Base: Es la parte inferior de la máquina que sostiene todos los componentes y proporciona estabilidad y rigidez durante el fresado.

En la Figura 15 se muestra los componentes principales de la fresadora.

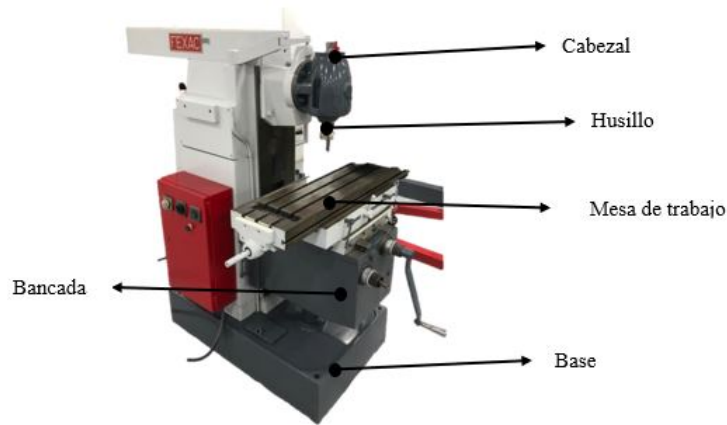


Figura 15. Fresadora Model-UE Serial N 1436N de la UPS.

V-E2. Parámetros de fresado:

En esta sección se definirán los parámetros de fresado, los cuales son importantes para garantizar la calidad del fresado y la duración de la herramienta. Los tres parámetros principales son la velocidad de corte, la velocidad de avance y la profundidad de corte.

- Velocidad de corte: se refiere a la velocidad a la que gira la herramienta de corte y se mide en metros por minuto (m/min). Esta velocidad se determina por el tipo de material que se está fresando y la herramienta de corte utilizada. Una velocidad de corte demasiado alta puede causar un desgaste prematuro de la herramienta, mientras que una velocidad demasiado baja puede provocar una mala calidad del fresado (Lucca, D. A. y Chiaverini, L. S., 2013). En donde:
 - D es el diámetro de la herramienta [mm]
 - n es la velocidad de giro [rpm]

$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1)$$

- El avance por diente: es la velocidad a la que avanza el corte, la rugosidad obtenida depende de la componente de desarrollo y del radio (Hernán Zapana Venegas, 2015). En donde:
 - Vf Velocidad de avance
 - Zc Número de dientes

$$F_z = \frac{V_f}{Z_c \cdot n} \quad (2)$$

- Velocidad de avance del banco de trabajo: Es la velocidad a la que la herramienta se mueve a través del material y se mide en metros por minuto (m/min). (Lucca, D. A. y Chiaverini, L. S., 2013)

$$V_f = F_z \cdot Z_c \cdot n \quad (3)$$

- Profundidad de pasada: se refiere a la cantidad de material que se elimina en una sola pasada de la herramienta y se mide en milímetros (mm). Esta profundidad se determina por la dureza del material y la herramienta

utilizada. (Lucca, D. A. y Chiaverini, L. S., 2013) En donde se tiene que:

- p profundidad de corte
- n Número de pasadas

$$A_p = \frac{p}{n} \quad (4)$$

- Velocidad de giro: La velocidad del husillo de la herramienta se denomina velocidad de giro. Esta velocidad depende de muchas herramientas debido al motor principal y al número de marchas de la caja de cambios de la máquina. (Hernán Zapana Venegas, 2015)

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (5)$$

- Espesor y sección de la viruta: La relación entre el aumento por diente de la fresa (fz) y la profundidad de paso (p) es la porción de la viruta. El fragmento de viruta también está relacionado con el tipo de fresado realizado. (Hernán Zapana Venegas, 2015)

$$S = p \cdot Fz \quad (6)$$

- Fuerza de corte: Es una medida de la fuerza necesaria para cortar un material durante el proceso de fresado. La fuerza de corte se compone de varias fuerzas diferentes que actúan en diferentes direcciones y que son afectadas por varios factores, como la velocidad de corte, la profundidad de corte y el ángulo de inclinación de la herramienta de corte.

La fuerza de corte es un parámetro que debe ser considerado para evitar daños y deformaciones de la herramienta y del corte y poder calcular la potencia indispensable para realizar el mecanizado especificado. Este parámetro es una función del progreso del fresado, la velocidad de corte, la maquinabilidad del material, la dureza del material, las propiedades de la herramienta y el grosor promedio de la viruta. Todos estos componentes se alimentan en un coeficiente denominado fuerza específica de corte (kc), que se expresa en N/mm². (Guillermo Bavaresco, 2016). En la Figura 16 se observa el fresado en oposición y en concordancia y de como actúan las fuerzas de corte.

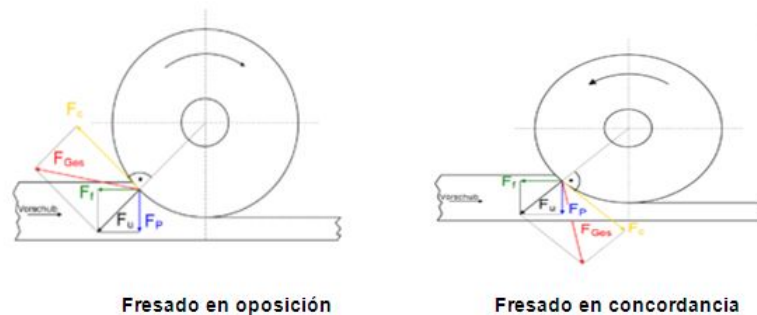


Figura 16. Fuerza específica de corte en el fresado de oposición y de concordancia.

La fuerza de corte se utiliza para definir el esfuerzo cortante que actúa a lo largo del plano de corte entre la pieza en bruto y la viruta. Dado en Kc, que es el esfuerzo cortante específico y S el espesor y sección de viruta (Ver Figura 17):

$$F = K_c \cdot S \quad (7)$$

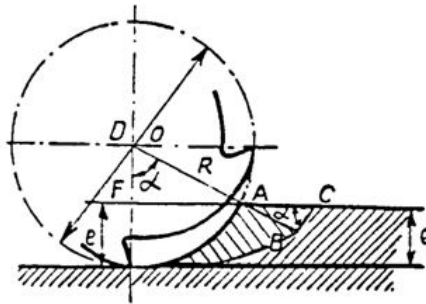


Figura 17. La fuerza máxima de corte se desarrolla en la sección máxima de la viruta (Guillermo Bavaresco, 2016)

- **Potencia de corte:** La potencia de corte básica (P_c) para una operación de mecanizado definida, normalmente expresada en kW (Kw), se calcula a partir del coste de arranque de viruta, la fuerza de corte especificada y el rendimiento de la fresadora. Esta fuerza de corte específica (k_c) es una constante que se establece en función del tipo de material a mecanizar, la geometría de la herramienta, el espesor de la viruta, etc. Para obtener un buen costo de potencia, se debe separar el costo obtenido con un costo adimensional que tenga en cuenta el rendimiento del motor. Este costo es una interacción con el poder de corte positivo, es decir, el poder primario de la herramienta. Con respecto a la potencia consumida por el motor de accionamiento principal de la máquina. (Guillermo Bavaresco, 2016)

$$P_c = \frac{a_p \cdot a_e \cdot V_f \cdot K_c}{60s/min \cdot 10^3 \cdot 10^3 \cdot E} \quad (8)$$

V-F. Defectos de fresado

En esta sección se busca establecer los defectos del fresado que pueden ocurrir al momento de trabajar en una pieza, y estos mismos implementarlos como un sistema de alerta en la simulación.

- **Fallo por fractura.** Es causado por fuerzas de corte que no son adecuadas para el material de la herramienta, geometría que no cumple con las condiciones de corte o el impacto del corte discontinuo (Antonio Guarnido Barrera, 2010).
- **Fallo por temperatura.** Esto ocurre cuando la temperatura de funcionamiento de la herramienta es demasiado alta para el material. Esto ablanda el material y hace que pierda su forma geométrica predefinida. Por lo tanto, los parámetros de corte cambian debido a cambios en el ángulo de incidencia, el ángulo de pelado, el radio de la punta, etc. Otros producen un acabado superficial indeseable en la pieza mecanizada (Antonio Guarnido Barrera, 2010). En la Figura 18 se observan la distribuciones de temperatura.
- **Desgaste progresivo.** Este es el desgaste gradual del filo de la herramienta causado por la fricción con la herramienta. Esto es inevitable, pero un análisis adecuado de las condiciones de mecanizado puede optimizar el proceso (Antonio Guarnido Barrera, 2010).

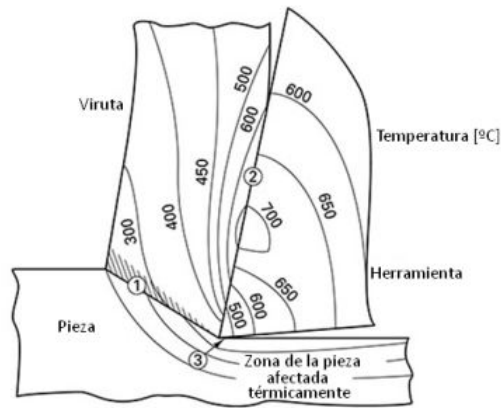


Figura 18. Distribución de temperaturas en las zonas de corte.

V-F1. Mecanismo de desgaste en herramientas:

A continuación se describen los mecanismos de desgaste que pueden ocurrir en la herramienta

- Abrasión.

Se da cuando las partículas duras del material de la pieza raspan y extraen partículas de la herramienta. Esto se ocasiona en todo tipo de desgastes, pero principalmente con el desgaste progresivo, Figura 19 (Antonio Guarnido Barrera, 2010).

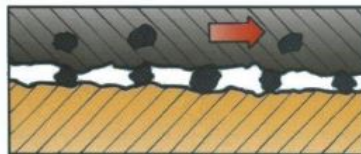


Figura 19. Desgaste por abrasión según Antonio Guarnido Barrera.

- Adhesión.

Esto ocurrirá entre la pieza y el material de la herramienta cuando entran en contacto a alta temperatura y máxima presión, dando así una soldadura. A partir de que la viruta pasa a través de la herramienta, arranca pequeñas partículas de la herramienta y desgasta la superficie, Figura 20 (Antonio Guarnido Barrera, 2010).



Figura 20. Desgaste por adhesión según Antonio Guarnido Barrera.

- Difusión.

Se basa en el intercambio de átomos entre la zona de contacto herramienta-pieza o herramienta-viruta de manera que la herramienta se queda sin átomos, lo que provoca que cambie sus características en esa región. Entre ellos, puede perder dureza, lo que le permite distorsionar su forma geométrica y producir malos acabados.

El área del instrumento se vuelve más sensible a la abrasión y al desgaste cohesivo. Se cree que la difusión es el principal mecanismo de desgaste en la cara inclinada, Figura 21. (Antonio Guarnido Barrera, 2010)



Figura 21. *Desgaste por difusión según Antonio Guarnido Barrera.*

VI. MARCO METODOLÓGICO

El presente proyecto se desarrolló siguiendo las etapas mencionadas en la sección V-A4 (Ver Figura 22), la cual consta de cuatro partes: la fase de análisis, donde se determinan las características adecuadas para el software; la fase de diseño de la interfaz y modelado CAD de la fresadora hasta su representación virtual; la fase de desarrollo, que implica la programación de movimientos y funciones de la fresadora; finalmente, la fase de validación del software (Véase en la sección de anexos).

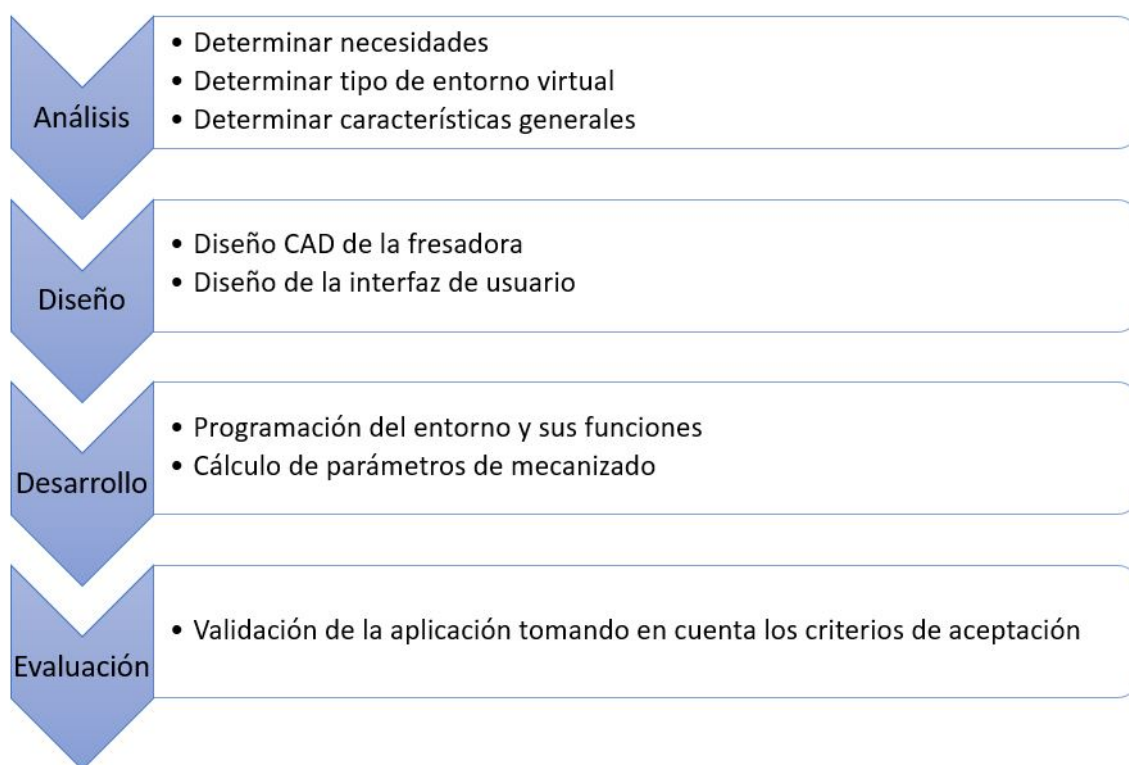


Figura 22. *Procedimiento de desarrollo.*

Actualmente, el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana cuenta con 2 fresadoras para prácticas de mecanizado. Sin embargo, alrededor de 135 de estudiantes requieren realizar prácticas en las fresadoras. Debido a la cantidad de estudiantes, las limitaciones de espacio y equipos, es necesario distribuir grupos de hasta 10 estudiantes para realizar las prácticas correspondientes. Estas prácticas tiene un duración de 120 minutos en la que los estudiantes deben turnarse entre ellos para culminar la práctica.

