

# Diseño de una mesa de vacío con un sistema de monitorización de temperatura del proceso de fresado

Martínez Gutierrez, Alejandro

2022-12-02

---

<https://hdl.handle.net/20.500.11777/5595>

<http://repositorio.iberopuebla.mx/licencia.pdf>

# Diseño de una mesa de vacío con un sistema de monitorización de temperatura del proceso de fresado

Brizuela González Juan Eduardo (octavo semestre en Ingeniería en Sistemas Computacionales)<sup>1</sup>, Galindo Pérez Eduardo (octavo semestre en Ingeniería Industrial)<sup>1</sup>, Martínez Gutiérrez Alejandro (séptimo semestre en Ingeniería Mecánica)<sup>1,\*</sup>, Méndez Murrieta Yohab (séptimo semestre en Ingeniería Industrial)<sup>1</sup>, Morúa Álvarez Nora del Rocío (profesor responsable)<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Universidad Iberoamericana Puebla, San Andrés Cholula, Puebla, México

## Resumen

Para lograr un buen proceso de fresado se requiere que la pieza esté completamente inmovilizada. Esto se puede lograr mediante un sistema de sujeción al vacío, es decir, una mesa de vacío. De la misma forma, controlando la temperatura que alcanza la herramienta durante el mecanizado, la diferencia entre la medida real de la pieza y el valor teórico será menor. Por lo tanto, el objetivo de este proyecto fue diseñar una mesa de vacío con un sistema de monitorización de temperatura del proceso de fresado. En la primera etapa, se caracterizó la mesa de vacío realizando distintas actividades como buscar los fundamentos de su funcionamiento, después se compararon los diferentes sistemas de sujeción al vacío, así como, se establecieron los materiales a mecanizar empleando la mesa. La segunda etapa consistió en establecer los requerimientos para un buen desempeño de la mesa y para poder completarla se establecieron los rangos para controlar la temperatura que alcanza la herramienta durante el mecanizado y se propusieron equipos de medición para el monitoreo de la temperatura. Para la tercera etapa, se desarrolló mediante CATIA V5 el dibujo de la mesa y se efectuó un análisis CFD mediante el software SimScale. Finalmente, se concluyó mediante el análisis CFD que el diseño mantiene un nivel de presión estable lo que garantiza un buen vacío y, por lo tanto, una buena fuerza de sujeción para evitar que la pieza se mueva durante el mecanizado.

**Palabras clave:** Mesa de vacío, fresadora, temperatura, sujeción.

**\*Autor Corresponsal:** alejandro.martinez.gutierrez@iberopuebla.mx

## Introducción

Los procesos de remoción de material son parte de la familia de las operaciones de formado donde el material se retira de una pieza inicial para darle la forma final que se desea conseguir [1]. La categoría más importante en las operaciones de formado es el maquinado convencional. Del mismo modo, la característica común del proceso de maquinado es el uso de una herramienta de corte que remueve material de la pieza de trabajo.

Para realizar dicha operación se requiere un movimiento relativo entre la herramienta y la pieza logrado mediante un movimiento primario llamado velocidad de corte, y un movimiento secundario llamado avance para que en conjunto con la forma de la herramienta y su penetración resulte la pieza final [2].

En el fresado, una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes avanza a través del material para generar un plano o una superficie, mientras que la dirección de avance es perpendicular al eje de rotación [3]. Ahora bien, desde un punto de vista comercial y tecnológico, la importancia de un buen proceso de fresado está en que existe una amplia gama de materiales de trabajo con variedad de formas y características geométricas que necesitan una precisión dimensional, así como acabados superficiales de calidad [1]. Por lo tanto, una mesa de vacío sirve para sujetar piezas de trabajo de forma simple en las máquinas herramienta y evitar la deflexión del material inevitable con las mordazas mecánicas.

Además, la mesa de vacío es capaz de sujetar materiales magnéticos y no magnéticos con o sin el uso de lubricantes [4]. Las piezas de trabajo se colocan en la superficie de las

mesas de vacío y el espacio libre restante como los orificios perforados se cubren con estereras de goma. Y así, el aire en el interior de la mesa de vacío se puede extraer con una bomba de vacío [5].