El tipo de entorno seleccionado en que se basó el proyecto fue, el entorno virtual inmersivo, debido a que estos tipos de entornos captan un espacio físico para replicarlo en 3D. Luego, se definieron las características del entorno virtual. Es accesible debido a que la aplicación no requiere instalación, es de libre acceso y de pocos requisitos de sistema. La aplicación es interactiva ya que permite controlar los diferentes componentes de la fresadora. El entorno es personalizable ya que al contar con un modo libre se adapta a las necesidades del usuario. Para la flexibilidad del entorno ofrece 4 rutas de aprendizaje, que se adaptan las decisiones del usuario. La interfaz ofrece continuamente una retroalimentación de los parámetros de corte y en caso de provocar un falla, esta explicará cómo solucionarlo para evitar problemas futuro.

La siguiente sección se centrará en el diseño CAD de la fresadora para que pueda ser exportada hacia el software de desarrollo.

VI-A. *Diseño CAD de la fresadora.*

Para lograr una representación virtual real de la fresadora FEXAC MODEL-UE Serial N 1436N, fue necesario conocer sus medidas externas. Es decir, se obtuvieron las mediciones correspondientes de la fresadora que se encuentra en los laboratorios de manufactura de la UPS (Véase Plano en Anexos). Luego, con ayuda del software CAD, se diseñó la fresadora con sus respectivas medidas y se ensambló todas las piezas (Ver Figura 23).

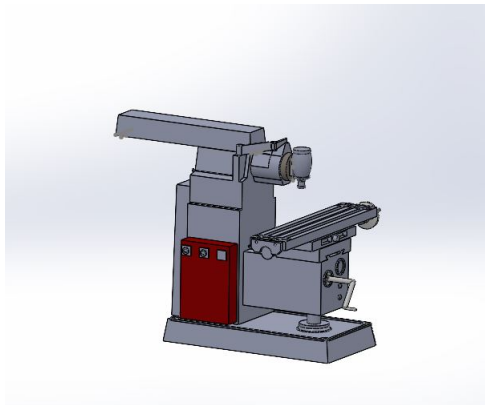


Figura 23. *Diseño de fresadora en Software CAD.*

Como se mencionó anteriormente, solo se realizará una representación estructural de la fresadora. Una vez obtenido el modelo CAD de la estructura externa del equipo y culminado el diseño, este se exportó como un archivo .STL y luego fue importado al programa Blender.

VI-B. *Software de Modelado 3D*

Estos programas permiten realizar animaciones y modelados para desarrollar un entorno virtual de simulación. Al finalizar el diseño CAD de la fresadora, se deberá exportar el modelado a Unity. Unity acepta la importación de modelos 3D en diferentes formatos.

Primero, se exportó el archivo CAD de SolidWorks como formato .stl a Blender (Ver Figura 24). En Blender se realizó una segunda exportación a Unity como formato .FBX (Ver Figura 25). Este doble proceso se puede obviar siempre y cuando se cuente con un software que permita una exportación directa. Sin embargo, las aplicaciones dedicadas a exportaciones de documentos ingenieriles en 3D, como Pixyz, son de pago.

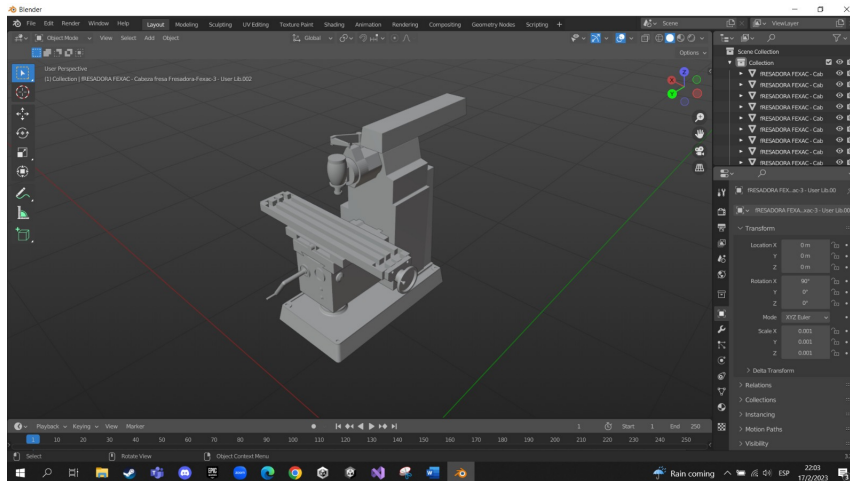


Figura 24. Modelado de fresadora en blender.

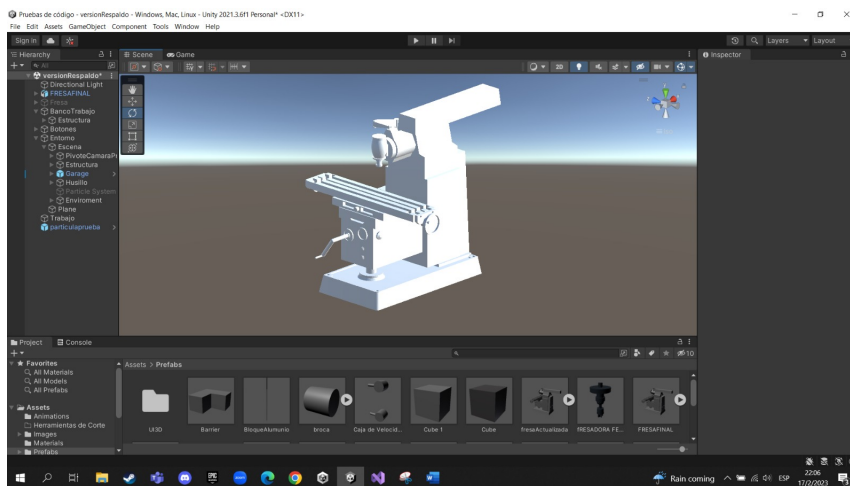


Figura 25. Modelado de fresadora en Unity 3D.

A continuación, en la siguiente sección se identificó el funcionamiento de la fresadora con sus respectivas características.

VI-C. Identificación de Funcionamiento y parámetros mecanizado de la fresadora.

Con el fin de que la representación de la fresadora FEXAC MODEL-UE Serial N 1436N cuente con las mismas funcionalidades y limitaciones, es necesario comprender cómo funciona cada componente para luego implementarlo en el entorno virtual. Como restricciones está el paro de emergencia de la máquina, así como también las restricciones de movimiento que se pueden ver en la ficha técnica tabla 1.

En el funcionamiento, la máquina fresadora estará establecida con palancas, las cuales seleccionarán, de manera manual, los rangos de velocidades de corte y de avance, con el respectivo eje que se vaya a mover (X, Y o Z). De esta manera, los estudiantes se capacitarán simultáneamente en el uso de la máquina real. En la siguiente sección, ya identificado el respectivo funcionamiento y restricciones que tiene la fresadora, se implementarán en el programa de desarrollo Unity 3D.

VI-D. Implementación parámetros de mecanizado.

A partir de la información obtenida sobre la máquina fresadora y su funcionamiento, así como sus restricciones, se incluyeron en el entorno virtual con el respectivo modelo 3D de la fresadora. Esto implica que el entorno virtual pasó por procesos de agregados tanto de la parte funcional y parámetros de mecanizado como de restricciones. Adicionalmente, se incorporaron materiales para realizar distintos tipos de mecanizados. Estos agregados están implementados en el programa de desarrollo Unity 3D mediante scripts.

VI-D1. Interfaz:

La interfaz de usuario se compone principalmente de un menú principal y una zona de trabajo. En el menú principal se pueden observar las opciones "Modo Libre", "Prácticas", tal como se muestra en la Figura 26. El "Modo Libre" permite mecanizar piezas según las decisiones del usuario, mientras que las "Prácticas" son asistidas y requieren completar un determinado número de pasos para finalizarlas.



Figura 26. Interfaz del Menú principal.

La zona de trabajo incluye varios elementos de la interfaz que permiten realizar el proceso de mecanizado, como un generador de material a mecanizar, un medidor de desplazamiento, ventana para la selección de herramientas de corte, vista de los parámetros de corte, un selector de velocidad de giro y control de avance (Ver Figura 27). A continuación, se explica la función de cada uno de estos elementos:

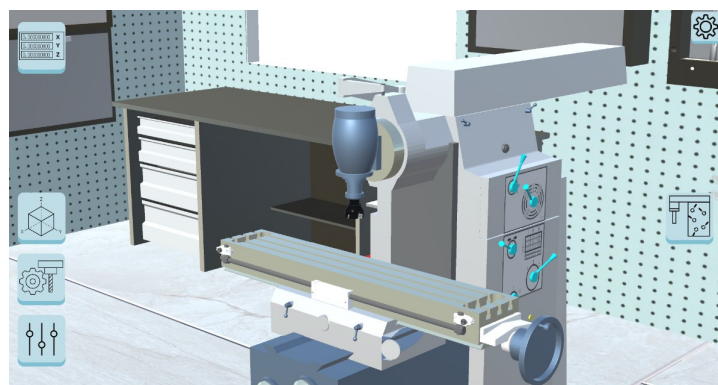


Figura 27. Zona de trabajo del software.

En la Figura 28 se muestra el ciclo de trabajo de la aplicación mediante un diagrama de flujo.

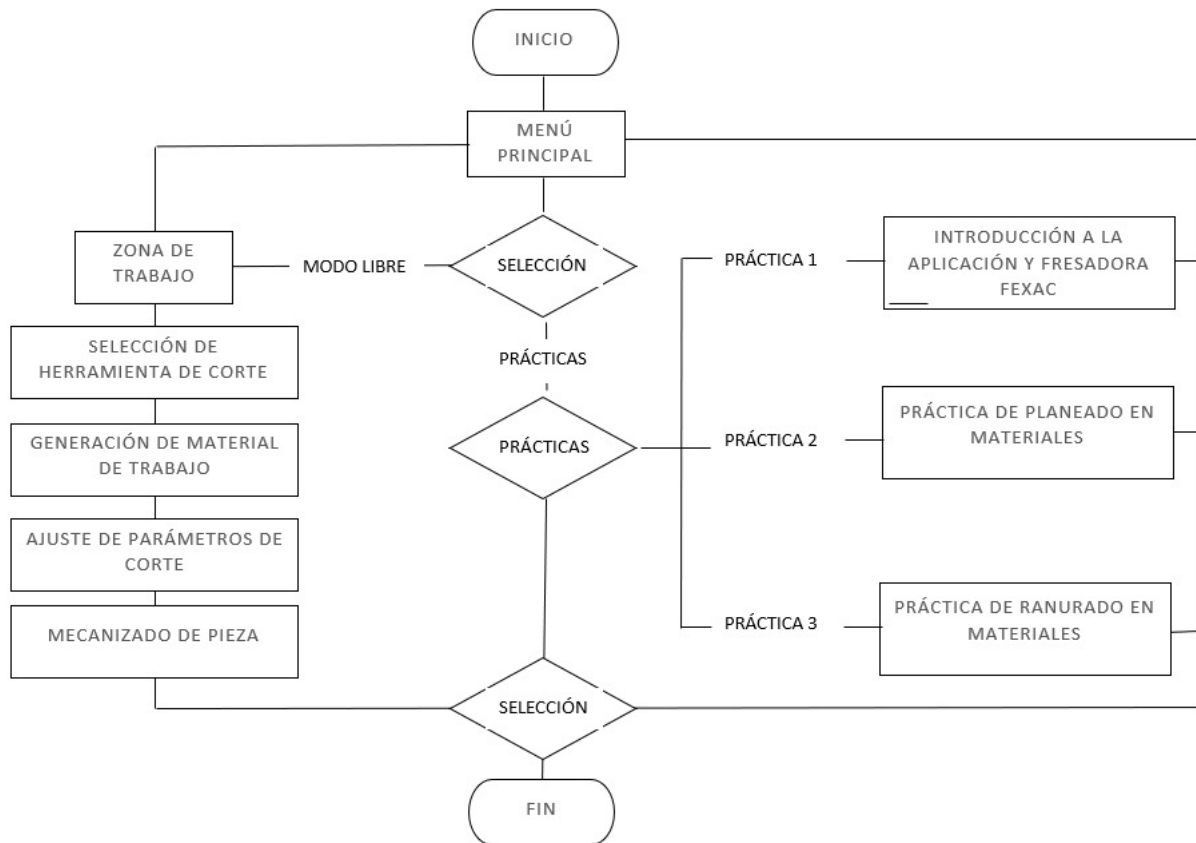


Figura 28. Diagrama de flujo del ciclo general del software.

- Caja de velocidades del husillo.

La velocidad de giro del husillo está determinada por la caja de velocidades, como se muestra en la Figura 29, se compone de dos palancas. La primera palanca se encarga de seleccionar un grupo de velocidades, mientras que la segunda palanca se utiliza para seleccionar una velocidad en concreto.



Figura 29. Caja de velocidades de la fresadora.

La caja de velocidades del husillo está agregada como una interfaz, para fácil manejo del programa, como está establecido en la Figura 30.

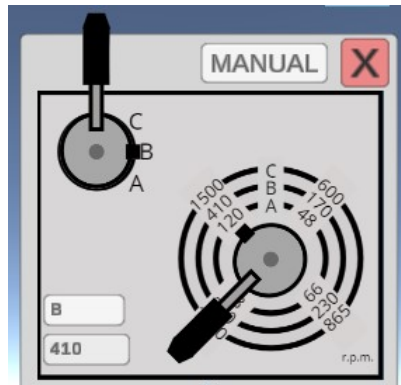


Figura 30. *Interfaz de caja de velocidades del husillo.*

- Avance del banco de trabajo.

El banco de trabajo dispone de dos tipos de avance: manual y automático. El avance manual se determina por la cantidad de vueltas que se den en la manivela o volante correspondiente, y se traduce en un desplazamiento de 5 mm por cada vuelta completa. Por lo tanto, el avance manual se calcula en función de la cantidad de vueltas en relación con el tiempo. En cuanto al avance automático, este se rige por una caja de cambios similar a la de velocidades del husillo.

La Figura 31 muestra un ejemplo de avance manual, mientras que la Figura 32 muestra su representación en la interfaz en el entorno virtual.



Figura 31. *Avance manual de la máquina.*



Figura 32. Interfaz del avance manual.

En la Figura 33 se puede apreciar la caja de cambios para avances automáticos y en la Figura 34 su representación en el entorno virtual.



Figura 33. Caja de cambios para avances automáticos.

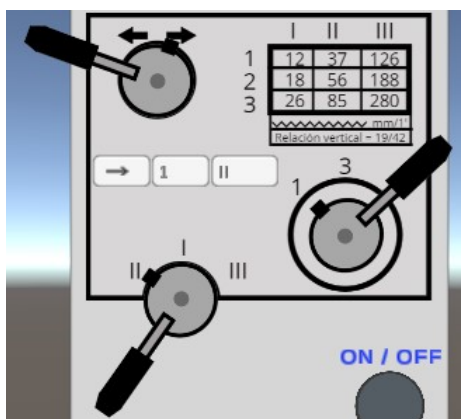


Figura 34. Interfaz de caja de cambios para avances automáticos.

- Movimiento del banco de trabajo.

El movimiento del banco de trabajo se determina mediante el avance, ya sea de forma manual o automática. El avance del banco se mide en unidades de mm/min, sin embargo, es necesario realizar una conversión a mm/seg, dado que Unity trabaja en segundos y no en minutos. Además, para que el banco se desplace en el eje positivo o negativo, se debe agregar una variable que represente el "sentido de giro", que tendrá valores de 1 o -1.

- Medidor de desplazamiento.

En la aplicación, a diferencia de las prácticas reales, no es posible medir manualmente el desplazamiento. Por este motivo, se diseñó un medidor de desplazamiento, como se muestra en la Figura 35. Este medidor se activa en cada eje al presionar el primer botón, y guarda la posición inicial en dicho eje. A partir de ese momento, la posición final se actualizará continuamente hasta que el usuario decida reiniciar el contador con el segundo botón.

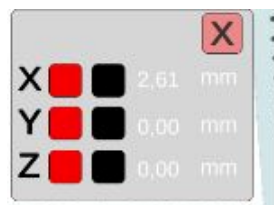


Figura 35. Interfaz de medidor de desplazamiento.

- Generación de material de trabajo.

El generador de materiales es una herramienta útil para el proceso de mecanizado en la aplicación, ya que permite crear trabajos con dimensiones y materiales específicos que se adapten a las necesidades del usuario (Ver Figura 36). Al ingresar las dimensiones físicas y el material deseado en el generador, se puede obtener un material de trabajo adecuado para el mecanizado.

El material de trabajo está formado por pequeños cubos escalados en el eje Z, representando cada uno un milímetro. El generador de material crea un clon de este cubo base por cada milímetro en el plano XY, de manera que el eje Z representa la altura del material. De esta manera se obtuvo una representación precisa

del material de trabajo (Ver Figura 37).

Es importante tener en cuenta que las dimensiones del material estarán limitadas por las dimensiones de la mesa de trabajo. Esto significa que, si se desea un material con dimensiones mayores que las de la mesa de trabajo, se tendrán que considerar otras opciones.

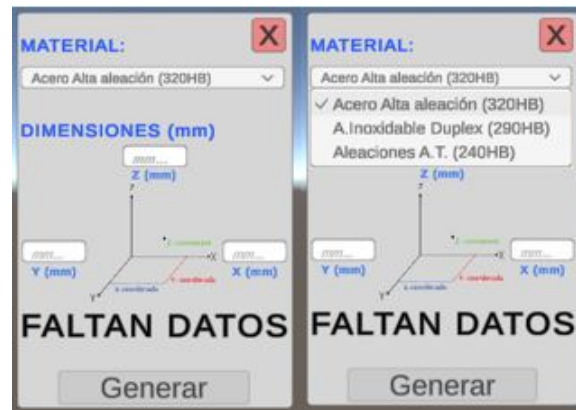


Figura 36. Interfaz del generador de trabajo y su lista de materiales.

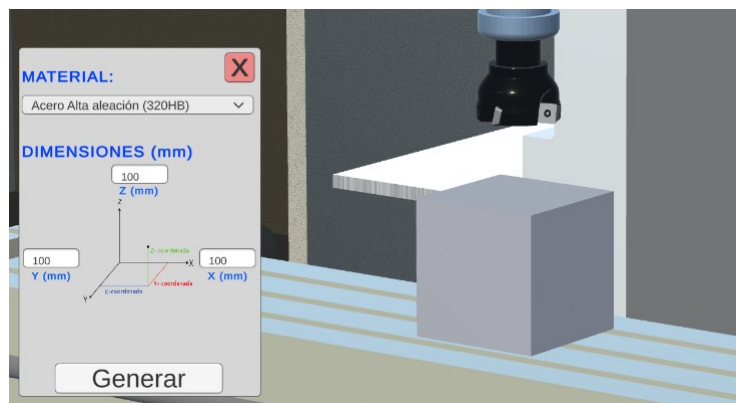


Figura 37. Material de trabajo generado.

- Cambio de herramienta de corte.

El software cuenta con tres herramientas diferentes cada uno con insertos diferentes. Para esto se creó un apartado que permita al usuario seleccionar entre estas opciones, cómo se puede observar en la Figura 38.



Figura 38. *Interfaz de cambio de herramienta.*

- Corte de material y obtención de la profundidad de corte.

Para simular el proceso de corte, es necesario determinar la zona de corte de cada herramienta, como se muestra en la Figura 39. Esta zona de corte cumplirá dos funciones primordiales: detectar la profundidad de corte y realizar el corte en el material de trabajo. En el primer frame en que la herramienta de corte toca el material de trabajo, se calcula la profundidad de corte, tomando en cuenta la posición de la herramienta menos la altura de la sección que está colisionando.

Luego, se verificará si la profundidad de corte está dentro de los parámetros establecidos por el fabricante. Si está dentro de los parámetros, la zona del material que está en contacto con la herramienta tendrá una altura igual a su altura actual menos la profundidad de corte calculada. En caso de estar fuera de los parámetros, la pieza se romperá y se mostrará un aviso al usuario indicando lo sucedido y qué hacer para evitar esta falla. El diagrama de flujo de la Figura 40 muestra el proceso de corte en el material.

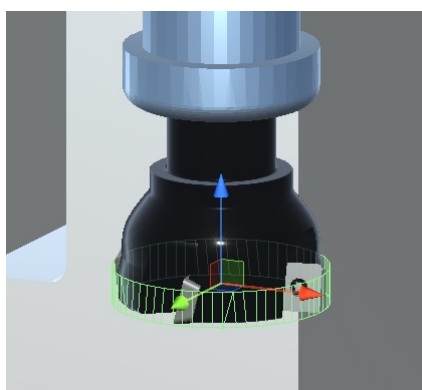


Figura 39. *Zona de corte de la herramienta.*

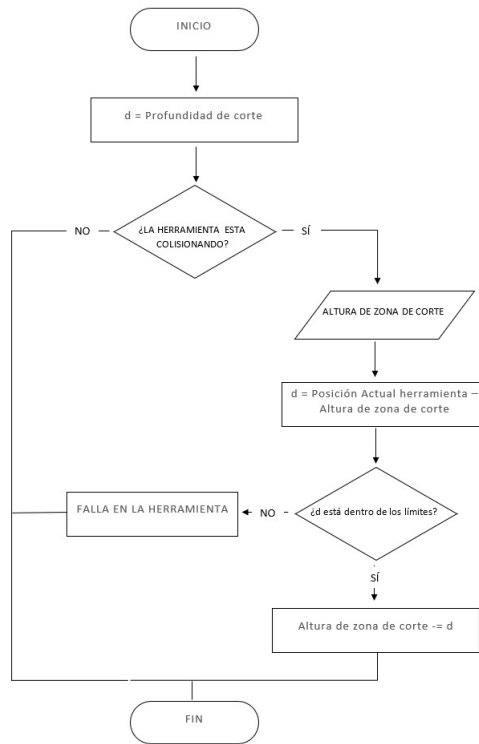


Figura 40. Diagrama de flujo de corte del material.

- Valores de parámetros de corte.

La aplicación dispone de una ventana que muestra los parámetros de corte en tiempo real, los cuales se actualizan y varían según el material y la herramienta de corte seleccionados. Como una función adicional, estos parámetros cambiarán de color si se exceden los límites establecidos por la herramienta de corte, como se puede observar en la Figura 41.



Figura 41. Interfaz de valores de los parámetros de corte.

- Alertas de advertencia.

En caso de que los parámetros excedan sus límites, la aplicación mostrará continuamente mensajes de advertencia en la parte superior de la interfaz como se puede observar en la Figura 42 para que el usuario corrija dichos parámetros.



Figura 42. Alerta de advertencias.

- Fallas.

En caso de que la herramienta de corte exceda los límites establecidos durante un período prolongado de tiempo, se generarán fallas correspondientes al parámetro que no se respetó. Estas fallas provocarán que la posición de la herramienta de corte se restablezca a su posición original, detendrán el husillo y mostrarán un mensaje al usuario indicando el tipo de falla y cómo evitar que vuelva a suceder en el futuro.

Para este proyecto, se seleccionaron cuatro tipos de fallas: cráteres en insertos, astillamiento en insertos, rotura de insertos y falla en motor. Las Figuras 43, 44, 45, 46 muestran cada una de las fallas respectivamente.



Figura 43. Alerta por fallo de cráter.



Figura 44. Alerta por fallo de astillamiento.



Figura 45. Alerta por fallo de rotura.

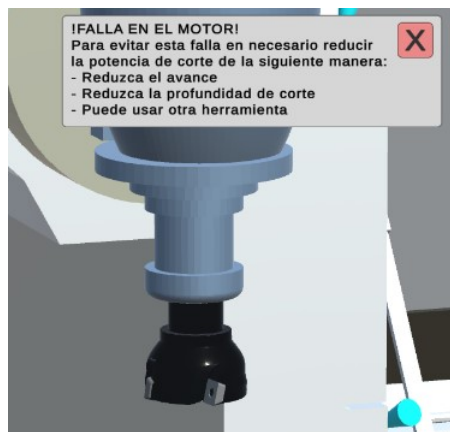


Figura 46. Alerta por fallo de motor.

VI-D2. *Parámetros de mecanizado, respectivos cálculos en el entorno virtual:*

En esta sección los parámetros de mecanizado se verán implementados mediante script en el programa de desarrollo, igual que la sección anterior. Entre los parámetros que se implementaron están los siguientes:

- Cálculos de parámetros de mecanizado.

Para los cálculos se utilizaron las fórmulas mencionadas en la sección V-E2. Además, es importante considerar las recomendaciones establecidas por el fabricante de las herramientas de corte disponibles, las cuales serán implementadas en el entorno virtual. Se seleccionó tres herramientas de corte disponibles en el laboratorio de manufactura, los parámetros de corte varían en función del material a mecanizar.

Los cálculos se realizaron dependiendo del material, para el presente proyecto se seleccionó tres materiales, uno por cada herramienta, es decir, que para la primera herramienta sus cálculos serán en base al acero, para la segunda herramienta sus cálculos serán en base al acero inoxidable y para la tercer herramienta sus cálculos serán para aleaciones. Ya que una vez la formula queda establecida en el entorno virtual, al cambiar la herramienta cambiara sus características y presentara nuevos valores. La primera herramienta será la que se muestra en la Figura 47.

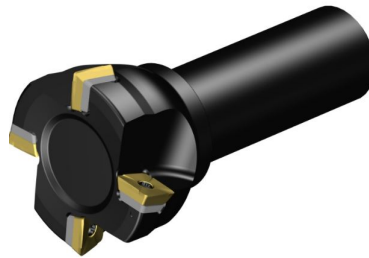


Figura 47. Primera herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.

Material Group	Gr. N°	VDI Group	Material Examples*	Hardness	D.O.C. [mm]		Feed [mm/rev]		V _c [m/min]		Optimal cutting conditions		
					min	max	min	max	min	max	D.O.C.	Feed	V _c
Steel	1	1	C35, Ck45, 1020,	125 HB	0.5	9.0	0.13	0.26	190	330	2.0	0.17	250
		2	1045, 1060,	190 HB		9.0	0.26	300				220	
		3	26Mn6	250 HB		9.0	0.26	250				200	
	2	6	42CrMo4, S150,	180 HB		9.0	0.11	0.21	150	240	2.0	0.15	200
		4,6	Ck60, 4140, 4340,	230 HB	0.5	9.0	0.11	0.21	150	210		0.15	180
		5,7	100Cr6	280 HB		9.0		0.18	130	190		0.13	150
		8		350 HB		9.0		0.18	130	170		0.13	140
	3	10		220 HB		6.4		0.18	90	150		0.13	130
		11	X40CrMo5	280 HB	0.5	6.4	0.08	0.15	60	110	1.5	0.12	100
		11	H13, M42, D3, S5-S-2, 12M19	320 HB		6.4		0.15	60	90		0.12	80
4	14	304, 316,	180 HB	0.5	9.0	0.11	0.21	190	250	2.0	0.15	220	
	14	X5CrNi18-9	240 HB		9.0	0.08	0.18	180	210			190	
	5	X2CrNi23-4,	290 HB	0.5	6.4	0.08	0.15	70	130	1.5	0.12	100	
	5	S31500	310 HB		6.4		0.15	100				90	
6	12	410, X6Cr17,	200 HB	0.5	9.0	0.11	0.21	150	210	2.0	0.15	190	
	13	17-4 PH, 430	42 HRC		6.4		0.16	90	150	1.5	0.12	130	
	15	GG20, GG40,	150 HB		9.0		0.26		240			200	
7	15	EN-GJL-250,	200 HB	0.5	9.0	0.13	0.26	150	220	2.0	0.17	180	
	16	Ns308	250 HB		9.0		0.26		190			160	
	17,19		150 HB		9.0		0.23		200			180	
8	17,19	GGG40, GG670,	200 HB	0.5	9.0	0.11	0.23	100	180	2.0	0.15	150	
	18,20	50005	250 HB		9.0		0.23		150			130	
	18,20		250 HB		9.0		0.23		150			130	
9	31,32	Incoy 800	240 HB	0.5	6.4	0.08	0.15	25	45	1.5	0.12	32	
	33	Incoy 700	250 HB		6.4		0.15		45			30	
	34	Stellite 21	350 HB		6.4		0.15		45			30	
10	36	TiAl6V4	-	0.5	6.4	0.08	0.15	40	85	1.5	0.13	55	
	37	T40	-		6.4		0.15	30	55		0.12	40	
	38	X100CrMo13,	45 HRC		3.2		0.15		80	1.0	0.10	60	
11	38	440C,	50 HRC	0.5	1.9	0.07	0.13	40	70	0.8	0.09	55	
	38	G-X260NiC42	55 Hrc		1.0		0.11		60	0.5	0.09	50	
	40	Ni-Hard 2	400 HB	0.5	2.6	0.07	0.15	40	80	0.8	0.10	50	
	41	G-X300CrMo15	55 HRC	0.5	1.0	0.07	0.11	30	60	0.5	0.09	40	
	41		55 HRC		1.0		0.11	30	60	0.5	0.09	40	
12	25	AlSi12	130 HB	0.5	9.0	0.13	0.26	200	400	2.0	0.18	280	

Figura 48. Catálogo de Lamina technologies.