De acuerdo con la bomba de vacío, una diferencia de presión entre el interior y el exterior emerge de aproximadamente 100 mbar a aproximadamente 950 mbar [6], y la capa límite está representada por la pieza que se encuentra en la mesa de vacío. Asimismo, se utiliza un cordón de sellado, colocado de acuerdo con el contorno de la pieza de trabajo, lo que ayuda a suavizar la superficie irregular o rugosa pronunciada mientras la pieza de trabajo está asegurada para el mecanizado.

Por otra parte, uno de los mayores enemigos en el proceso de fresado, es la alta temperatura que alcanzan los materiales. Estas temperaturas varían en función de las propiedades del metal que se tienen y de las condiciones de trabajo ambientales. La temperatura media durante el fresado puede oscilar entre 300 y 900°C [7].

En consecuencia, con el fin de obtener una sujeción conveniente y eficaz de la pieza de trabajo, al igual que dar un seguimiento de la temperatura para evitar inexactitudes en el proceso, el objetivo de este proyecto fue diseñar una mesa de vacío con un sistema de monitorización de temperatura del proceso de fresado.

## Metodología

El proyecto se dividió en tres etapas principales, para la primera etapa se buscó comparar dos diferentes sistemas de sujeción al vacío, para así poder optar por el que nos otorgue una mayor oposición a las fuerzas del proceso de fresado.

En la segunda etapa, se determinaron los requerimientos para un buen funcionamiento de la mesa, al igual que se fijaron diferentes rangos de temperatura que puede llegar a alcanzar la herramienta durante el mecanizado. Asimismo, dentro de esta misma etapa se realizó la propuesta del equipo de medición de la temperatura y la forma de poder implementarla.

Por último, para la tercera etapa se realizó el modelado de la mesa dentro del software CATIA V5 y se hizo un análisis de flujo computacional con el motivo de poder asegurar el vacío en el diseño propuesto.

### Primera etapa

#### *Comparación de los sistemas de sujeción*

En primera instancia, se compararon dos sistemas de sujeción. Para el montaje del sistema 1, se necesita una bomba de vacío, un separador de líquidos (el cual elimina el condensado del sistema de sujeción de vacío y lo protege así de la suciedad) y la placa de sujeción por vacío como se puede observar en la Fig. 1 puesta a continuación:

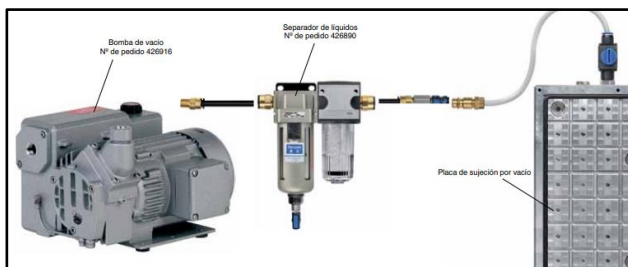


Fig. 1. Ejemplo de montaje del sistema 1.

En cambio, para el sistema 2 se integra por un generador de vacío, el separador de líquidos y la mesa de vacío. Los generadores de vacío nos permiten hacer una manipulación o sujeción de alguna pieza a través de un vacío generado por la entrada de presión, y el separador de líquidos tiene la misma función descrita anteriormente.

### Segunda etapa

#### *Establecimiento de los requerimientos para un buen desempeño de la mesa de vacío*

Se recabó información acerca de condiciones necesarias para un correcto funcionamiento de la mesa, por ejemplo, la fuerza del vacío necesaria depende del tipo, tamaño y grosor del material en el que se trabaja. Se debe tener en cuenta que cuanto más pequeña sea la pieza de trabajo, mayor será la fuerza necesaria para sujetar. Esto se debe a que, si una pieza de trabajo es pequeña, la fuerza de vacío tiene menos área contra la que tirar.

Del mismo modo, existen dos fuerzas que intentan volcar la pieza sobre la mesa de vacío. Uno es de fuerza lateral y el otro es de fuerza ascendente. La fuerza lateral es una función de la fricción entre la pieza y la superficie sobre la que se apoya. La mayor parte del tiempo, el coeficiente de fricción será tal que se necesita al menos el doble de fuerza para mover la pieza hacia los lados que para levantarla.