En la Figura 48, las partes señaladas serán los valores que tendrá la herramienta según el material. El primer material es el Acero, entonces como ya se tiene la velocidad de corte (V_c), se podrá obtener la velocidad de giro utilizando la ecuación 4. Para el diámetro de corte (D_c) de la herramienta estará dado por el catálogo de la empresa Sandvik Coromant

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c}$$

Cuando la Velocidad de corte es mínima, la velocidad de giro del husillo será:

$$n = \frac{60 \cdot 1000}{\pi \cdot 63}$$

$$n = 303,15227(rpm)$$

Cuando la Velocidad de corte es máxima, la velocidad de giro del husillo será:

$$n = \frac{110 \cdot 1000}{\pi \cdot 63}$$

$$n = 555,7791(rpm)$$

Si se requiere comprobar, se puede utilizar la ecuación 1 para obtener la velocidad de corte y verificar si da el mismo valor de la tabla.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}$$

Cuando n es el valor mínimo:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 63 \cdot 303,15227}{1000}$$

$$V_c = 60(m/min)$$

El siguiente parámetro es la obtención de la velocidad de avance (V_f), ya que en este caso se tiene el avance por diente (F_z) gracias a la tabla que se encuentra en la Figura 36. Entonces con la ecuación 3 y los datos de tabla se obtiene:

$$V_f = F_z \cdot Z_c \cdot n$$

Para cuando el avance es mínimo, se obtiene que F_z será 0.08 y n será el mínimo:

$$V_f = 0,08 \cdot 4 \cdot 303,15227$$

$$V_f = 97,00872(mm/min)$$

Para cuando el avance es máximo, se obtiene que F_z es 0.15 y n será el máximo:

$$V_f = 0,15 \cdot 4 \cdot 555,7791$$

$$V_f = 333,46746(mm/min)$$

En el espesor de viruta (h_m) con fresas de 90 grados va a ser igual al avance por diente (f_z). Es decir que no se utilizará la ecuación 6 a menos de que el ángulo de la fresa cambie, esto es dependiendo de la herramienta. Para el proyecto las herramientas de corte tendrán este valor.

$$h_m = F_z$$

Para la obtención de la potencia de corte se necesita la fuerza de corte específica la cual se expresa de la siguiente manera:

$$K_c = \frac{1 - 0,01 \cdot y_0}{h_m^{mc}} \cdot K_{c1} \quad (9)$$

De tal manera que se necesita saber el ángulo de desprendimiento (y_0) y el factor de compensación de la viruta (mc). Estos parámetros se lo encontraran en la Figura 49 y Figura 50 .

Descripción	Resistencia		Fuerza de corte específica	Valor de conicidad	Grupo de arranque de viruta Walter
	mín.	máx.			
	Rm		$k_{c1.1}$	m_c	
	[N/mm ²]		[N/mm ²]		
Aceros no aleados y de baja aleación, C > 0,25%, baja y media resistencia	350	750	1500	0,21	P1, P6
Aceros no aleados y de baja aleación, C > 0,55%, no bonificados	400	900	1700	0,25	P2, P3, P4, P7, P14
Aceros de baja y alta aleación, bajo nivel de bonificado	750	1100	2000	0,25	P5, P8, P11, P12
Aceros inoxidables ferrítico/martensíticos, bonificados	800	1400	2200	0,25	P15
Aceros de baja y alta aleación, nivel medio de bonificado	1100	1400	2500	0,25	P9
Aceros de baja y alta aleación, nivel alto de bonificado	1200	1600	3000	0,25	P10, P13
Aceros inoxidables, austeníticos	400	900	1800	0,21	M1
Aceros inoxidables, austeníticos/ferríticos + dúplex	600	1000	2000	0,21	M3
Aceros inoxidables, austeníticos, endurecidos por precipitado (aceros PH)	700	1500	2400	0,21	M2
Fundición gris + CGI + fundición maleable, baja resistencia	200	400	800	0,28	K1, K3, K7
Fundición de grafito esferoidal baja resistencia + fundición maleable alta resistencia	400	600	950	0,28	K2, K5
Fundición gris alta resistencia	300	400	1200	0,28	K4
Fundición de grafito esferoidal alta resistencia + ADI alta resistencia, no aleada + aleada	600	800	1400	0,28	K6
Aleación de forja de aluminio, no templada			350	0,25	N1
Aleación de forja de aluminio, templada			600	0,25	N2
Aleación de fundición de aluminio < 12% Si, no templada			600	0,25	N3
Aleación de fundición de aluminio < 12% Si, templada, Aleación de fundición de aluminio ≥ 12%			700	0,25	N4, N5
Cobre puro, aleación de cobre (latón, bronce) de baja resistencia			550	0,25	N7, N8, N9
Aleaciones de cobre de alta resistencia, bronce de alta resistencia			1000	0,25	N10
Aleaciones termorresistentes base férrica, recocidas			2400	0,25	S1
Aleaciones termorresistentes base férrica, templadas			2500	0,25	S2
Titanio puro			1300	0,25	S6

Figura 49. Fuerzas específica de corte de la empresa WALTER.

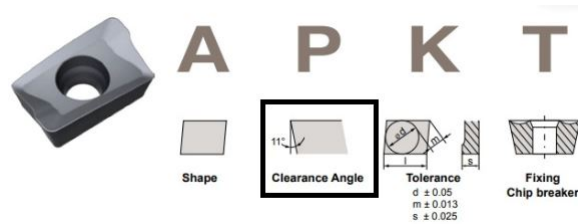


Figura 50. Catálogo de factores de corte empresa technologies.

Utilizando la ecuación 9 se obtiene que:

$$K_c = \frac{1 - 0,01 \cdot 11}{0,12^{0,25}} \cdot 3000$$

$$K_c = 4536,448(N/mm^2)$$

La segunda herramienta la podemos observar en la Figura 51 y la Figura 52 los datos de la herramienta.



Figura 51. Segunda herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.

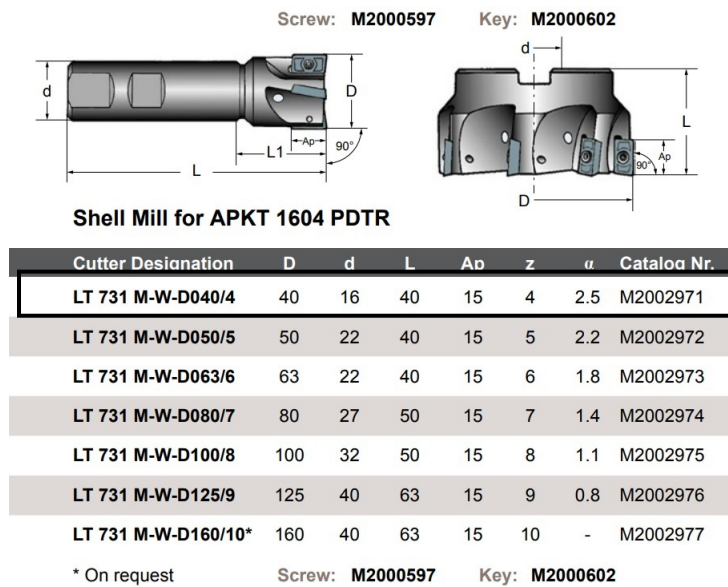


Figura 52. Datos de la segunda herramienta de corte: Catálogo de Lamina technologies.

A partir de estos datos, se obtuvieron los cálculos respectivos, pero estos cálculos se realizaran para el segundo material de la pieza a mecanizar, el cual sería el acero inoxidable como se observa en la Figura 53.

APKT 1604 PDTR LT 30

Material Group	Gr. N°	VDI Group	Material Examples*	Hardness	D.O.C. [mm]		Feed [mm/tooth]		V _c [m/min]		Optimal cutting conditions			
					min	max	min	max	min	max	D.O.C.	Feed	V _c	
Steel	Non-alloyed	1	C35, Ck45, 1020,	125 HB	0.5	15.0	0.18	0.32	190	330	4.0	0.23	250	
		2	1045, 1060,	190 HB		15.0		0.32		300			220	
		3	28Mn6	250 HB		15.0		0.32		250			200	
	Low alloyed	2	42CrMo4, St50,	180 HB	0.5	15.0	0.15	0.25	150	240	4.0	0.20	200	
		4,6	Ck60, 4140, 4340,	230 HB		15.0		0.22		130			190	
		5,7	100Cr6	280 HB		15.0		0.22		130			170	
		8		350 HB		15.0		0.22		130			170	
		10		220 HB		10.7		0.22		90			150	
	High alloyed	3	X10CrNiMo5	250 HB	0.5	10.7	0.12	0.18	60	100	3.0	0.16	100	
		11	H13, M42, D3,	320 HB		10.7		0.18		60			110	
Stainless Steel	Austenitic	4	304, 316,	180 HB	0.5	15.0	0.15	0.25	190	250	4.0	0.20	220	
		14	X5CrNi18-9	240 HB		15.0		0.12		0.22			160	210
	Duplex	5	X2CrNi23-4,	290 HB	0.5	10.7	0.12	0.18	70	130	3.0	0.16	100	
		14	S31603	290 HB		10.7		0.18		60			90	
	Ferritic & Martensitic	6	410, X6Cr17,	200 HB	0.5	15.0	0.15	0.25	150	210	4.0	0.20	190	
		13	17-4 PH, 430	42 HRC		10.7		0.20		90			150	
	Cast Iron	Grey	7	GG20, GG40,	150 HB	0.5	15.0	0.18	0.32	150	220	4.0	0.23	180
			15	EN-GJL-250,	200 HB		15.0		0.32		190			160
		Malleable & Nodular	8	GGG40, GGG70,	150 HB	0.5	15.0	0.15	0.28	100	180	4.0	0.20	150
			17,19	50005	200 HB		15.0		0.28		150			130
High Temp. Alloys		Fe, Ni & Co based	9	Incooy 800	240 HB	0.5	10.7	0.12	0.18	25	45	3.0	0.16	32
			34	Stellite 21	350 HB		10.7		0.18		45			30
		Ti based	10	TiAl6V4	-	0.5	10.7	0.12	0.20	40	65	3.0	0.18	55
			37	T40	-		10.7		0.18		30			55

Figura 53. Segunda herramienta: Catálogo de Lamina technologies.

Se utilizó la velocidad de corte mínima y máxima.

Cuando la Velocidad de corte es mínima, la velocidad de giro del husillo sera:

$$n = \frac{70 \cdot 1000}{\pi \cdot 40}$$

$$n = 557,0423(rpm)$$

Cuando la velocidad de corte es máxima, la velocidad de giro del husillo sera:

$$n = \frac{130 \cdot 1000}{\pi \cdot 40}$$

$$n = 1034,5071(rpm)$$

Así mismo para comprobar, se puede utilizar la ecuación 1.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}$$

Cuando n es el valor mínimo:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 40 \cdot 557,0423}{1000}$$

$$V_c = 69,99(m/min)$$

El siguiente parámetro es la obtención de la velocidad de avance (Vf):

Para cuando los datos son valores mínimos:

$$V_f = 0,12 \cdot 4 \cdot 557,0423$$

$$V_f = 267,380(mm/min)$$

Para cuando los datos son valores máximos:

$$V_f = 0,18 \cdot 4 \cdot 1034,5071$$

$$V_f = 744,8451(mm/min)$$

Luego esta la fuerza especifica de corte en donde el dato del ángulo de desprendimiento se observa en la Figura 54.

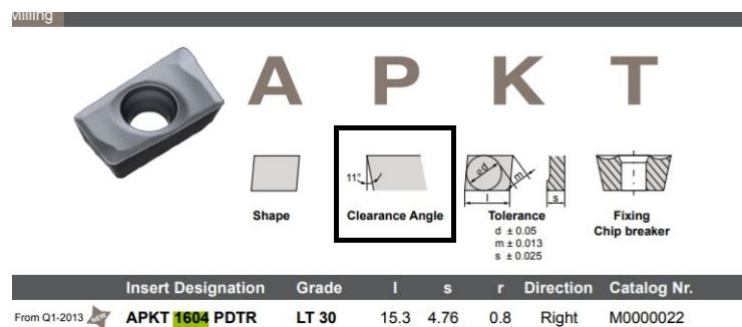


Figura 54. Catálogo de factores de corte para la segunda herramienta empresa technologies.

Utilizando los datos de la Figura 49 y la ecuación 9 se tiene que:

$$K_c = \frac{1 - 0,01 \cdot 11}{0,16^{0,21}} \cdot 2000$$

$$K_c = 2615,500(N/mm^2)$$

Así mismo la tercera herramienta se muestra en la Figura 55 y sus datos en la Figura 56. Para sus cálculos se los realizara con el tercer material de la pieza que se fuera a mecanizar, Figura 57.



Figura 55. Tercera herramienta de corte: Catálogo de herramientas Sandvik Coromant.

End Mill for LDMT 1504 PDTR								
Cutter Designation	D	d	L1	L	Ap	z	α	Catalog Nr.
LT 770 W-W-D025/2*	25	25	44	100	15	2	5	M2001822
LT 770 W-W-D032/3*	32	35	50	110	15	3	3	M2001823
LT 770 W-W-D040/4*	40	32	45	115	15	4	2.5	M2001824
LT 770 WL-W-D25/2*	25	25	44	150	15	2	5	M2001825
LT 770 WL-W-D32/3*	32	25	50	150	15	3	3	M2001826

* On request
Screw: M2001418
Key: M2000602

Shell Mill for LDMT 1504 PDTR

Figura 56. Datos de la tercera herramienta de corte: Catálogo de Lamina technologies.

LDMT 1504 PDTR LT 30

Material Group	Gr. N°	VDI Group	Material Examples*	Hardness	D.O.C. [mm]		Feed [mm/tooth]		V _c [m/min]		Optimal cutting conditions					
					min	max	min	max	min	max	D.O.C.	Feed	V _c			
Steel	1	1	C35, Ck45, 1020,	125 HB	0.5	14.0	0.18	0.32	190	330	4.0	0.23	250			
		2	1045, 1060,	190 HB		14.0		0.32		300			220			
		3	28Mn6	250 HB		14.0		0.32		250			200			
	2	6	42CrMo4, S150,	180 HB	0.5	14.0	0.15	0.25	150	240	4.0	0.20	200			
		4,6	42CrMo4, S150,	230 HB				0.25		150			210	180		
		5,7	Ck60, 4140, 4340,	280 HB				0.22		130			190	150	150	
		8	100Cr6	350 HB										130	170	140
		10		220 HB										10.0	0.22	90
	3	11	X40CrMo5	280 HB	0.5	10.0	0.12	0.25	100	100	3.0	0.16	100			
	11	H13, M42, D3, S8-5-2, 12N19	320 HB	0.18									60	110	100	
Stainless Steel	4	14	304, 316,	180 HB	0.5	14.0	0.15	0.25	190	250	4.0	0.20	220			
		14	X5CrNi18-9	240 HB									14.0	0.12	0.22	160
	5	14	X2CrNi23-4,	290 HB	0.5	10.0	0.12	0.18	70	130	3.0	0.16	100			
		14	S31500	350 HB									10.0	0.12	100	100
	6	12	410, X6Cr17,	200 HB	0.5	14.0	0.15	0.25	150	210	4.0	0.20	190			
		13	17-4 PH, 430	42 HRc										10.0	0.20	90
Cast Iron	7	15	GG20, GG40,	150 HB	0.5	14.0	0.18	0.32	150	220	4.0	0.23	180			
		15	EN-GJL-250,	200 HB									14.0	0.32	190	160
	16	Ne30B	250 HB	14.0	0.28	200	180									
	8	17,19	GG40, GG670,	150 HB	0.5	14.0	0.15	0.28	100	180	4.0	0.20	150			
		17,19	50005	200 HB									14.0	0.28	150	130
	High Temp. Alloys	9	31,32	Incoloy 800	240 HB	0.5	10.0	0.12	0.18	25	45	3.0	0.16	32		
			33	Incoloy 700	230 HB									10.0	0.12	0.18
		34	Stellite 21	350 HB	10.0	0.18	45	30								
		10	36	TiAl6V4	-	0.5	10.0	0.12	0.20	40	65	3.0	0.18	55		
	37		T40	-	10.0									0.12	0.18	30

Figura 57. Tercera herramienta catálogo de materiales Lamina technologies.

Para los cálculos del tercer material de la tabla (Ver Figura 57), se obtuvieron los siguientes resultados:

Velocidad de corte mínima.

$$n = \frac{25 \cdot 1000}{\pi \cdot 25}$$

$$n = 318,309(rpm)$$

Velocidad de corte máxima.

$$n = \frac{45 \cdot 1000}{\pi \cdot 25}$$

$$n = 572,957(rpm)$$

Así mismo para comprobar, se puede utilizar la ecuación 1.

$$V_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000}$$

Cuando n es el valor mínimo:

$$V_c = \frac{\pi \cdot 25 \cdot 318,309}{1000}$$

$$V_c = 24,99(m/min)$$

El siguiente parámetro es la obtención de la velocidad de avance (Vf):

Para cuando los datos son valores mínimos:

$$V_f = 0,12 \cdot 2 \cdot 318,309$$

$$V_f = 76,394(mm/min)$$

Para cuando los datos son valores máximos:

$$V_f = 0,18 \cdot 2 \cdot 572,957$$

$$V_f = 137,509(mm/min)$$

En la Figura 58 se establece el dato del ángulo de desprendimiento.

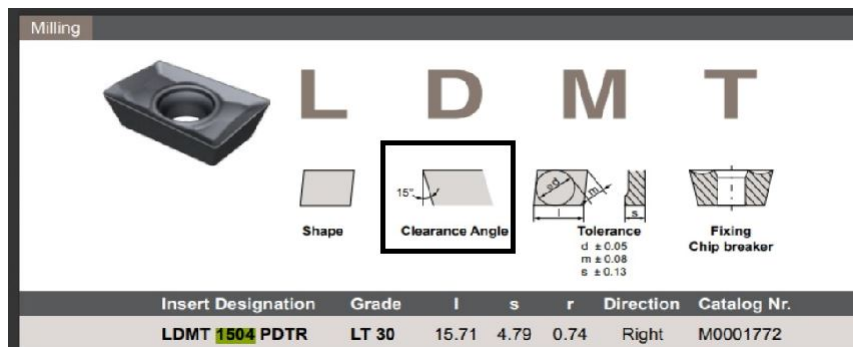


Figura 58. Catálogo de factores de corte empresa technologies.

ya con los datos de la Figura 49 y utilizando la ecuación 9 se obtiene la fuerza específica de corte para la tercera herramienta del tercer material.

$$K_c = \frac{1 - 0,01 \cdot 15}{0,16^{0,25}} \cdot 2500$$

$$K_c = 3359,9200(N/mm^2)$$

VI-E. Implementación de prácticas en el entorno virtual.

Se implementó 3 prácticas de laboratorio con el fin de validar el funcionamiento de la fresadora y que los datos obtenidos vayan de acorde a los parámetros de mecanizado.

■ Práctica # 1.

La práctica #1 tiene como objetivos reconocer los elementos de la interfaz del entorno virtual y de la Fresadora Fexac Modelo UE, incluyendo sus funciones y características principales. Además, explica los posibles riesgos asociados al uso de la fresadora, con el objetivo de tomar medidas de seguridad adecuadas para evitarlos. De esta manera, los participantes podrán adquirir las habilidades necesarias para utilizar la fresadora de manera segura y efectiva. La ruta de aprendizaje es la siguiente:

- Explicación de navegación en la aplicación.
- Breve descripción del proceso de fresado.
- Partes de la fresadora.
- Explicación de la caja de velocidades y avances.
- Explicación del modo manual y automática de la fresadora.
- Explicación del banco de trabajo y su movimiento.
- Ubicación de botones de encendido y paro de emergencia.
- Funciones adicionales de la aplicación.
- Breve descripción de los parámetros de corte con sus respectivas fórmulas.
- Explicación de fallas en el fresado.
- Explicación de las normas de seguridad establecidas para el uso de la fresadora.

La práctica se visualizara como se muestra en la Figura 59.

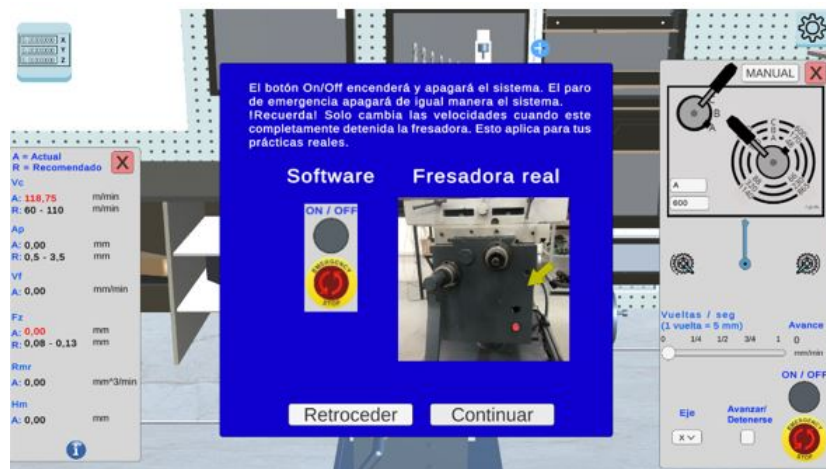


Figura 59. Práctica # 1.

■ Práctica # 2.

Es una práctica enfocada en el planeado en materiales. Esta es una práctica asistida en la que el usuario deberá cumplir con un determinado número de pasos para poder completarla, además se cuenta con un material de superficie rugosa para simular la nivelación de un material mediante el proceso de planeado. Los pasos son los siguientes:

- Encendido del husillo.
- Mover el banco hasta obtener el punto 0 en Z.
- Mover el banco fuera de la zona del material.
- Mover el banco hasta obtener una profundidad de 2 mm con ayuda del medidor de desplazamiento.
- Mover el banco en el eje X hasta el otro extremo del material de trabajo.

Mientras se ejecuta el paso final el usuario podrá visualizar cómo la superficie rugosa ahora se encuentra uniforme en la sección que se realizó el proceso de planeado, como se observa en la Figura 60.

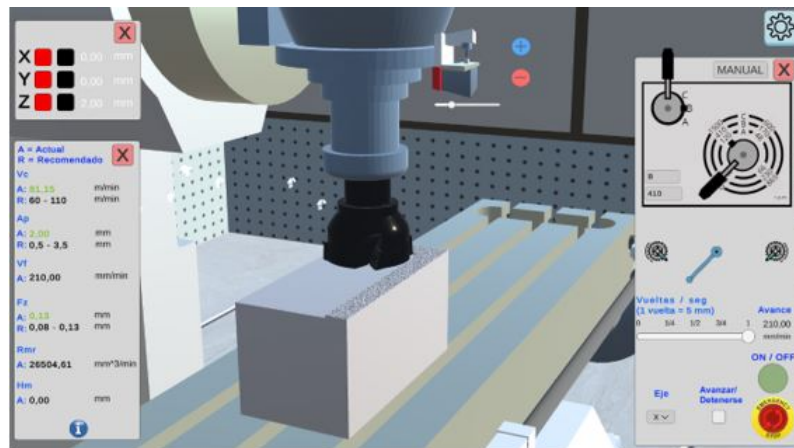


Figura 60. Práctica # 2.

■ Práctica # 3.

Es una práctica enfocada en el ranurado en materiales. Esta es una práctica asistida en la que el usuario deberá realizar una ranura con una profundidad de 4 mm en 2 pasadas. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Encendido del husillo.
- Mover el banco hasta obtener el punto 0 en Z.
- Mover el banco fuera de la zona del material.
- Mover el banco hasta obtener una profundidad de 2 mm con ayuda del medidor de desplazamiento.
- Mover el banco en el eje X hasta el otro extremo del material de trabajo para obtener la primera pasada, como se observa en la Figura 61.
- Nuevamente agregar 2mm de profundidad.
- Realizar una segunda pasada hasta el otro extremo del material de trabajo, como se observa en la Figura 62.

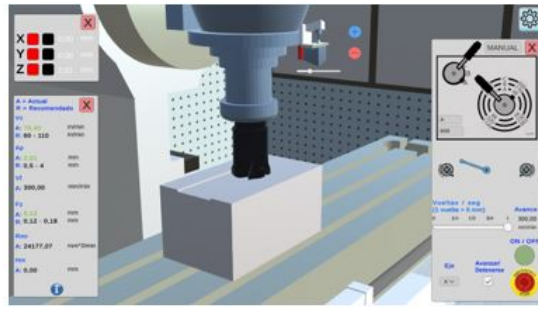


Figura 61. Práctica # 3 primera pasada.

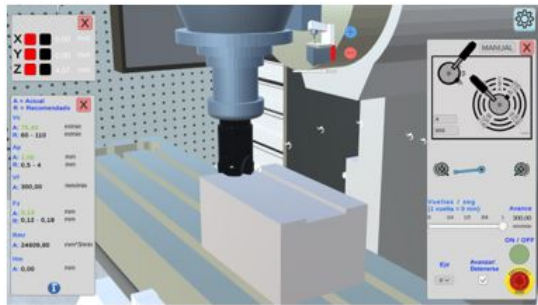


Figura 62. Práctica # 3 segunda pasada.

VII. RESULTADOS.

A través de las implementaciones anteriormente mencionadas, se obtuvieron los resultados respectivos para el desarrollo del entorno virtual. En la Figura 63 se observa el resultado final del entorno virtual, con la implementación de interfaces, movimientos de palancas, paro de emergencias y respectivos cálculos.

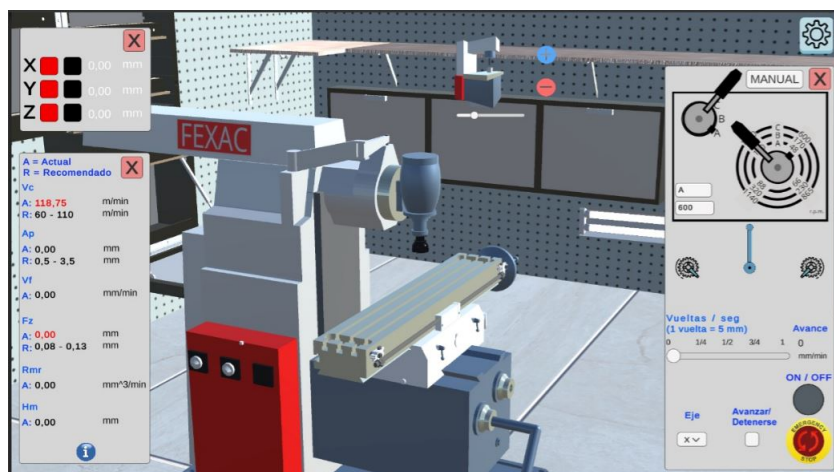


Figura 63. Resultado final del Entorno virtual de máquina fresadora para prácticas de laboratorio.

Además, se realizó una validación en la que consistía evaluar la aplicación en base a los criterios establecidos en la sección V-A5 y características mencionadas en el marco teórico. Para la validación, el entorno virtual se sometió a los criterios de aceptación los cuales fueron el de estabilidad, en donde no se ve afectado por interrupciones en el funcionamiento, es decir, que el entorno se considera estable superando así el 99 % del rango establecido por

el criterio de estabilidad. La escalabilidad, se basa en la capacidad del entorno virtual para aumentar el número de usuarios sin verse afectado el rendimiento de la aplicación, considerándose escalable al entorno virtual, ya que al no ser un servicio en línea no presenta este tipo de problema. En el criterio de seguridad, el entorno virtual se considera seguro debido a que no recibe o guarda información personal del usuario. Luego está el criterio de la usabilidad del entorno virtual, en donde se verificó la funcionalidad del programa, este criterio se midió por pruebas de campo realizadas a 23 estudiantes y un Ingeniero a cargo del laboratorio de manufactura. Estas pruebas de campo al ser finalizadas se presentó un apartado de preguntas, las cuales tuvieron valores para determinar el criterio de usabilidad. El último criterio de validación que fue establecido en el entorno fue la interoperabilidad, la aplicación tiene la capacidad de ser ejecutado en computadoras de diferentes especificaciones técnicas, pero no tiene integración con otro software lo cual cumple un nivel medio en base al criterio, sin embargo, da como resultado mas flexibilidad en la adaptación del entorno a otros sistemas. En la Tabla (II) se encuentran el nivel de criterio que tiene el entorno virtual de la máquina fresadora.

Criterios de aceptación	Alto	Medio	Bajo
Estabilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Escalabilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Seguridad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Usabilidad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Interoperabilidad	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Tabla II
Tabulación de los criterios de aceptación en el entorno virtual de máquina fresadora.

Como se mencionó en la sección V-A5, el criterio de validación más importante es la satisfacción del usuario. Por este motivo se evaluó el entorno virtual con 23 estudiantes como se puede observar en el anexo A. Posteriormente, se hizo una encuesta con la finalidad de evaluar la satisfacción de los usuarios, cada una de las preguntas se valoraron bajo 5 rangos entre: totalmente de acuerdo, algo de acuerdo, neutral, algo en desacuerdo y totalmente en desacuerdo. El sistema obtuvo una calificación 102,4/115 indicando una aceptación del 89 %, como se puede ver en la Tabla (IV). La Tabla (III) muestra la distribución de estudiantes en cada una de las preguntas, como se puede apreciar más de la mitad de usuarios dieron una calificación máxima al sistema.