La fuerza ascendente necesaria para superar la fuerza de sujeción es solo una función del peso de la pieza más la fuerza de sujeción debida al vacío. Si la pieza se levanta,

aunque sea un poco, tal vez no lo suficiente como para visualizarlo, tendrá una fuga de vacío y, a menos que la bomba de vacío tenga mucha capacidad, la pieza pronto se desprenderá cuando caiga el vacío.

Igualmente, hay una compensación clave a considerar y es la capacidad de la mesa para soportar su pieza frente al área de superficie que está disponible para que el vacío haga su trabajo sujetando las piezas. Si la pieza descansa sobre una superficie que no es permeable al aire, entonces solo los pasajes que atraen el vacío ejercen fuerza.

Otro punto importante que se tomó en cuenta es que las superficies metálicas de las piezas en estado normal contienen una capa de óxido que recubre los átomos del metal. Cuando cortamos y perfilamos estas piezas, la presión que se ejerce es baja debido a esta capa de óxido, dando como resultado un débil contacto entre la pieza y la herramienta, factor a tener en cuenta.

Por tanto, cuando no se tienen en cuenta, la fuerza de fricción puede llegar a ser total, dificultando el trabajo y el deslizamiento de la pieza. Así, la cantidad de poder de sujeción que tiene en una parte dependerá de su área de superficie. Cuanto mayor sea el área de la superficie de la pieza en contacto con la mesa, mayor será la fuerza que la mantiene presionada.

Por lo general, una herramienta que tiene un tercio del diámetro de la herramienta original, combinada con altas RPM y una velocidad de avance moderada pueden hacer el trabajo sin alterar la pieza. Finalmente, para piezas grandes, se debe considerar usar una herramienta de corte hacia abajo para los cortes de acabado. Las herramientas de corte descendente empujan el material hacia abajo durante el fresado, en lugar de tirar hacia arriba, lo que ayuda a que las piezas pequeñas permanezcan en su lugar.

#### *Control de la temperatura de la herramienta durante el mecanizado*

Las temperaturas varían en función de las propiedades del material que se tienen y de las condiciones de trabajo ambientales. La temperatura media durante el fresado puede oscilar entre 300 y 900°C en la zona donde la herramienta deforma el material de la pieza y la corta. La división de la temperatura está dada de la siguiente manera: 10% del calor fluye hacia la pieza de trabajo, el 80% hacia las virutas cortadas y el 10% hacia la herramienta. Tomando en cuenta que el 10% del calor fluye hacia la herramienta; y también, teniendo en consideración que la temperatura media en el fresado oscila entre 300 y 900°C, realizamos la Tabla 1, en donde establecimos tres diferentes rangos para el control de la temperatura:

Tabla 1. Establecimiento de rangos para controlar la temperatura.

	Temperatura	Denominación
<b>Rango 1</b>	0 a 30°C	BAJO
<b>Rango 2</b>	31 a 60°C	MEDIO
<b>Rango 3</b>	61 a 90°C	ALTO

### Propuesta de equipo de medición para el monitoreo de la temperatura

Se buscó un equipo conveniente para poder dar el seguimiento a la temperatura como es el caso del sensor de temperatura LM35 que aparece en la Fig. 2, al igual que se indagó en encontrar un chip y una placa de desarrollo para la misma causa de poder monitorear la temperatura.

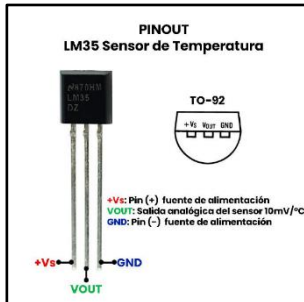


Fig. 2. Sensor de Temperatura LM35.

### Implementación del sistema de medición de la temperatura

Los datos se enviarán a una base de datos en la nube (Realtime Database de Firebase) para poder exponérselos al cliente en una página web. Para que así, el cliente pueda monitorear en cualquier dispositivo con acceso a internet la temperatura de la herramienta de la fresadora.