Preguntas	Totalmente en desacuerdo	Algo en desacuerdo	Neutral	Algo de acuerdo	Totalmente de acuerdo
1.-¿Cómo calificaría la facilidad de manejo del programa?	0,00%	0,00%	13,00%	29,00%	58,00%
2.-¿Cómo calificaría la interfaz del software? (Contenido visual)	0,00%	0,00%	12,50%	16,60%	70,80%
3.-En terminos generales ¿Cómo calificaría usted el software?	0,00%	0,00%	12,50%	20,80%	66,70%
4.-¿Considera usted que el uso del programa le permitirá entender de mejor manera la asignatura?	4,20%	0,00%	8,30%	8,30%	79,20%
5.-¿Considera usted que el uso del programa podría reducir el tiempo de familiarización con la máquina fresadora?	4,20%	0,00%	12,50%	37,50%	45,80%
6.-¿Considera Usted que la práctica 1 introductoria le permitia comprender el uso del software?	4,20%	4,20%	12,50%	8,30%	70,80%
7.-¿Considera usted que la práctica 2 contribuye a su proceso de formación?	4,20%	0,00%	8,30%	12,50%	75,00%
8.-¿Considera usted que la práctica 3 va de acorde al proceso de mecanizado?	4,20%	0,00%	8,30%	16,70%	70,80%
9.-El programa permite relacionar los conocimientos con la materia.	4,20%	0,00%	8,30%	16,70%	70,80%
10.-¿Cree usted que el software simula a la máquina fresadora FEXAC del laboratorio de manufactura?	4,20%	0,00%	4,20%	25,00%	66,70%

Tabla III
Tabulación de porcentajes: El criterio de usabilidad es mencionado en las preguntas, en donde se muestran buenos resultados.

	1	2	3	4	5	
1.-¿Cómo calificaría la facilidad de manejo del programa?	0	0	3	7	13	102 /115
2.-¿Cómo calificaría la interfaz del software? (Contenido visual)	0	0	3	4	16	105 /115
3.-En terminos generales ¿Cómo calificaría usted el software?	0	0	3	5	15	104 /115
4.-¿Considera usted que el uso del programa le permitirá entender de mejor manera la asignatura?	1	0	2	2	18	105 /115
5.-¿Considera usted que el uso del programa podría reducir el tiempo de familiarización con la máquina fresadora?	1	0	3	9	10	96 /115
6.-¿Considera Usted que la práctica 1 introductoria le permitía comprender el uso del software?	1	1	3	2	16	100 /115
7.-¿Considera usted que la práctica 2 contribuye a su proceso de formación?	1	0	2	3	17	104 /115
8.-¿Considera usted que la práctica 3 va de acorde al proceso de mecanizado?	1	0	2	4	16	103 /115
9.-El programa permite relacionar los conocimientos con la materia.	1	0	2	4	16	103 /115
10.-¿Cree usted que el software simula a la máquina fresadora FEXAC del laboratorio de manufactura?	1	0	2	5	15	102 /115
						102,4 /115

Tabla IV

Tabulación de resultados: Estos resultados se basa en la cantidad de estudiantes y su calificación con respecto a las preguntas.

Adicionalmente, se dejó un espacio de sugerencias y comentarios en donde los estudiantes manifestaron lo siguiente: a)Corrección de las restricciones del banco de trabajo, b)Corrección de posición de manivela al generar movimiento en los ejes, c)Incrementar el zoom de la cámara.

La prueba piloto con los 23 estudiantes, también dio como resultado una reducción en el tiempo de prácticas. El tiempo promedio en terminar las 3 prácticas de los estudiantes que participaron en la prueba piloto fue de 40 minutos, en comparación con las prácticas convencionales realizadas en el laboratorio que tienen una duración de 120 minutos. Por lo tanto, se obtuvo una reducción del 66,6 % en tiempo requerido para realizar las prácticas de fresado.

Para garantizar que la aplicación sea accesible a todos los estudiantes, se generó un ejecutable que permite a los estudiantes acceder a la aplicación desde cualquier lugar, lo que aumenta su accesibilidad. También se ha asegurado que la aplicación sea compatible con computadoras de diferentes especificaciones técnicas. En definitiva, la accesibilidad ha sido una consideración fundamental en el desarrollo del entorno virtual para prácticas de fresado, permitiendo a los estudiantes acceder fácilmente a la aplicación y realizar sus prácticas.

La implementación de un entorno virtual para prácticas de fresado puede tener un impacto significativo en la reducción de costos en comparación con la realización de prácticas en un laboratorio convencional. En un entorno virtual, se puede prescindir de la necesidad de utilizar materiales y herramientas reales, reduciendo así los costos de adquisición y mantenimiento de los mismos. Además, la implementación de un entorno virtual permite el acceso a la práctica de fresado desde cualquier lugar y en cualquier momento, lo que reduce la necesidad de reservar espacios y equipos específicos para la realización de las prácticas, lo que también contribuye a la reducción de costos. En general, la implementación de un entorno virtual para prácticas de fresado no solo puede proporcionar una experiencia de aprendizaje significativo, sino que también puede reducir los costos asociados con la realización de prácticas en un laboratorio convencional.

IX. PRESUPUESTO

IX-A. Talento humano

Cargo	Nombre	Costo hora	horas al mes	Total de horas	Costo total
Autor 1	Christian Gavilánez	8\$	–	400	3200 \$
Autor 2	Luis Borbor	8\$	–	400	3200 \$

Tabla VI
Recurso de talento humano.

IX-B. Recursos materiales

Denominación	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
Computadora	2	1000	2000 \$
Librería	2	250	500 \$

Tabla VII
Recurso de talento humano.

X. CONCLUSIONES

- Se identificaron varios sistemas en aplicaciones educativas cómo se menciona en la sección V-A, se concluye que los sistemas permiten: reducir tiempo en capacitación, reducir riesgos y aumentan la productividad
- Se concluye que las variables que afectan directamente al proceso de fresado son: La materia prima, herramienta, capacidad de máquina y parámetros de fresado, además se establecieron los rangos aceptables para el punto de operación adecuado de la máquina, ver sección VI-D2.
- Se realizó una representación virtual de la máquina fresadora Fexac Model UE Serial N 1436N, incluyendo sus movimientos, restricciones, controles y parámetros propios de la máquina.
- Siguiendo los criterios de aceptación de: Estabilidad, escalabilidad, seguridad, usabilidad, interoperabilidad, y analizando la Tabla (II), se concluye que el sistema cumple dichos criterios.
- Se ejecutó un plan piloto con la ayuda de 23 estudiantes en dónde el software obtuvo una puntuación de 102,4/115 respecto a la satisfacción del usuario, como se puede ver en la Tabla (IV). En conclusión la plataforma tuvo una aceptación del 89 %.
- Se implementaron 3 prácticas en dónde el tiempo promedio de un estudiante fue de 40 minutos, comparadas con los 120 minutos en tomar la misma práctica en el laboratorio, se obtuvo una reducción de tiempo del 66.6 %.

XI. RECOMENDACIONES

- Es importante que los estudiantes reciban retroalimentación sobre su desempeño en el entorno virtual de la máquina fresadora.
- Se recomienda que en el entorno virtual de la máquina fresadora los parámetros se ingresen correctamente para evitar algún tipo de fallo, aunque este mismo cuenta con alertas de advertencia.

- Además de tener el aprendizaje del entorno virtual de la máquina fresadora, se recomienda tener una previa introducción del estudio de la máquina para que sea menos complejo su uso.

XII. ANEXOS

XII-A. Validación de prácticas



Figura 64. Validación de prácticas mediante uso del software.



Figura 65. Validación de prácticas mediante uso del software.



Figura 66. *Validación de prácticas mediante uso del software.*

Estudiantes:

- Christian Abraham Gavilánez Arias
- Luis André Borbor Godoy

REVISIÓN DE RETROALIMENTACIÓN

Tema de tesis:

Desarrollo de un entorno virtual de máquina fresadora para prácticas de laboratorio.

Correcciones realizadas:

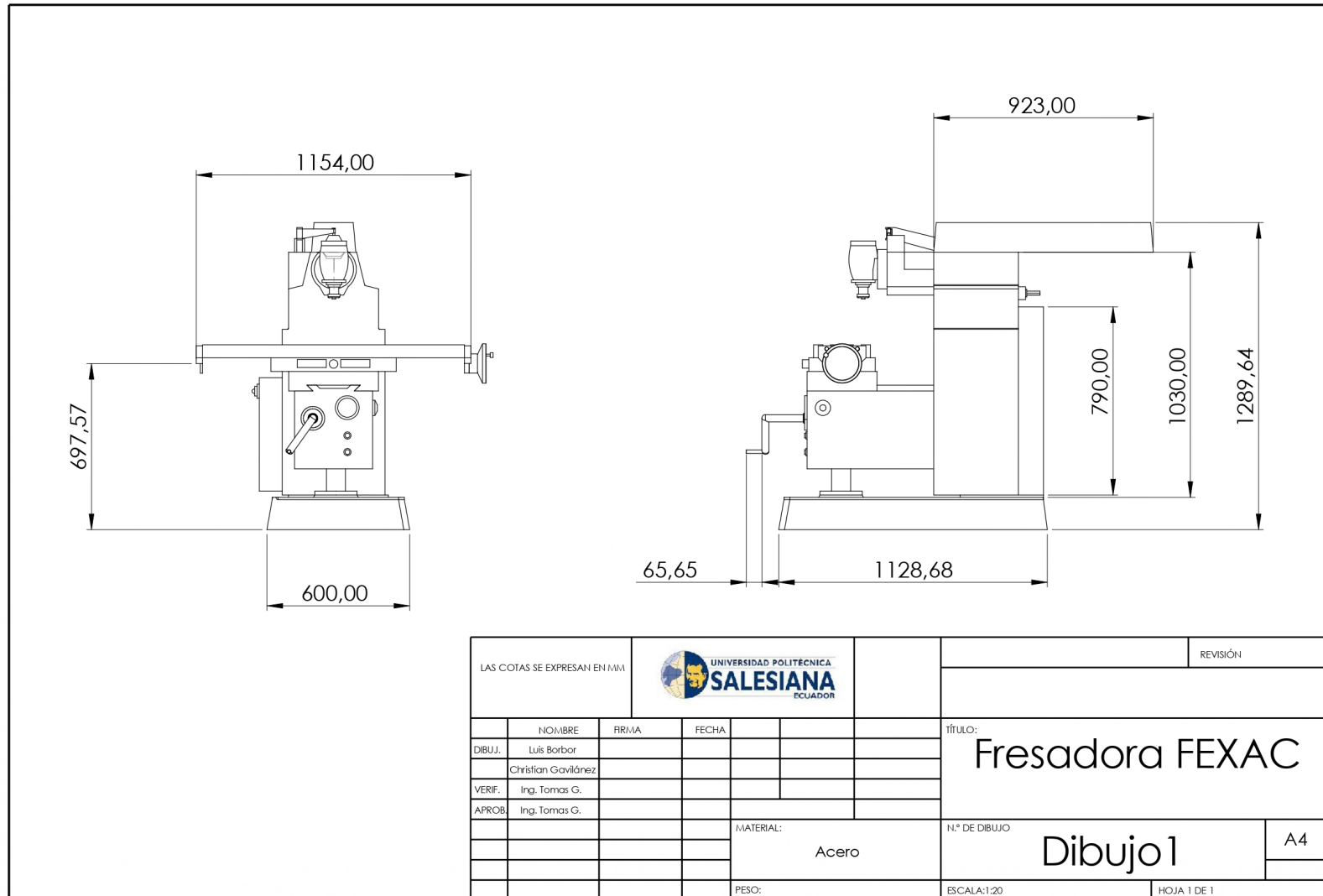
- Cambiar los íconos del sentido de giro por unos más entendibles.
- Implementar el paro de emergencia en la interfaz de control.
- Separar el modo manual y automático de la fresadora.
- Incrementar el tamaño de las tablas de avances y velocidades.
- Implementar contenido audiovisual en la práctica #1 para facilitar la comprensión del uso de la fresadora física.
- Corrección de movimiento del banco trabajo.

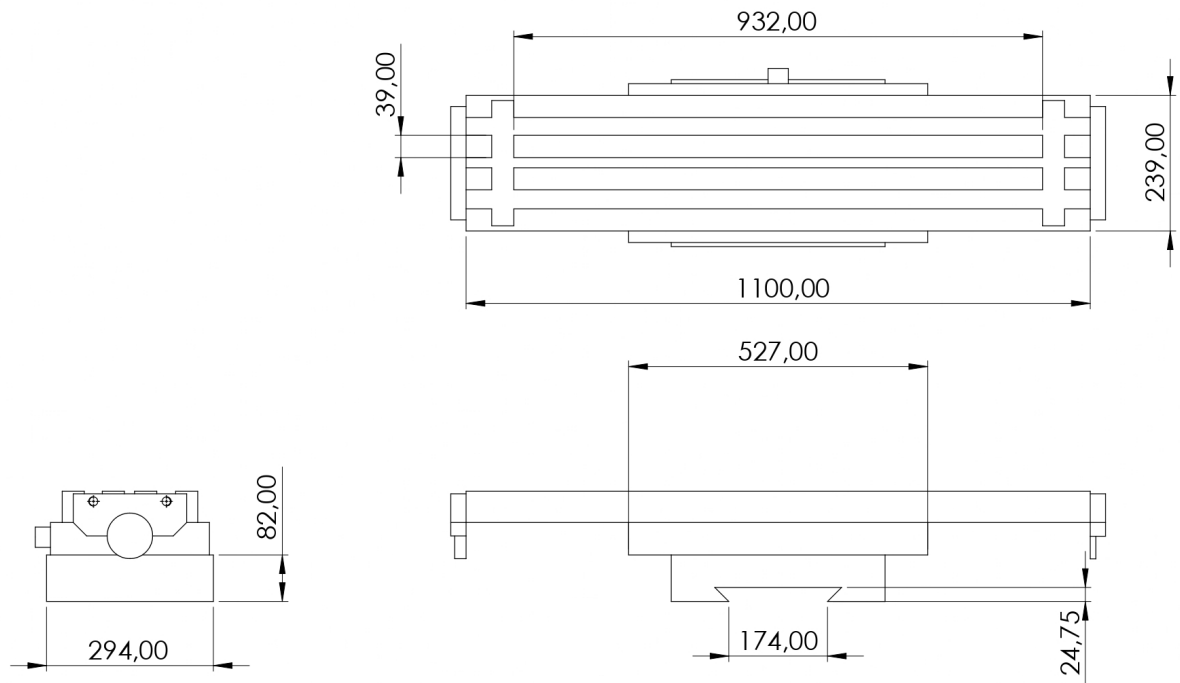
Firma del revisor
Ing. Edison Llano

Figura 67. *Revisión de retroalimentación: Firmado por el Ing. Edison LLano.*

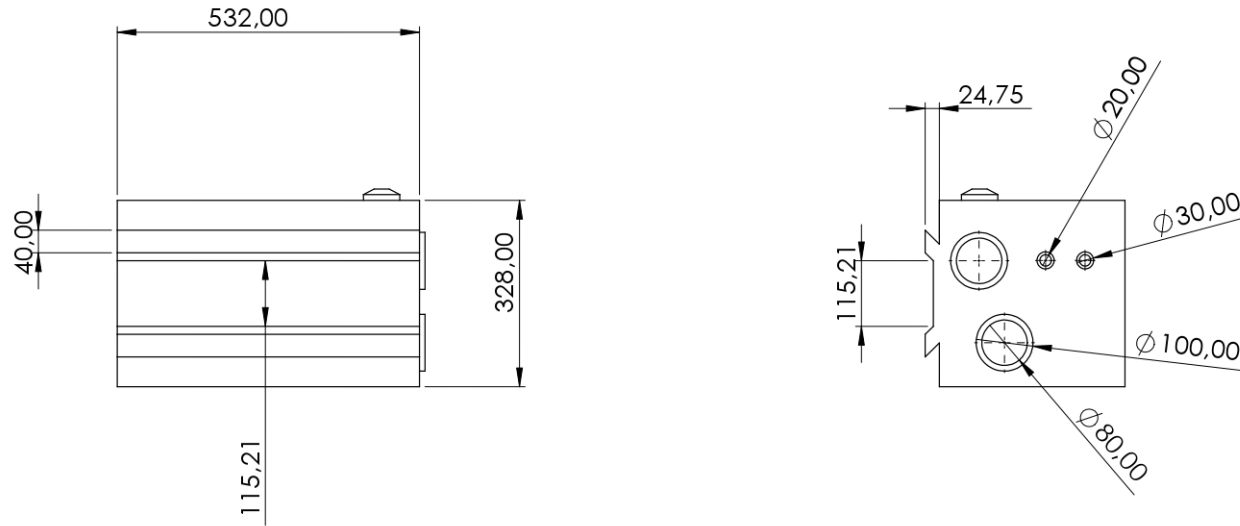
XII-B. Planos estructurales de la fresadora

52





LAS COTAS SE EXPRESAN EN I.M.M						REVISIÓN	
						TÍTULO:	
						Mesa de trabajo	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			N° DE DIBUJO	
DIBUJ.	Luis Borbor					Dibujo 2	
	Christian Gaviláñez					A4	
VERIF.	Ing. Tomas G.						
APROB.	Ing. Tomas G.						
				MATERIAL:		ESCALA:1:20	
				Acero		HOJA 1 DE 1	
				PESO:			



LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM				 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		REVISIÓN	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA			TÍTULO:	
DIBUJ.	Luis Barbar					Banco de trabajo	
	Christian Gavilánez						
VERIF.	Ing. Tomas G.						
APROB.	Ing. Tomas G.						
				MATERIAL:	N.º DE DIBUJO		A4
				Acero	Dibujo 3		
				PESO:	ESCALA:1:10	HOJA 1 DE 1	

XIII. REFERENCIAS

- Tiven, M. B., Fuchs, E. R., Bazari, A., y MacQuarrie, A. (2018). Evaluating Global Digital Education: Student Outcomes Framework. Bloomberg Philanthropies and the Organisation for Economic Co-operation and Development.
- Vicepresidencia de la República del Ecuador, Comunicamos, Noticias. Ecuador desarrolla simuladores de vuelo para capacitar pilotos comerciales y agrícolas [Internet].(2017)
- Grethy del Rocio Quezada Lozano, Docente- Sec. Deptal. Pedagogia y Didactica,¿Qué importancia tienen los laboratorios en la educación?,2019
- Vanesa Delgado (2020). Noticias De América Latina y El Caribe.El impacto de la pandemia en las prácticas universitarias.
- Sindy Carolina Gutiérrez Forero, Leidy Gabriela Piñeres Wandurraga (2021).La incidencia de las prácticas de laboratorio en el desarrollo de las competencias científicas en los estudiantes de sexto en la Institución San Vicente de Paul del Municipio de San Gil.
- Ruiz Piedra, A. M., Gómez Martínez, F., Gibert Lamadrid, M. D. P., Soca Guevara, E. B., Rodríguez Blanco, L. (2018). Reseña histórica sobre la gestión nacional del desarrollo del software educativo en la Educación Médica Superior en Cuba. Revista Cubana de Informática Médica, 10(1), 28-39.
- Jesus David Cardona Quiroz (2010). Método de Desarrollo basado en el Proceso Unificado y en Buenas Prácticas para la Construcción de Entornos Virtuales.
- Hernández Gracia, J. F., Buitrón Ramírez, H. (2017). Evaluación de los entornos virtuales de aprendizaje y enseñanza. Boletín Científico De La Escuela Superior Atotonilco De Tula, 4(7).
- Zapana Venegas, Hernan (2015). Factores de corte en el fresado. Departamento de Mecánica de de la Universidad Nacional de Educación.
- Groover, M. P. (2007). FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA MATERIALES, PROCESOS Y SISTEMAS (3a. ed.). GUADALAJARA: MCGRAW-HILL INTERAMERICANA.
- Díaz Becerro, S. (2009). Introducción a las plataformas virtuales en la enseñanza . Revista digital para profesionales de la enseñanza, 1-7. N° 2.
- Boneu, J.M. (2007). Plataformas abiertas de e-learning para el soporte de contenidos educativos abiertos. Revista de Universidad y Sociedad del Conocimiento, Vol.4, nº1.
- Basili, V. R., Caldiera, G., & Rombach, H. D. (2018). The goal question metric approach. Encyclopedia of Software Engineering, 2, 505-509.
- Chen, J., Zhang, H., Zhang, D., & Zhang, B. (2017). A survey on cloud computing management. Future Generation Computer Systems, 68, 1-14.
- ISO 9241-11. Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) - Part 11: Guidance on usability.

- Liu, H., Xiao, X., Wu, J., & Chen, H. (2018). An integrated framework of IoT-cloud-cybersecurity for healthcare system. *Journal of Medical Systems*, 42(7), 126.
- Lee, H. M., Cheung, S. K., & Kwok, R. C. (2018). A pilot study of virtual reality and haptic technology for teaching technical skills. *Journal of Educational Technology & Society*, 21(1), 74-85.
- Mendes, D., Cortez, P., & Ramos, P. (2019). *Virtual Reality and Augmented Reality in Industry*. Springer.
- Guarnido Barrera, A. (2010). Determinación de duración de herramientas de torno bajo diferentes condiciones de corte. *Revista de Mecánica Industrial*, 10(2), 25-35.
- Bavaresco, G. (2016). *Mecanizado*. Venezuela: Pagina web: GAPB Ingenieria
- Kalpakjian, S. (2008). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. Ciudad de México: Pearson Educación.
- Marín Suelves, D., Gabarda Méndez, V. & Vidal Esteve, M. I. (2021). E-learning y desarrollo de competencias clave: un estudio bibliométrico. *EDMETIC, Revista de Educación Mediática y TIC*, 10(2), 106-138.
- Morrison, G. R., Ross, S. M., & Kemp, J. E. (2013). *Designing effective instruction*. John Wiley & Sons.
- García-Peñalvo, F. J. (2016). Entornos virtuales de aprendizaje: Una visión crítica. *Revista de educación a distancia*, (49), 1-21.
- Bower, M., Dalgarno, B., Kennedy, G. E., Lee, M. J., & Kenney, J. (2015). Design and implementation factors in blended synchronous learning environments: Outcomes from a cross-case analysis. *Computers & Education*, 86, 1-17.
- Childs, S., Blenkinsopp, E., Hall, A., & Walton, G. (2005). Effective e-learning for health professionals and students—barriers and their solutions. A systematic review of the literature—findings from the HeXL project. *Health Information & Libraries Journal*, 22(s2), 20-32.
- Roblyer, M. D., & Doering, A. H. (2014). *Integrating educational technology into teaching*. Pearson.
- Wiley, D. A. (2014). Instructional design and open educational resources: A synergy. *Handbook of research on educational communications and technology*, 101-113.
- Tan, Y. H., Lau, S. K., Loo, J., & Yeo, C. K. (2019). A comprehensive review on blockchain security. *IEEE Access*, 7, 46146-46170.
- Pérez-Mateo, M., Guitert, M., Romeu, T., & Sangrà, A. (2011). Criterios de aceptación y validación de los entornos virtuales de aprendizaje desde la perspectiva del usuario. *EDUTEC. Revista Electrónica de Tecnología Educativa*, (36), 1-13.
- Sánchez-Gómez, M. C., & Espinosa-Funes, M. del C. (2019). Entornos virtuales de aprendizaje para la formación profesional: revisión sistemática. *Revista de Investigación Académica*, 53, e1162.
- Information Resources Management Association. (2019). *Virtual Reality in Education: Breakthroughs in Research and Practice*. IGI Global.

CARRERA: INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRÁCTICAS DE FRESADO

**NRO.
PRÁCTICA:**

1

**TÍTULO PRÁCTICA: INTRODUCCIÓN AL USO DEL ENTORNO
VIRTUAL Y FRESADORA FEXAC MODELO UE**

Objetivos:

- 1) Reconocer los elementos de la interfaz del entorno virtual y sus funciones.
- 2) Reconocer los elementos de la Fresadora Fexac Modelo UE y sus funciones.
- 3) Identificar posibles riesgos y medidas de seguridad.

Instrucciones:

- Abrir el primer archivo ejecutable.






 MonoBleedingEdge	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
 Pruebas de código_Data	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
 Pruebas de código.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	639 KB
 UnityCrashHandler64.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	1.101 KB
 UnityPlayer.dll	28/2/2023 16:17	Extensión de la ap...	28.208 KB

Figura 1. Archivo ejecutable

- En el menú principal, seleccione la opción “Prácticas”.



Figura 2. Menú principal

- escoja la práctica # 1



Figura 3. Menú de prácticas

- Se abrirá una ventana que explicará cómo utilizar el entorno virtual y la fresadora Fexac Modelo UE.



Figura 4. Identificación de componentes

- Para progresar en esta práctica es necesario que pulse el botón “Continuar” hasta que la presentación de información haya acabado.

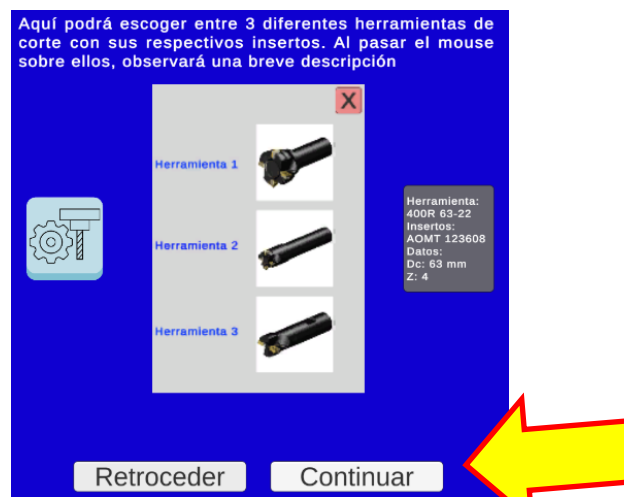


Figura 5. Selección de herramienta de corte

- Cuando aparezca un mensaje de culminación podrá regresar al menú principal y escoger otra práctica o el modo libre.

Felicitaciones, terminaste tu práctica introductoria.

Figura 6. Mensaje de culminación para práctica#1

Imágenes adicionales de la práctica #1

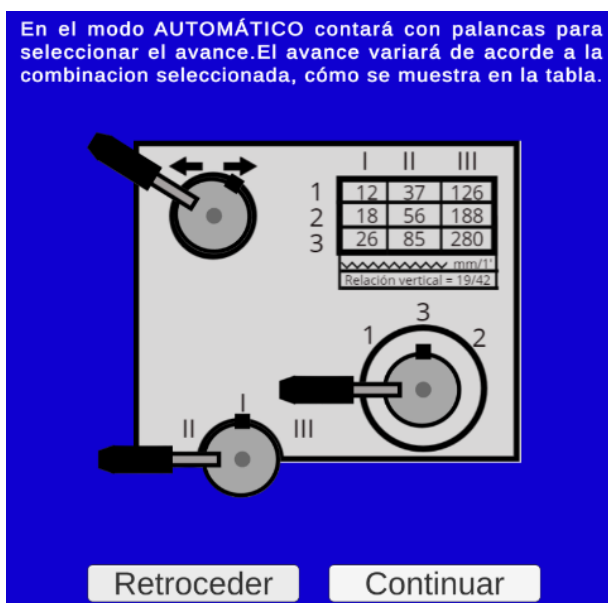


Figura 7. Explicación de la caja de cambios para avances automáticos

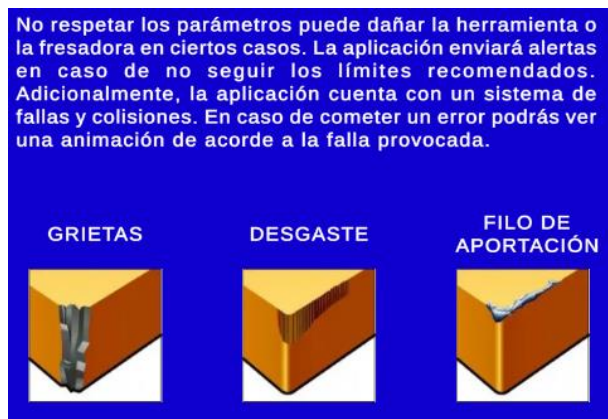


Figura 8. Explicación de fallas en insertos

NUNCA acerque sus extremidades a la fresadora una vez encendida, evite un accidente.



NUNCA realice actividades sin la supervisión de un tutor.



Retroceder

Continuar

Figura 9. Recomendaciones de seguridad

RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

CARRERA: INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRÁCTICAS DE FRESADO

**NRO.
PRÁCTICA:**

2

**TÍTULO PRÁCTICA: PRÁCTICA ASISTIDA PARA PLANEADO
EN MATERIALES**

Objetivos:

- 1) Comprender el proceso de planeado
- 2) Realizar un planeado en una superficie rugosa para obtener una superficie uniforme como resultado.

Instrucciones:

Nota: Esta práctica es asistida con el fin de que el usuario se familiarice con el proceso de planeado y el entorno. Por lo tanto, las velocidades, avances, profundidad de corte y demás parámetros están preconfigurados para estar dentro de los límites establecidos por el fabricante y así evitar errores en una etapa inicial. El modo libre no cuenta con esta asistencia por parte de la aplicación.

- Abrir el primer archivo ejecutable.