Debido a que es una página web, en vez de que se envíen notificaciones, se enviarían SMS a las personas que estén utilizando la fresadora cuando se haya alcanzado uno de los tres rangos que fijamos anteriormente.

### Tercera etapa

#### Modelado del prototipo de la mesa de vacío

Se realizó el dibujo en el software Catia V5 de la mesa de vacío para así poder cumplir con el objetivo del presente proyecto y cuyo diseño necesitó todo lo anteriormente descrito.

#### Análisis de flujo computacional

En última instancia, para poder asegurar el vacío a través de los ductos en nuestro diseño, se hizo una simulación dinámica de fluidos (CFD).

### Resultados y Discusión

Los resultados más sobresalientes de la investigación realizada fueron que al comparar los dos sistemas de sujeción se halló que el sistema más eficiente está compuesto por la bomba de vacío de la marca GAST con especificaciones de 0.5Hp de potencia, una velocidad de flujo de 240 L/min y una presión máxima de 100 psi.

De igual manera, el separador de líquidos que forma parte del sistema de vacío es un componente esencial, ya que elimina de forma eficiente el condensado del sistema de sujeción y lo protege de la suciedad que se pudiese recolectar durante el proceso. Las características principales del filtro son conexión de 3/4 in y que permite un flujo de 15 m<sup>3</sup>/h, al igual que permite un peso muy reducido y compacto de tan

solo 1610 g, por lo que se puede integrar de manera fácil y sencilla a nuestro sistema de generación de vacío.

También, es importante mencionar que para lograr un vacío eficiente el sistema deberá estar integrado por un vacuómetro, el cual sirve para medir la presión y el vacío en espacios específicos y poder monitorear si existen fugas en el sistema; también, se necesitarán juntas para la instalación del vacuómetro, válvulas de cierre que permitan la abertura y cierre del sistema de vacío para que de esta manera protejan los componentes principales como la bomba o el separador de líquidos en caso de un accidente, así como tubo flexible neumático para realizar todas las conexiones necesarias; por último, boquillas de empalme para enchufe rápido que garanticen una rápida y sencilla instalación y mantenimiento. Debido a todas las ventajas anteriormente mencionadas, y a pesar de que el generador de vacío nos permite hacer una manipulación o sujeción de alguna pieza a través de vacío mediante el principio de Venturi al alimentar el generador con aire comprimido para producir una succión lo cual nos otorga un sistema muy compacto y reducido, de aplicación universal y económico para su uso en sistemas con producción de vacío descentralizada [5].

Sin embargo, este sistema presenta desventajas debido a que se necesita una gran presión para potencias de aspiración elevadas que se antepongan a las fuerzas en el proceso de fresado las cuales el generador de vacío no es capaz de satisfacer.

El siguiente resultado que se encontró durante la investigación es que para garantizar un buen funcionamiento de la mesa de vacío y asegurar una buena sujeción durante el proceso de fresado, es muy importante seleccionar los materiales permitidos y el grosor de estos como se detalla en la Tabla 2. Para anteponerse a estas dificultades a la hora de fijar las piezas en una máquina se seleccionaron los siguientes materiales:

Tabla 2. Materiales posibles para mecanizar en la mesa.

Material	Características
Nailon	Densidad 1.15 g/cm <sup>3</sup> Punto de fusión de 190 a 350°C Velocidad de corte de 30 a 100 m/min Grosor máximo 2 in
Acrílico	Densidad 1.18 g/cm <sup>3</sup> Punto de fusión de 160°C Velocidad de corte de 20 a 25 mm/seg Grosor máximo 2 in
Aluminio	Densidad 2698.4 kg/m <sup>3</sup> Punto de fusión de 660°C Velocidad de corte con fresa de acero de alta velocidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• 150 a 300 m/min</li> </ul> Velocidad de corte con fresa de carburo <ul style="list-style-type: none"> <li>• 300 a 600 m/min</li> </ul> Grosor máximo 1 in
Aleaciones no ferrosas	Densidad 8960 kg/m <sup>3</sup> Punto de fusión de 1085°C Velocidad de corte con fresa de acero de alta velocidad <ul style="list-style-type: none"> <li>• 20 a 35 m/min</li> </ul>

	Velocidad de corte con fresa de carburo <ul style="list-style-type: none"> <li>• 60 a 120 <math>m/min</math></li> </ul> Grosor máximo $\frac{1}{2} in$
Acero	Densidad $8960 kg/m^3$ Punto de fusión de $1085^{\circ}C$ Velocidad de corte con fresa de acero de alta velocidad para acero aleado <ul style="list-style-type: none"> <li>• 12 a 20 <math>m/min</math></li> </ul> Velocidad de corte con fresa de carburo para acero aleado <ul style="list-style-type: none"> <li>• 45 a 75 <math>m/min</math></li> </ul> Velocidad de corte con fresa de acero de alta velocidad para acero inoxidable <ul style="list-style-type: none"> <li>• 10 a 25 <math>m/min</math></li> </ul> Velocidad de corte con fresa de carburo para acero inoxidable <ul style="list-style-type: none"> <li>• 30 a 90 <math>m/min</math></li> </ul> Grosor máximo $\frac{1}{2} in$

Debido a la complejidad de los canales internos y para garantizar un buen vacío a través de los ductos con las dimensiones propuestas se efectuó una simulación dinámica de fluidos (CFD). Sin embargo, para efectuar dicho análisis y emplear las herramientas de la mecánica de fluidos computacional primero hay que comprender que los conductos que se utilizan para transportar fluidos son de dos clases: conductos cerrados como tuberías en las cuales el fluido se encuentra bajo presión o conductos abiertos como canales de riego y ríos [8].

Además, existen pérdidas de carga primarias y secundarias. Las primarias son las pérdidas de superficie en el contacto del fluido con la tubería (capa límite), rozamiento de unas capas de fluido con otras (régimen laminar) o de las partículas de fluido entre sí. Por otro lado, las pérdidas secundarias son las pérdidas de forma que tienen lugar en las transiciones, codos, válvulas y toda clase de accesorios de tubería. En muchos casos si la conducción es larga (oleoductos y gasoductos) las pérdidas secundarias tienen poca importancia pudiendo a veces despreciarse; o bien, se tienen en cuenta al final sumando un 5 al 10% de las pérdidas principales halladas. Sin embargo, si la conducción es corta y complicada como es el caso de los ductos en el prototipo de la mesa de vacío (Fig. 3) las pérdidas secundarias pueden jugar un papel importante y pueden incluso llegar a ser despreciables en comparación con las pérdidas primarias [8].

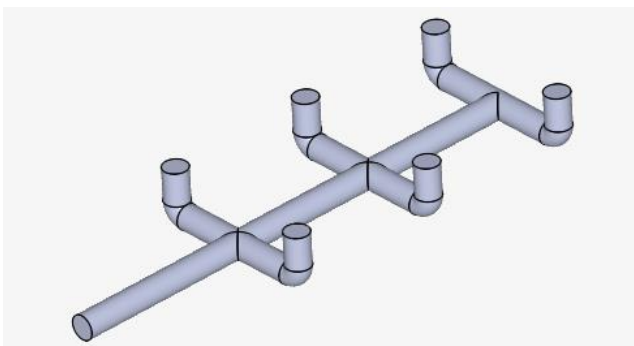


Fig. 3. Ductos internos en el prototipo virtual de la mesa de vacío.

En general, en todos los accesorios de tuberías se producen perturbaciones de la corriente que origina remolinos y desprendimientos que intensifican las pérdidas. En nuestro diseño consideramos un accesorio T de confluencia, dos accesorios de cruz y seis codos por lo que se optó por simular únicamente la red de canales del sistema de vacío para disminuir los recursos computacionales, y así disminuir los factores en el diseño que no afecten de forma directa el funcionamiento del sistema de vacío.

Para nuestra simulación se empleó un análisis de flujo incompresible de aire con un valor de viscosidad cinemática de  $1.529e-5 m^2/s$  y una densidad de  $1.196 kg/m^3$ . Posteriormente, se establecieron dos condiciones de presión de frontera, entrada y salida, con valor de 0 Pa en la entrada y 1 atm a las salidas. Más adelante, se elaboró un mallado fino de 0.5mm de los canales y se corrió la simulación a través del software SimScale obteniéndose los resultados gráficos de las Fig. 4 y 5, las cuales nos muestran que existe una ligera caída de presión en la primera unión de tipo cruz y una velocidad máxima de 457.5 m/s.

Asimismo, se presenta la gráfica del comportamiento del fluido a través del tiempo a la salida del ducto en la Fig. 6 y se ilustran los componentes vectoriales de la velocidad promedio, así como, el valor de la presión. Podemos observar que se estabiliza en 0 lo cual garantiza que el vacío sea suficiente porque existe un diferencial de presión.

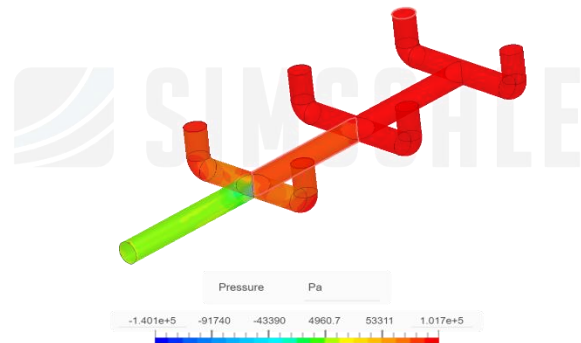


Fig. 4. Presión interna del sistema de vacío.

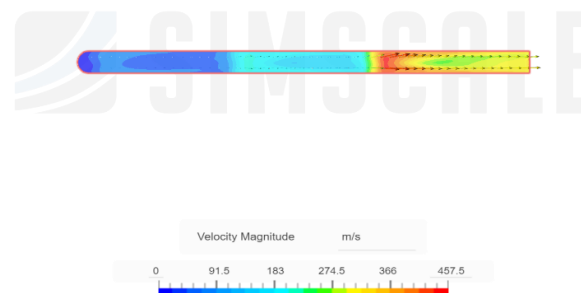


Fig. 5. Velocidad del fluido a través de la tubería.

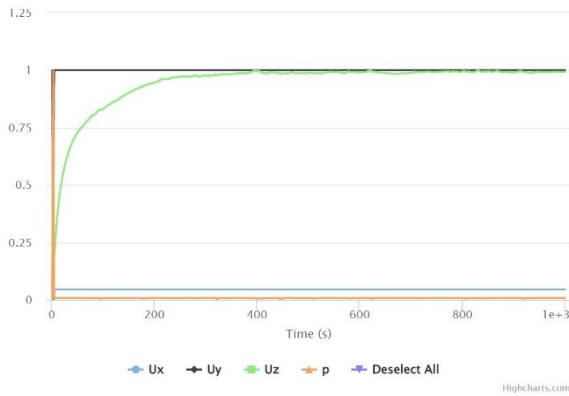


Fig. 6. Comportamiento del fluido a la salida del ducto.

Finalmente, se presentan los resultados del diseño de la mesa de vacío a través del software Catia V5 en un dibujo en 2D (Fig. 7) donde se pueden apreciar todas las dimensiones en milímetros del prototipo, al igual que los canales internos que forman el sistema de vacío. Por último, se muestra una imagen renderizada en la Fig. 8 de cómo se observaría el resultado final.

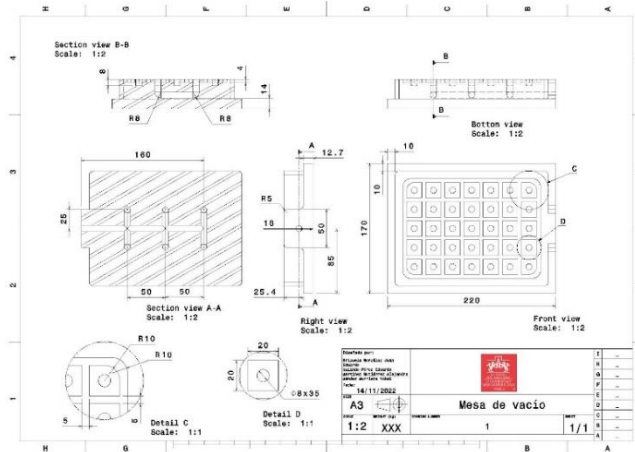


Fig. 7. Dibujo 2D de la mesa de vacío.

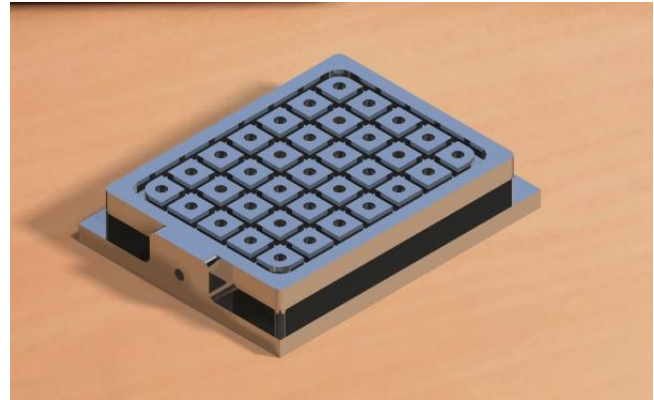


Fig. 8. Prototipo virtual de la mesa de vacío.

### Conclusiones, perspectivas y recomendaciones

Como todos los métodos de sujeción, se tienen límites, y para una mesa de vacío es el tamaño de la pieza de trabajo. Es decir, que cuanto más pequeña sea la pieza de trabajo, mayor será la fuerza necesaria para sujetar. Esto se debe a que, si una pieza de trabajo es pequeña, la fuerza de vacío tiene menos área contra la que tirar. También, recomendamos indagar otras posibilidades y buscar nuevas alternativas para fabricar los ductos internos del sistema de vacío en la mesa de sujeción.

Las ventajas de la mesa de vacío son: fijación conveniente, ahorro de tiempo de fijación y mejora de la eficiencia. La mesa funciona manipulando la presión atmosférica para proporcionar fuerza a la pieza contra una superficie. Esto aumenta la fricción estática contra las fuerzas de una fresa, sin embargo, para garantizar el vacío también se diseñaron los barrenos de la mesa para colocar un pasador y contraponerse a las fuerzas horizontales a la hora de mecanizar. Por medio de las herramientas de la mecánica de fluidos computacional se puede observar a través de nuestros resultados en la simulación que se mantiene un nivel de presión estable lo que garantiza un buen vacío y, por lo tanto, una buena fuerza de sujeción para evitar que la pieza se mueva durante el mecanizado. Sin embargo, nuestro diseño no contempla las dificultades a la hora de manufacturar el prototipo de la mesa de vacío ideal, por lo que, en un futuro deberá modificarse el diseño para garantizar la viabilidad del proyecto sin comprometer el funcionamiento y minimizando las pérdidas secundarias.

### Referencias

- [1] M. P. Groover. **Introducción a los procesos de manufactura**. McGraw-Hill Interamericana, 2014.
- [2] B. Moreno y A. M. Orozco. **Manufactura: conceptos y aplicaciones**. Grupo Editorial Patria., 2019.
- [3] A. Velling. **Milling Cutters and Tools – an Overview**. Fractory. <https://fractory.com/milling-cutters-and-tools/> (accedido el 14 de octubre de 2022).
- [4] VAC & FIX. **Vacuum tables and systems for vacuum fastening**. Vacifix. <https://www.vacifix.ru/attachments/3/0/303bd2f170d73b89986dfb46f6fdf341.pdf> (accedido el 25 de octubre de 2022).

- 
- [5] AMF. **Técnica de sujeción al vacío.** amf.de. <https://www.amf.de/files/amf-assets/news/downloads/catalogues/Catalogo-AMF-Sistemas-de-sujecion-por-vacio.pdf> (accedido el 30 de octubre de 2022).
- [6] Vacuum Tables UK. **How does vacuum clamping work?** VacuumTables. <https://vacuumtables.co.uk/knowledgebase/how-does-cnc-vacuum-clamping-work> (accedido el 28 de octubre de 2022).
- [7] J. Lasheras. **Máquinas herramientas: fresadoras**, 8a ed. Editorial Donostiarra, 2015.
- [8] C. Mataix, **Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas**, 2a ed. Alfaomega, 2016.