MonoBleedingEdge	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
Pruebas de código_Data	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
Pruebas de código.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	639 KB
UnityCrashHandler64.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	1.101 KB
UnityPlayer.dll	28/2/2023 16:17	Extensión de la ap...	28.208 KB

Figura 1. Archivo ejecutable

- En el menú principal, seleccione la opción “Prácticas”.



Figura 2. Menú principal

- Escoja la práctica # 2



Figura 3. Menú de prácticas

- Se abrirá una ventana que brindará instrucciones del proceso a seguir.

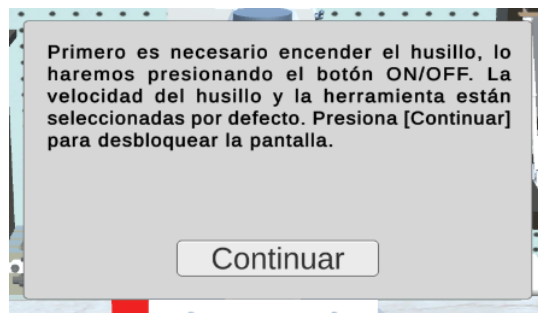


Figura 4. Ventana de instrucciones

- El primer paso es encender el husillo, para esto hay que dar clic en el botón On/Off en la esquina inferior derecha.

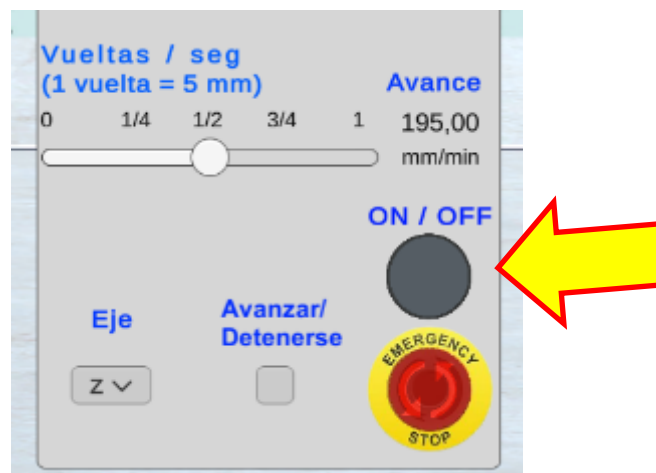


Figura 5. Encendido de husillo

- Luego de encender el husillo. Hay que mover el banco de trabajo hasta que la herramienta toque el material de trabajo, para determinar el punto 0 en Z. Para iniciar el avance presione el checkbox “Avanzar / Detenerse” en la parte inferior derecha.



Figura 6. Iniciar avance del banco de trabajo

- El banco de trabajo se detendrá automática al momento de entrar en contacto con el material. Ahora es necesario mover el banco en el eje x para realizar el corte. Hay que tomar en cuenta que las herramientas para planeado no están diseñadas para perforar, por lo que un corte vertical dañaría la herramienta.

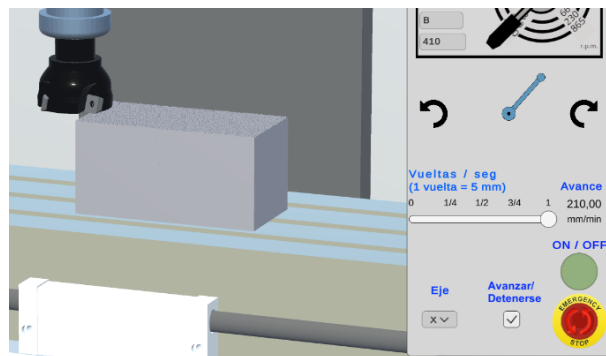


Figura 7. Movimiento en el eje X

- Al salir del área de corte se activará el siguiente paso, que es medir la profundidad de corte. Para hacerlo se utilizará el Medidor de desplazamiento, al presionar el primer botón mostrará por pantalla el desplazamiento en cada eje. Después presionarlo la aplicación indicará que se debe mover el banco 2 mm en el eje Z.

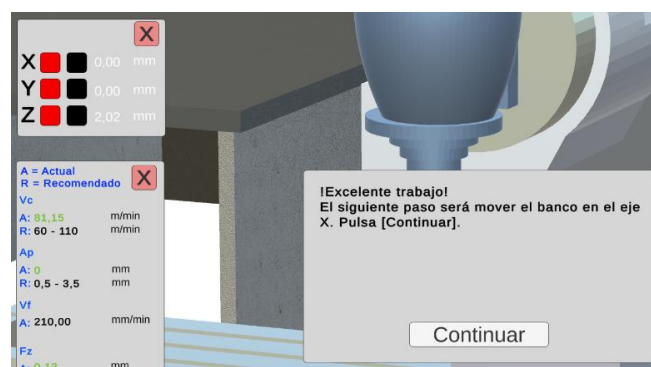


Figura 8. Profundidad de corte de 2 mm

- El siguiente paso será desplazarse en el eje X hasta el otro extremo del material de trabajo. Mientras sigue este paso, podrá observar cómo la superficie del material se vuelve uniforme

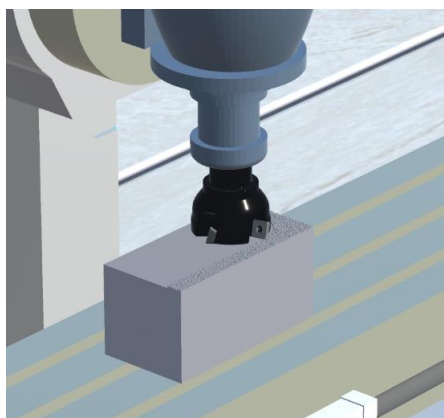


Figura 9. Planeado en superficie rugosa

- Al llegar al otro extremo en el eje X se completará la práctica de planeado y mostrará un mensaje de culminación.

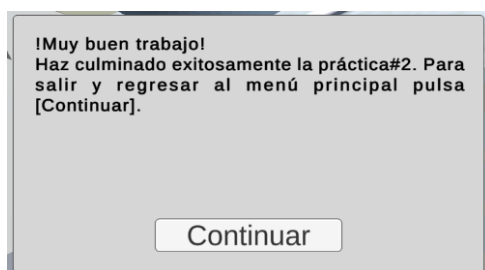


Figura 10. Mensaje de culminación de la práctica # 2

RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:

CARRERA: INGENIERÍA MECATRÓNICA

PRÁCTICAS DE FRESADO

**NRO.
PRÁCTICA:**

3

**TÍTULO PRÁCTICA: PRÁCTICA ASISTIDA PARA RANURADO
EN MATERIALES**

Objetivos:

- 1) Comprender el proceso de ranurado.
- 2) Realizar un ranurado de 4 mm en dos pasadas.

Instrucciones:

Nota: Esta práctica es asistida con el fin de que el usuario se familiarice con el proceso de ranurado y el entorno. Por lo tanto, las velocidades, avances, profundidad de corte y demás parámetros están preconfigurados para estar dentro de los límites establecidos por el fabricante y así evitar errores en una etapa inicial. El modo libre no cuenta con esta asistencia por parte de la aplicación.

- Abrir el primer archivo ejecutable.






 MonoBleedingEdge	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
 Pruebas de código_Data	28/2/2023 16:17	Carpeta de archivos	
 Pruebas de código.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	639 KB
 UnityCrashHandler64.exe	28/2/2023 16:17	Aplicación	1.101 KB
 UnityPlayer.dll	28/2/2023 16:17	Extensión de la ap...	28.208 KB

Figura 1. Archivo ejecutable

- En el menú principal, seleccione la opción “Prácticas”.



Figura 2. Menú principal

- Escoja la práctica # 3



Figura 3. Menú de prácticas

- Se abrirá una ventana que brindará instrucciones del proceso a seguir.

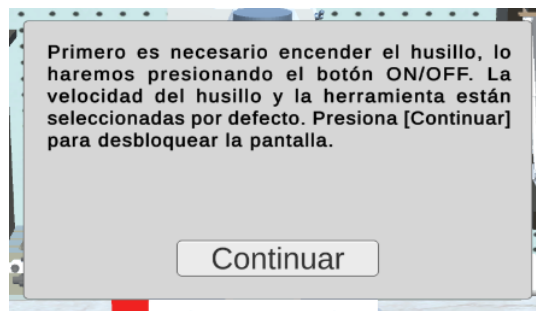


Figura 4. Ventana de instrucciones

- El primer paso es encender el husillo, para esto hay que dar clic en el botón On/Off en la esquina inferior derecha.



Figura 5. Encendido de husillo

- Luego de encender el husillo. Hay que mover el banco de trabajo hasta que la herramienta toque el material de trabajo, para determinar el punto 0 en Z. Para iniciar el avance presione el checkbox “Avanzar / Detenerse” en la parte inferior derecha.



Figura 6. Iniciar avance del banco de trabajo

- El banco de trabajo se detendrá automática al momento de entrar en contacto con el material. Ahora es necesario mover el banco en el eje x para realizar el corte. Hay que tomar en cuenta que las herramientas para planeado no están diseñadas para perforar, por lo que un corte vertical dañaría la herramienta.

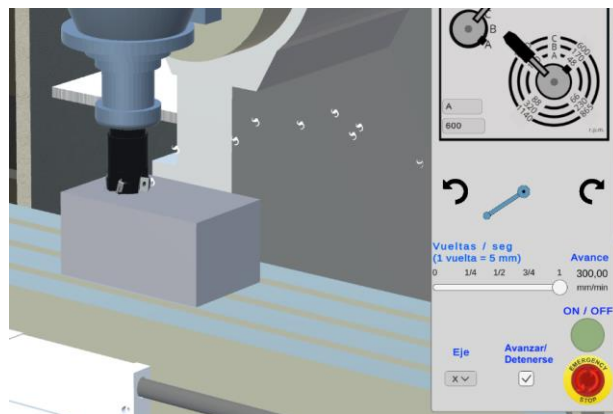


Figura 7. Movimiento en el eje X

- Al salir del área de corte se activará el siguiente paso, que es medir la profundidad de corte. Para hacerlo se utilizará el Medidor de desplazamiento, al presionar el primer botón mostrará por pantalla el desplazamiento en cada eje. Después presionarlo la aplicación indicará que se debe mover el banco 2 mm en el eje Z.

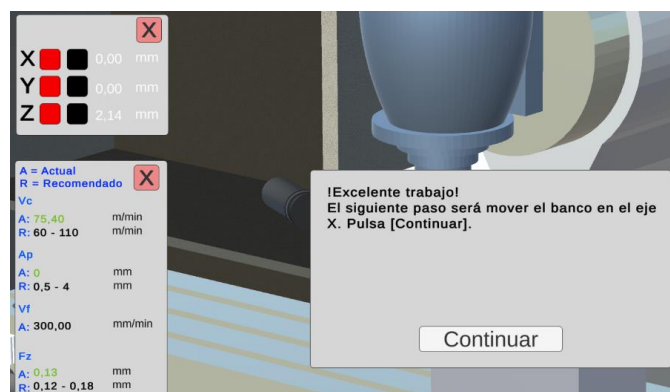


Figura 8. Profundidad de corte de 2 mm

- El siguiente paso será desplazarse en el eje X hasta el otro extremo del material de trabajo. Mientras sigue este paso, podrá observar la primera pasada de la ranura.

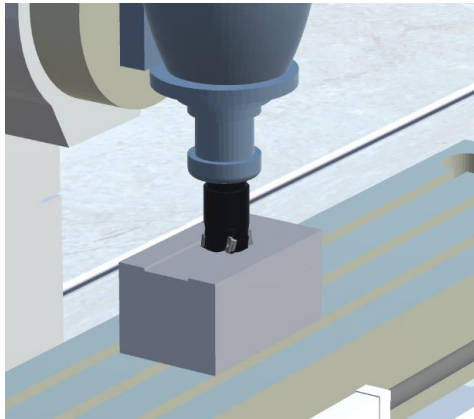


Figura 9. Primera pasada de ranurado

- Al llegar al otro extremo en el eje X se debe aumentar 2 mm de profundidad de corte en el eje Z.

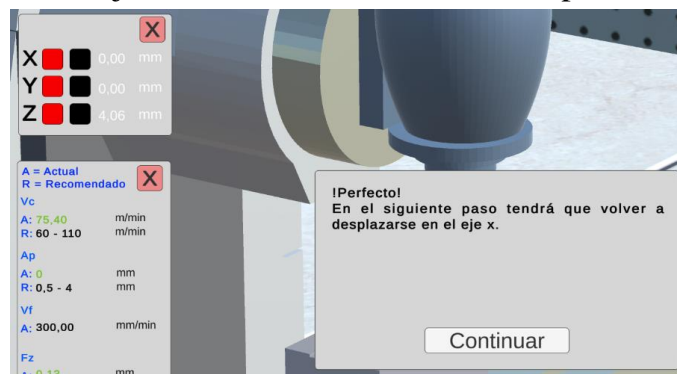


Figura 10. Profundidad de corte total 4 mm

- Ahora que la profundidad de corte ha sido ajustada, desplace el banco de trabajo en el eje X para realizar una segunda pasada.

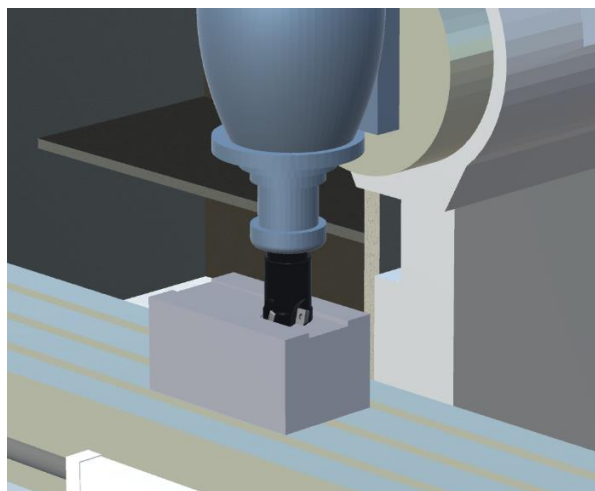


Figura 11. Segunda pasada de ranurado

- Al completar la segunda pasada la práctica # 3 habrá culminado y se mostrará un mensaje por pantalla.

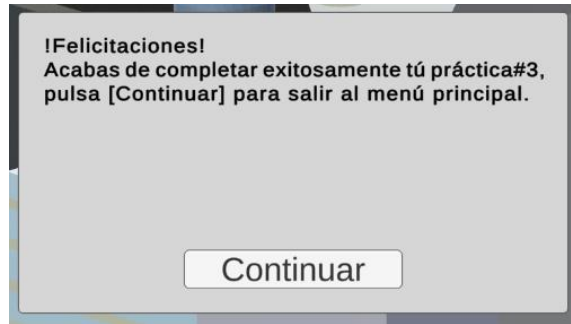


Figura 12. Mensaje de culminación de la práctica # 3

RESULTADOS:

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES: