

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

***“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UN VIBRADOR PARA EL TRATAMIENTO DE
PULIDO CON ABRASIVO A PIEZAS IMPRESAS POR EL PROCESO DE
MANUFACTURA ADITIVA”***

**Memoria para optar al Título de:
INGENIERO MECÁNICO**

ALUMNO : PAULA ORTEGA AMORRORTU

PROFESOR GUÍA : GUSTAVO ADOLFO MORALES PAVEZ

2019

RESUMEN DEL PROYECTO

Esta tesis tiene como objetivo diseñar un equipo para el tratamiento de pulido con abrasivo a piezas fabricadas por el proceso de manufactura aditiva, ya sea, FDM, SLS, etc. El diseño de esta máquina cumplirá con los parámetros correspondiente a la geometría promedio que se pueda fabricar por manufactura aditiva en el laboratorio, además de su bajo costo, tipo de abrasivo y selección de elementos de máquinas en base a los requerimientos de funcionamiento y resistencia. Para ello, se empleará el software de diseño y simulación *Fusion 360* y se estudiarán diversos procesos de fabricación, para en caso de ser posible, concluir con un prototipo del equipo.

Además de lo anterior, esta tesis busca ampliar el estudio acerca de la que es conocida como la “4a revolución industrial”, o desarrollo en la investigación de manufactura aditiva o impresión 3D. Del mismo modo, se analizará la situación actual en Latinoamérica y más concretamente de Chile en este sector.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. MANUFACTURA ADITIVA, PROCESOS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES.....	6
2.1. MANUFACTURA ADITIVA.....	6
2.2. PROCESOS DE MANUFACTURA ADITIVA.....	7
2.2.1. EXTRUSIÓN DE MATERIAL (FDM).....	11
2.2.2. FOTOPOLIMERIZACIÓN (<i>VAT PHOTOPOLYMERIZATION</i>).....	11
2.2.3. FUSIÓN DE LECHO DE POLVO (<i>POWDER BED FUSION</i>).....	12
2.2.4. INYECCIÓN DE MATERIAL (<i>MATERIAL JETTING</i>).....	13
2.2.5. INYECCIÓN DE AGLOMERANTE (<i>BINDER JETTING</i>).....	14
2.2.6. DEPOSICIÓN DIRECTA DE ENERGÍA (<i>DIRECTED ENERGY DEPOSITION</i>).....	15
2.2.7. LAMINACIÓN DE HOJAS (<i>SHEET LAMINATION</i>).....	16
2.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PARA PIEZAS FORMADAS MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA.....	17
2.3.1. MEJORAR EL ACABADO SUPERFICIAL MEDIANTE REFUSIÓN PERIMETRAL	18
2.3.2. POST PROCESOS MECÁNICOS, QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS.....	19
2.3.3. SOLDADURA “BRAZING” PARA LA UNIÓN DE DOS PIEZAS FABRICADAS CON MA DE METAL.....	21
2.3.4. PULIDO DE SUPERFICIES POR VIBRACIÓN CON ABRASIVO.....	22
3.EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA MA Y SITUACIÓN ACTUAL EN CHILE Y LATINOAMÉRICA.....	25
4. METODOLOGÍA.....	27
5. CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS.....	28
5.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL PROTOTIPO.....	29
5.1.1. TAMBOR.....	29
5.1.2. MOTOR VIBRATORIO.....	33
5.1.3. EJE EXCÉNTRICO.....	34
5.1.4. CONTRAPESOS EXCÉNTRICOS.....	38
5.1.5. MUELLES HELICOIDALES.....	39
5.1.6. BANCADA.....	43
5.1.7. CARCASA DE EJE EXCÉNTRICO.....	44
5.1.8. RODAMIENTOS.....	45

5.1.9. RECUBRIMIENTO DE RODAMIENTO.....	47
5.2. ELEMENTOS AUXILIARES DEL PROTOTIPO.....	48
5.2.1. AISLAMIENTO ACÚSTICO.....	48
5.2.2. TAMIZ SEPARADOR.....	48
5.2.3. TRAMPILLA SEPARADORA.....	49
5.2.4. DOSIFICADOR DE AGUA Y DISOLVENTES QUÍMICOS.....	49
6. PLANOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE.....	50
6.1. PLANOS DE FABRICACIÓN.....	50
6.2. MONTAJE.....	50
7. ESTUDIO ECONÓMICO.....	55
7.1. COSTES DE PIEZAS FABRICADAS.....	55
7.2. COSTE DE PIEZAS NORMALIZADAS.....	57
7.3. COSTE MONTAJE.....	58
7.4. COSTE FINAL.....	58
8. CONCLUSIONES.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resumen procesos de MA, materiales empleados, ventajas y desventajas.....	10
Tabla 2: Propiedades del diseño del tambor obtenidas mediante Fusion 360.....	31
Tabla 3: Costes de fabricación del eje excéntrico.....	56
Tabla 4: Costes de fabricación de la pieza excéntrica.....	56
Tabla 5: Coste total de todas las piezas fabricadas.....	57
Tabla 6: Coste de todas las piezas normalizadas.....	57
Tabla 7: Coste de todas las piezas normalizadas.....	57
Tabla 8: Coste del montaje de la máquina.....	58
Tabla 9: Coste final de la fabricación y montaje completo de la máquina.....	58

ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1: Proceso FDM.....	11
Imagen 2: Proceso de fotopolimerización.....	12
Imagen 3: Proceso fusión de lecho de polvo.....	13
Imagen 4: Proceso de inyección de material.....	14
Imagen 5: Proceso de inyección de aglomerante.....	15
Imagen 6: Proceso de deposición directa de energía.....	16
Imagen 7: Proceso de laminación de hojas.....	17
Imagen 8: Clasificación de post procesos.....	19
Imagen 9: Efecto del granallado en el acabado de una pieza.....	20
Imagen 10: Efecto del vibrado en el acabado de una pieza.....	20
Imagen 11: Soldadura "Brazing".....	21
Imagen 12: Máquina pulidora por vibración.....	22
Imagen 13: Acabado de piezas por pulido con vibración en seco y húmedo.....	23
Imagen 14: Abrasivos ECO.....	24
Imagen 15: Diseño del tambor del prototipo.....	30
Imagen 16: Motor Siemens 1LG0.....	33
Imagen 17: Diseño de eje excéntrico del prototipo.....	34
Imagen 18: Diseño de la excéntrica adaptable del prototipo.....	38
Imagen 19: Diseño del resorte del prototipo.....	39
Imagen 20: Diseño de la bancada montada del prototipo.....	43
Imagen 21: Diseño de la carcasa del prototipo.....	44
Imagen 22: Dimensiones normalizadas del rodamiento angular 7208 BECBPH.....	45
Imagen 23: Tabla de datos del fabricante del rodamiento angular 7208 BECBPH.....	46
Imagen 24: Diseño del rodamiento angular del prototipo.....	46
Imagen 25: Diseño del recubrimiento de rodamiento del prototipo.....	47
Imagen 26: Tamiz separador de una máquina pulidora.....	48
Imagen 27: Trampilla separadora de una máquina pulidora.....	49
Imagen 28: Acoplamiento eje excéntrico-motor.....	50
Imagen 29: Acoplamiento de las excéntricas, rodamientos y recubrimientos.....	51
Imagen 30: Montaje de la carcasa del eje excéntrico.....	52
Imagen 31: Sistema completo montado sobre la bancada.....	53
Imagen 32: Acoplamiento del tambor de pulido y fin de montaje.....	54

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente cualquier pieza producida industrialmente necesita un acabado superficial y para ello, un proceso de pulido. De esta forma, la pieza puede proseguir con diversas etapas post-operacionales como laqueado, pintado... o igualmente este proceso de pulido puede ser su terminación.

Antiguamente, este proceso quedaba a cargo de la habilidad y experiencia del operario, considerándolo como una terminación artesanal. Sin embargo, actualmente y más analizando las grandes producciones industriales y mecánicas, es necesario encontrar procesos más económicos y más rápidos. Es por esto que cobra importancia investigar nuevos métodos de acabado superficial y mejorar los ya desarrollados.

El continuo desarrollo tecnológico afecta directamente a las producciones e industrias a la hora de fabricar sus productos. Cabe mencionar el rápido crecimiento en los últimos años de la manufactura aditiva, robótica e impresión 3D por sus múltiples beneficios en producción y económicos. Es por esto que el objetivo de esta tesis es diseñar y fabricar un equipo vibratorio para el pulido con abrasivo, a piezas impresas por el proceso de manufactura aditiva, para así contribuir en el avance y estudio de la que es conocida como la 4a revolución industrial.

2. MANUFACTURA ADITIVA, PROCESOS Y TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

2.1. MANUFACTURA ADITIVA

La Manufactura aditiva (MA) o fabricación aditiva (FA) es un proceso por el cual un archivo 3D es convertido en un objeto físico mediante la adición capa por capa de material. Es por esto que el término más comúnmente utilizado para referirse a la MA es “Impresión 3D”. El material empleado para la fabricación de estas piezas es muy diverso e incluye plástico, metal, resina, papel etc.

El proceso de FA comienza mediante la creación de un archivo 3D en un software de simulación de diseño como CAD (Computer Aided Design), SolidWorks, Autodesk Inventor o Fusion 360 (éste último será el empleado para el diseño de la máquina vibradora). A continuación, este archivo es interpretado por la impresora y ésta se encarga de añadir material en los puntos especificados. [1]

Éste proceso de fabricación cuenta con varias ventajas y beneficios. Entre ellos económicos puesto que la fabricación de cada unidad tiene el mismo valor y además es muy accesible puesto que pueden producirse una o varias unidades. Además, tampoco hay necesidad de invertir en herramientas. La FA es particularmente efectiva cuando los métodos de fabricación tradicionales son ineficientes. Asimismo, su campo de trabajo es muy amplio y autónomo y permite a los diseñadores tanto profesionales como semi profesionales poder fabricar objetos de una manera muy precisa y de una forma más desatendida. [2]

Es por esto que muchas compañías y diseñadores han redefinido mediante la FA la relación entre diseño y fabricación considerando que un objeto o pieza puede ser producido si puede ser imaginado. [3] Con todo lo anterior, mientras la fabricación tradicional mantiene a día de hoy límites y restricciones, la FA ofrece una gran libertad de formas, figuras y cantidades, permitiendo además:

- Personalización de productos.
- Capacidad para producir piezas con geometría compleja.
- Producción de partes funcionales en una sola etapa.
- Producción por lotes.
- Creación de equipos mecánicos de alto rendimiento.
- Las piezas pueden ser modificadas durante la vida del productos.

- Empleada en diversos sectores en desarrollo: aeronáutica, medicina, ingeniería, arquitectura, diseño...

Al igual que se mencionan las ventajas de la MA, cabe mencionar que a día de hoy la MA no es sustitutiva a la fabricación tradicional sino que estas nuevas tecnologías de fabricación son complementarias a las ya conocidas. Además, la limitación reside en el tamaño de las piezas que se pueden fabricar que se limitan al tamaño de la impresora 3D que la crea. También hay falta de perfiles cualificados para implementar esta tecnología. Otras de las desventajas de la MA son las siguientes: las impresoras 3D consumen mas energía eléctrica que otros procesos de fabricación y aún es una tecnología que esta en proceso de adecuación a controles de calidad.

2.2. PROCESOS DE MANUFACTURA ADITIVA

La manufactura aditiva incluye múltiples procesos de fabricación, todos los cuáles tienen un nombre asociado a su descripción de ejecución. Muchos de estos nombres han cobrado importancia por haber sido comercializados por empresas líderes en el sector de MA. Igualmente, a medida que ha crecido y se ha desarrollado la tecnología de la MA, las principales organizaciones de estandarización, lideradas por *ASTM (American Society for Testing and Materials)* crearon varias normas sobre la fabricación aditiva. Una de ellas es la referida a la nomenclatura que es la que da nombre a las tecnologías existentes en la MA. En función de las características principales de cada tecnología, se concluyó que se podían agrupar en 7 categorías: [3]

1. Extrusión de material (FDM)
2. Fotopolimerización o *vat photopolymerization* (SLA/DLP/CDLP)
3. Fusión de lecho de polvo o *Powder Bed Fusion* (PBF)
4. Inyección de material o *Material Jetting*
5. Inyección de aglomerante o *Binder Jetting*
6. Deposición directa de energía o *Directed Energy Deposition* (DED)
7. Laminación de hojas o *Sheet Lamination*

A continuación, se resumirá en una tabla los materiales empleados en cada uno de estos procesos de fabricación aditiva, así como las ventajas y desventajas que conllevan. Seguidamente, se explicará brevemente el funcionamiento de cada uno de los procesos. [4]

PROCESO	MATERIALES	VENTAJAS	DEVENTAJAS
Extrusión de material (FDM)	<ul style="list-style-type: none"> - Materiales termoplásticos - Polímeros: PLA, PC, ABS. - Cerámicos. - Metálicos en forma de pasta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad para crear figuras de geometrías complejas apoyándose en material de soporte, ya sea soluble o del mismo material. - Es la tecnología de MA más económica. - Mecanismo de trabajo sencillo. - Material de trabajo con bajo coste y gran disponibilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - La resolución del eje z (eje que forman la sucesión de capas), es bastante pobre comparado con otras tecnologías. - Si la pieza necesita un acabado de mejor calidad superficial es necesario un post-trabajo de acabado aumentando el tiempo de coste y fabricación.
Fotopolimerización	<ul style="list-style-type: none"> - Polímeros. - Resinas fotosensibles. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta calidad en acabado superficial y precisión geométrica respecto al diseño. - Proceso relativamente rápido. - Impresión de piezas de tamaño relativamente grande, pudiendo llegar hasta los 200kg. 	<ul style="list-style-type: none"> - Precio elevado del material base. - Limitada variedad de materiales. - Para generar geometrías complejas es necesario imprimir estructuras de soporte. - Trabajo de limpieza posterior ligeramente alto. - Puede generar defectos internos como porosidades en la pieza.
Fusión de lecho de polvo (PFB)	<ul style="list-style-type: none"> - Polvos metálicos. - Polímeros. - Metales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Permite desarrollar piezas de complejidad geométrica alta debido a que el polvo ejerce como material de soporte facilitando la 	<ul style="list-style-type: none"> - Limitación en el tamaño de piezas a fabricar puesto que el tamaño del objeto depende directamente del tamaño del

		<p>construcción de como por ejemplo, cavidades.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Permiten un elevado nivel de acabado. 	<p>recipiente que contiene polvo.</p> <ul style="list-style-type: none"> -Incapacidad de trabajar con más de un material y la dificultad de adherir partes nuevas a piezas ya creadas.
Inyección de material	<ul style="list-style-type: none"> - Principalmente inyecciones de materiales plásticos y ceras; los más comunes: PMMA, PP, ABS, HDPE... 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto nivel de acabado superficial de las piezas fabricadas. - Perfecto para el desarrollo de moldes para fundición a la cera perdida. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca variedad de materiales disponibles a inyectar. - Las propiedades mecánicas de la pieza final son algo pobres.
Inyección de aglomerante	<ul style="list-style-type: none"> - Amplia variedad de materiales plásticos y metálicos. - Aleaciones férreas y no férreas e incluso una mezcla de aglutinante y arena. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rapidez en la fabricación, de las más rápidas dentro de los procesos de MA. - Capacidad de reproducir geometrías de gran complejidad. - Alta variedad de materiales posibles a emplear. 	<ul style="list-style-type: none"> - Las piezas fabricadas no tienen grandes propiedades mecánicas lo que hace necesario emplear un proceso posterior para mejorarlas, aumentando el coste y el tiempo de trabajo.
Deposición directa de energía (DED)	<ul style="list-style-type: none"> - Polímeros termoplásticos. - Metales. - Materiales cerámicos. - Aleaciones metálicas como aceros, oxidables e inoxidables, y aleaciones de aluminio 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor tiempo de deposición de material. - Posibilidad de formar piezas de mayor tamaño. - Capacidad de reparación o modificaciones de 	<ul style="list-style-type: none"> - Acabado superficial de la pieza pobre. - Las piezas fabricadas son mas vastas y precisan de mecanizado posterior. - Limitaciones con algunas geometrías

	<p>o níquel.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La atmósfera de trabajo es controlada por lo que son aplicables también para producir piezas de titanio y cobalto junto con sus respectivas aleaciones. 	<p>piezas ya existentes.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Control exhaustivo y preciso de la atmósfera de trabajo. 	<p>complejas, como con huecos o agujeros.</p>
Laminación de hojas	<ul style="list-style-type: none"> - Metales que puedan ser conformados en forma de lámina -Papel en forma de lámina. - Posibilidad de generar piezas multimaterial puesto que cualquier metal soldable puede ser utilizado, por lo que pueden intercalarse láminas de distintos materiales según las necesidades de la pieza. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta velocidad de trabajo en formación de capas. - Técnica muy desarrollada y con amplia variedad de materiales laminados. - Fácil obtención de la materia prima de laminación de forma económica. - La unión laminar es directamente solida por lo que se evita llevar el material a estado líquido y solidificarlo posteriormente, evitando así defectos de solidificación. - Fabricación de piezas multimaterial. 	<ul style="list-style-type: none"> - Pobreza en acabado. - Piezas más bastas debido al espesor de capas. - Necesidad de acabado posterior, más sencillo en papel que en metales. - En la laminación con metales existe el problema de piezas formadas con porosidades. - Si las láminas tiene defectos superficiales, la formación de capas pueden no estar unidas debidamente, afectando a las propiedades finales de la pieza.

Tabla 1: Resumen procesos de MA, materiales empleados, ventajas y desventajas.[4]

2.2.1. EXTRUSIÓN DE MATERIAL (FDM)

El proceso FDM (*Fused Deposition Modeling*) o extrusión de material consisten en extrudir material fundido, depositándolo específicamente después según el desplazamiento programado del cabezal para generar las capas con la forma de la sección transversal de la pieza a construir. Este proceso parte de material en forma de hilo que se funde a través de una boquilla antes de ser depositado y posteriormente solidifica en la superficie de trabajo adhiriéndose al material contiguo.

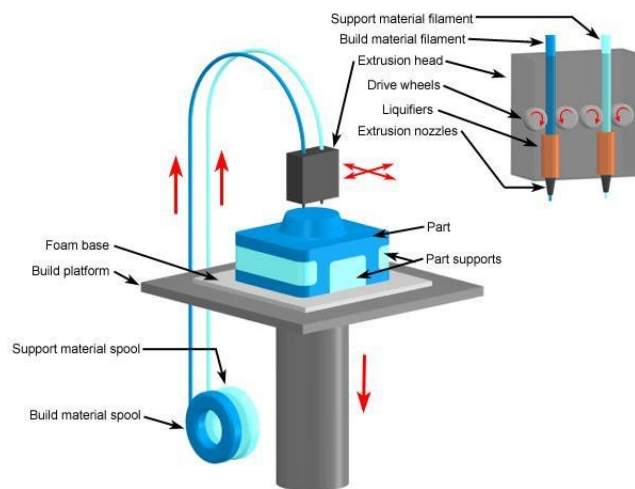


Imagen 1: Proceso FDM.

Este proceso es el que tiene mayor popularidad fuera del ámbito mayormente industrial puesto a la comercialización de pequeñas impresoras que permiten su adaptación al ámbito del pequeño y medio comercio. Analizando el sector industrial, este tipo de impresoras basadas en este proceso son las que tienen el menor coste.

2.2.2. FOTOPOLIMERIZACIÓN (*VAT PHOTOPOLYMERIZATION*)

Es una de las tecnologías de fabricación aditiva mas influyentes por ser la primera en ser comercializada por la empresa *3D Systems*. El proceso se basa en, mediante un haz de energía, generalmente un láser o UV, curar o polimerizar selectivamente la superficie de un baño de polímero fotosensible. Posteriormente, se cubre con un polímero líquido la capa solidificada y se repite de nuevo el proceso. Esta tecnología se emplea principalmente para el desarrollo de

prototipos y modelos y también para fabricar moldes para procesos posteriores puesto que las propiedades de la pieza ya terminada permite que sea utilizada como patrón para generar moldes para colada. Es un proceso utilizado también en la medicina porque se pueden crear geometrías personalizadas para futuras prótesis o para estudios de procedimiento antes de operaciones quirúrgicas.

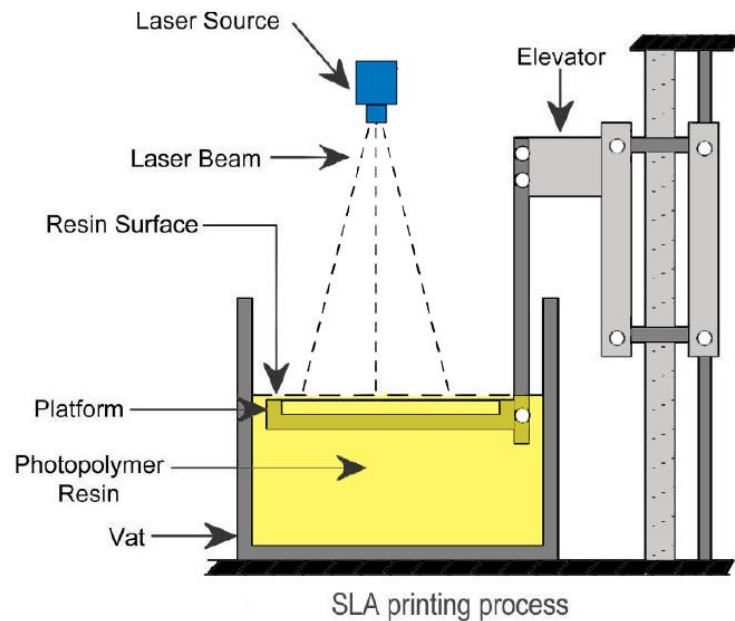


Imagen 2: Proceso de fotopolimerización.

2.2.3. FUSIÓN DE LECHO DE POLVO (*POWDER BED FUSION*)

Esta técnica de FA se basa en el mismo principio que las primeras impresiones 3D, un recipiente lleno de materia prima recibe energía de un sistema de aplicación formando así un sólido en la capa superficial del recipiente. Una vez creada esta capa inicial, más materia prima recubre dicha capa y se repite el proceso. La característica principal de la fusión de lecho de polvo es que la materia prima está en forma de polvo. Asimismo, las fuentes de energía aplicadas son el láser o el haz de electrones. El proceso comienza aplicando una fuente de calor o energía en un recipiente que contiene polvo de un material, mediante este calor se funden selectivamente ciertas zonas volviendo el polvo líquido y uniéndolo al polvo fundido adyacente. Una vez solidificado, se obtiene una capa inicial de material sólido, después un mecanismo hace descender la superficie de trabajo y extiende otra capa de polvo virgen sobre la anterior. Este proceso se repite hasta obtener la pieza deseada.

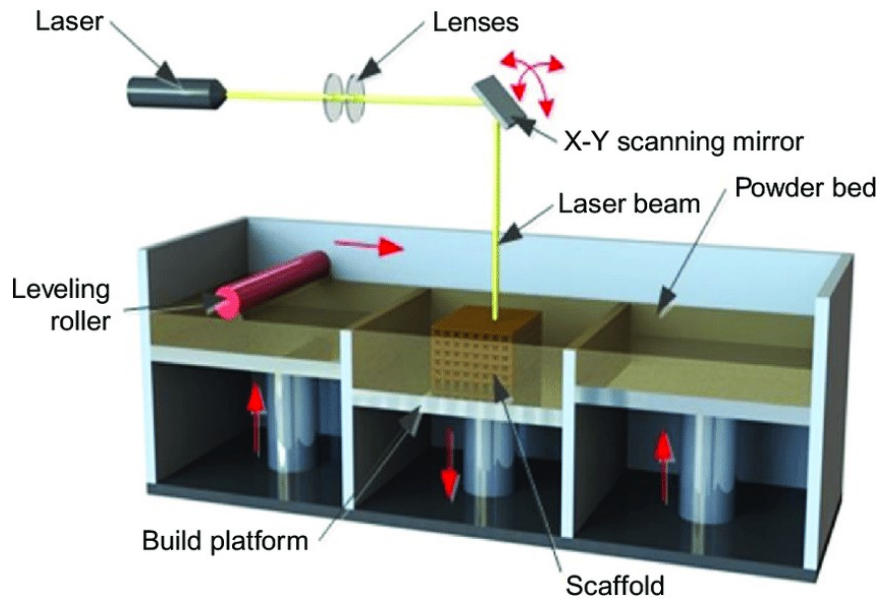


Imagen 3: Proceso fusión de lecho de polvo.

Dentro de los procesos de PBF han sido desarrollados distintas variantes recibiendo así distintos nombres como; el sinterizado selectivo láser (*SLS Selective Laser Sintering*) empleado para sinterizar polvo de polímeros termoplásticos o el proceso EBM (*Electron Beam Melting*) que usa un haz de electrones como fuente de calor para polvos metálicos. También existe el sinterizado directo de metal por láser (*DMSL Direct Metal Laser Sintering*) que tiene como material base los polvos metálicos. Cabe mencionar que los procesos PBF permiten trabajar con amplio rango de materiales desde polímeros a metales (como el acero y aleaciones de procesados mas complejos) y en el campo metálico es la tecnología mas utilizada para el desarrollo de nuevos componentes.

2.2.4. INYECCIÓN DE MATERIAL (*MATERIAL JETTING*)

El proceso de inyección de material se basa en la técnica de las impresora de tinta sobre el papel, las cuales depositan tinta gota a gota sobre la base de papel. En este caso, un cabezal deposita material fluido gota a gota sobre una superficie que puede ser de polímeros fotosensibles o cera. Cuando este material ya es depositado, se polimeriza mediante una fuente de calor o luz. Como el material se deposita gota a gota, es difícil utilizar materiales cerámicos o metales. Aún así, este proceso de MA permite la inyección de más de un material ya sea por necesidad de un material de soporte o para

adherir durante la impresión dos o más piezas de distintos materiales para así evitar procesos posteriores de ensamblado.

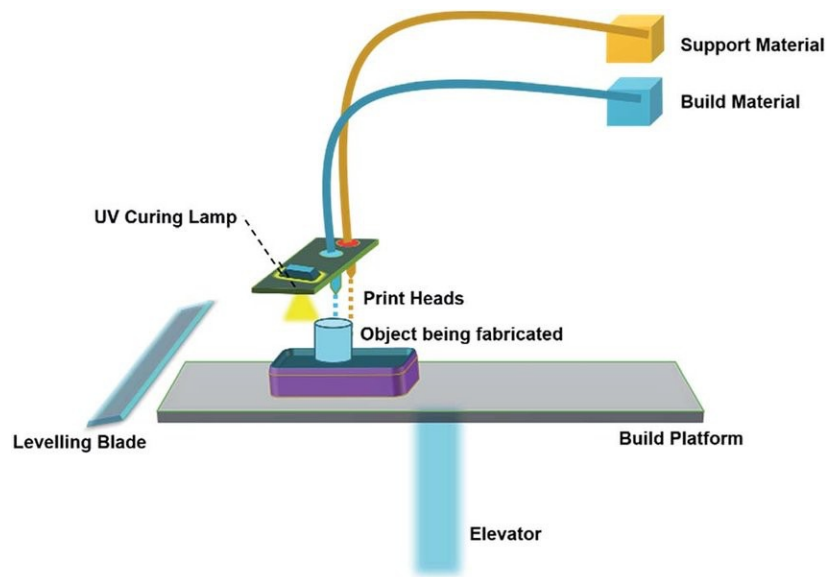


Imagen 4: Proceso de inyección de material.

2.2.5. INYECCIÓN DE AGLOMERANTE (*BINDER JETTING*)

Estos procesos de MA se basan en la mezcla de inyección de material y fusión de lecho de polvo. Un cabezal aplica un líquido aglutinante de forma selectiva sobre una capa de polvo consiguiendo así, un aglomerado de líquido curado y polvo con la forma de la sección transversal de la pieza a fabricar. Una vez terminada una capa, la máquina extiende una capa de polvo nueva y el proceso se repite. Un punto a favor de esta tecnología es que puede emplearse con una gran variedad de materiales y además, puede fabricar piezas de colores. Si el material empleado es un metal, las piezas creadas tienen propiedades mecánicas débiles porque contienen grandes porosidades en su interior, por lo que es necesario trabajarlas posteriormente para mejorarlas (se inyecta otro material para rellenar dichos agujeros y así aumentar la resistencia de la pieza). De forma contraria, en materiales plásticos, no es necesario emplear un elevado trabajo post-fabricación; sólo hay que limpiar la pieza y el polvo sobrante y aplicarle una pequeña capa protectora para fortalecer la pieza, de laca por ejemplo.

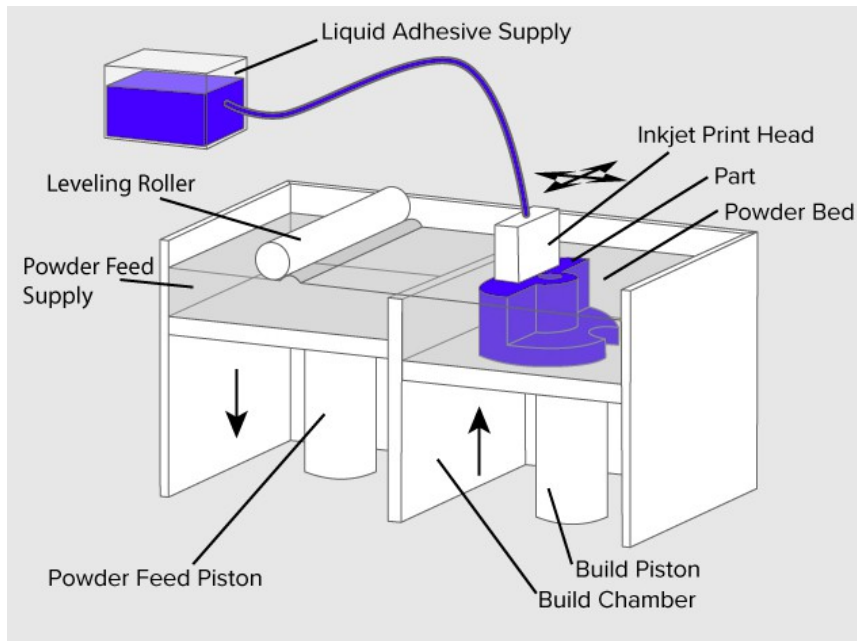


Imagen 5: Proceso de inyección de aglomerante.

2.2.6. DEPOSICIÓN DIRECTA DE ENERGÍA (*DIRECTED ENERGY DEPOSITION*)

La DED consiste en aplicar un haz de energía sobre la pieza de forma localizada de forma que se cree un baño de material fundido y a su vez, se aplica nuevo material, que en contacto con el haz de energía se funde antes de depositarse sobre ese baño. Aplicando una boquilla se aplica simultáneamente el haz de energía, que puede ser láser o haz de electrones, y el material de fundido, que inicialmente se puede encontrar en forma de polvo o hilo. Así, la boquilla se desplaza de forma programada sobre la superficie de trabajo formando un pequeño baño sobre el que se pone nuevo material y cuando la boquilla se desplaza, el líquido que va saliendo se solidifica creando una nueva capa al finalizar el recorrido. Al terminar una capa, la boquilla repite el proceso generando las posteriores de forma sucesiva.

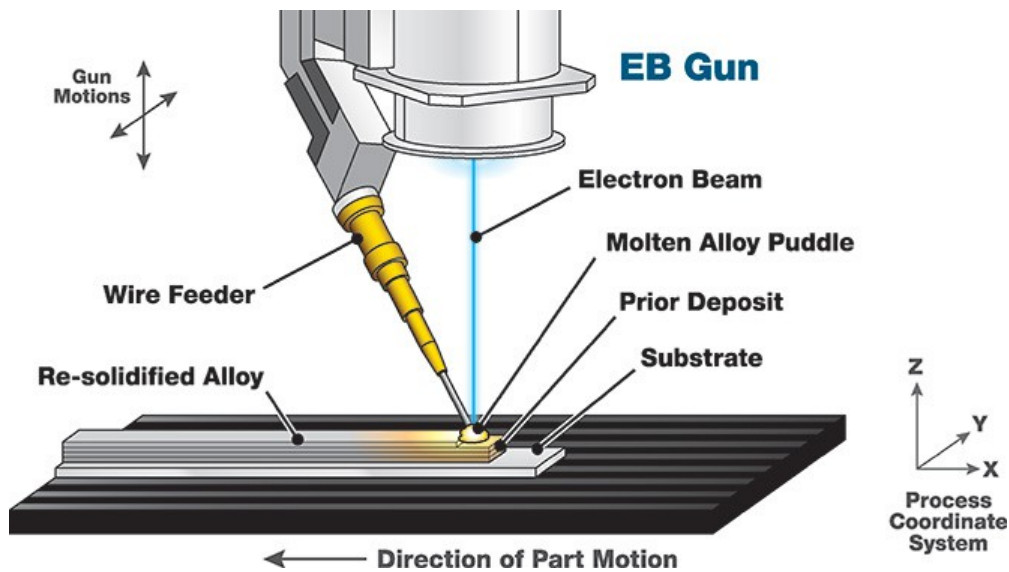


Imagen 6: Proceso de deposición directa de energía.

Además, para la fabricación de piezas u objetos, esta técnica se puede emplear también para reparar piezas dañadas y para añadir parte nuevas o modificar una parte ya existente de la misma. Esto es debido a que la mayoría de los procesos DED permiten el movimiento libre de la boquilla con 4 o 5 ejes pudiendo proyectar así, material sobre cualquier dirección. Con todo lo anterior, cabe mencionar que existen varios procesos dentro de la misma tecnología DED como por ejemplo: DMD (*Direct Metal Deposition*), LENS (*Laser Engineered Net Shaping*) o EBFFF (*Electron Beam Freeform Fabrication*).

2.2.7. LAMINACIÓN DE HOJAS (*SHEET LAMINATION*)

Los procesos de laminación de hojas se basan en la superposición de materiales en forma de lámina, juntados de varias formas dependiendo del material de las láminas, de forma que se obtiene un sólido completo en tres dimensiones. Inicialmente, una de las primeras tecnologías de este tipo fue la impresión por laminación (*LOM Laminated Object Manufacturing*) en la cuál, una lámina de papel era cortada por láser con la forma deseada y se pegaba a la capa inferior con un producto adhesivo. Es importante mencionar que esta tecnología permite trabajar con metales, como una chapa metálica, la cuál se corta según la sección transversal y se pega a la inferior y posteriormente

a su superior mediante remaches, adhesivos o soldadura por ultrasonidos. Al finalizar la pieza generalmente se requiere un trabajo de mecanizado posterior para obtener la geometría deseada.

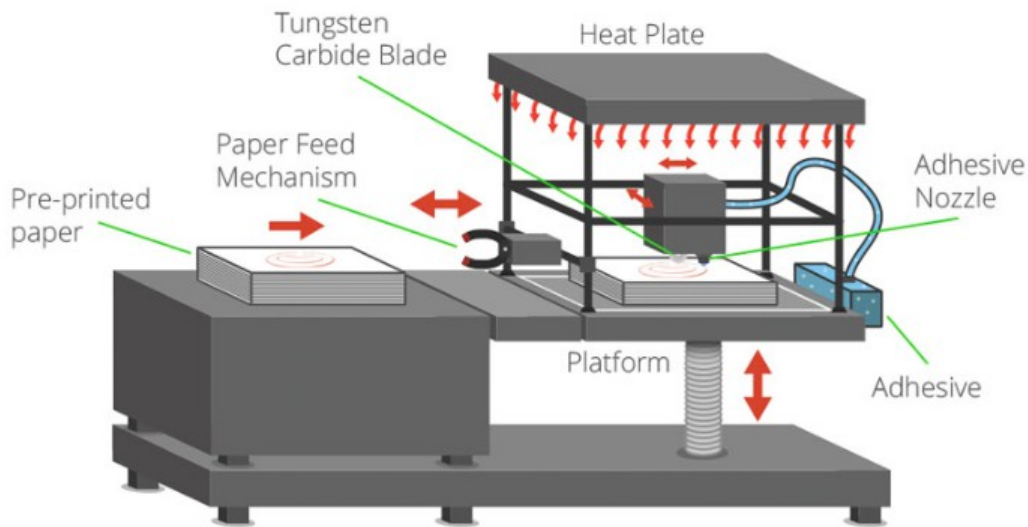


Imagen 7: Proceso de laminación de hojas.

2.3. TRATAMIENTOS SUPERFICIALES PARA PIEZAS FORMADAS MEDIANTE MANUFACTURA ADITIVA

Como ya se ha explicado anteriormente, observando las distintas tecnologías empleadas en la MA, se hace necesario buscar soluciones para tratar las superficies de las piezas ya terminadas. Uno de los mayores desafíos de las piezas conformadas por MA reside en el bajo acabado superficial de los componentes, los cuáles a menudo son ásperos o porosos y pueden contener partículas de polvo semifundido. Esto puede afectar directamente a las propiedades mecánicas, física y químicas de la pieza ya formada y mayormente influye también en el rendimiento de la pieza. De esta forma, es necesario proporcionar tratamientos superficiales o trabajos posteriores para mejorar el rendimiento y funcionalidad de la pieza, convirtiéndola así en un elemento mas seguro y evitar posibles roturas, desgastes e incluso pérdidas económicas y de tiempo en fabricación. [5]

Al igual que existen diversas técnicas de fabricación aditiva, son diversas las formas en las que se pueden tratar las piezas ya creadas para mejorar sus prestaciones mecánicas. Cabe mencionar, que las diferentes técnicas de mejora en el acabado de la pieza está directamente relacionado con el proceso empleado de MA. Entre estos procesos de tratamientos superficiales podemos encontrar: [6]

1. Mejora de acabado superficial mediante refusión perimetral.
2. Post procesos mecánicos, químicos y electroquímicos.
3. Soldadura “Brazing” para la unión de dos piezas fabricadas con MA de metal.
4. Pulido de superficies por vibración con abrasivo.

2.3.1. MEJORAR EL ACABADO SUPERFICIAL MEDIANTE REFUSIÓN PERIMETRAL

Este proceso de mejora en la calidad superficial (rugosidad) de las piezas esta basado en las piezas fabricadas mediante MA por los procesos de EBM (Fusión por haz de electrones) y SLS (Fusión selectiva por láser). Así, se identifican los parámetros que afectan directamente a la calidad de superficie de las piezas fabricadas como consecuencia del diámetro de las partículas de polvo que se fusionan y el propio proceso de fabricación por capas.

En el caso del procesado por EBM, es necesario el control de la temperatura para proporcionar un buen entorno de fabricación. Durante la fusión, es necesario controlar la trayectoria del haz de electrones porque la zona de fusión y el tiempo de solidificación de capa afectan directamente al tamaño del grano solidificado. La tecnología EBM es capaz de fabricar materiales con una microestructura fina. Una alta intensidad de haz da como resultado una gran zona de fusión y una alta velocidad resulta en una zona pequeña de fusión. Una baja concentración de haz crea una elevada gradiente de temperatura y tensiones superficiales.

En la fusión selectiva por láser (SLM), en los casos en los que se crea una gran zona de fusión permite que la superficie superior se aplane antes de la solidificación. La reducción de la velocidad de escaneo y el aumento de la superposición de puntos da como resultado una gran zona de fusión. A su vez, el aumento de superposición de puntos produce un gradiente de temperatura más uniforme en la zona de fusión de material y así se crea una superficie superior más lisa, mejorando notablemente la rugosidad de la capa. Aún así, una gran zona de fusión causara tensiones superficiales altas. [5]

2.3.2. POST PROCESOS MECÁNICOS, QUÍMICOS Y ELECTROQUÍMICOS

En el caso de MA mediante EBM se puede mejorar la calidad superficial mediante post procesos mecánicos, químicos y electroquímicos. Además, estos estudios están basados en piezas fabricadas en titanio. Una clasificación de dichas técnicas viene resumida en la siguiente imagen:



Imagen 8: Clasificación de post procesos.

Dentro de estos post procesos es importante destacar el vibrador para pulir la pieza obtenida mediante MA; puesto que el objetivo de este trabajo es diseñar una máquina que cumpla la función de pulido de piezas fabricadas mediante MA. El proceso de vibrado está dentro de los procesos mecánicos destacados para mejorar el acabado superficial de la pieza. Además, el vibrado es un post proceso más uniforme y el tiempo de ejecución afecta directamente en el acabado superficial de la pieza. En estudios realizados, se afirma que el granallado obtiene rugosidades más bajas que las obtenidas por vibrado. También se han observado desgaste de filos de las piezas mediante el vibrado y una leve mejora visual en la calidad de la superficie.

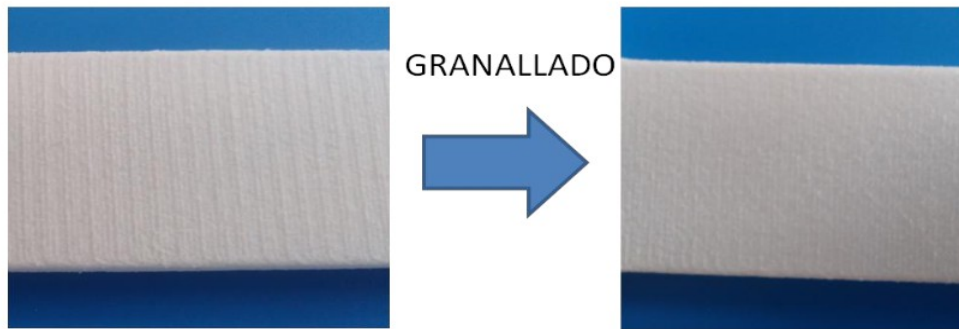


Imagen 9: Efecto del granallado en el acabado de una pieza.

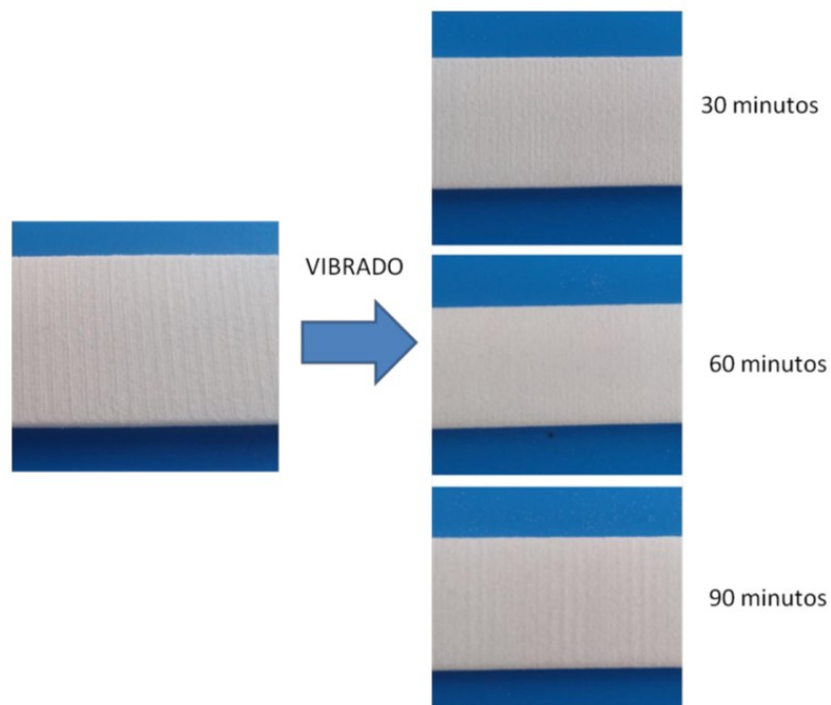


Imagen 10: Efecto del vibrado en el acabado de una pieza.

En el caso de utilizar la tecnología EBM para piezas de cobre para poder mejorar el acabado superficial de las piezas es importante, por un lado, eliminar el polvo de cobre atrapado en un canal interior mediante un post proceso químico; y por otro, aplicar el granallado de la superficie con el fin de cerrar grietas. [5]

2.3.3. SOLDADURA “BRAZING” PARA LA UNIÓN DE DOS PIEZAS FABRICADAS CON MA DE METAL

La soldadura de materiales influye directamente en el acabado superficial de la pieza y en sus propiedades mecánicas. Es por esto que es importante analizar los procesos de soldadura más adecuados para la unión de piezas metálicas. Entre ellos, cabe resaltar el proceso “Brazing” empleado en las tecnologías EBM. Diversos estudios de acabado superficial en piezas corroboran que mediante la soldadura “Brazing”, la rugosidad en la unión de piezas metálicas mejora notablemente consiguiendo una unión mas lisa y con mejoras en el acabado.

La soldadura “Brazing” o soldadura fuerte, es un proceso de unión térmica en el que el metal de aporte, se calienta hasta su fusión fluyendo por capilaridad entre la holgura que existe entre los materiales a soldar y uniendo sus superficies por atracción atómica y mediante difusión. Ese material de aporte obtiene el punto de fusión por encima de los 405°C, pero siempre debajo del punto de fusión de los componentes que va a unir. Las características físicas y químicas del material de aporte son completamente diferentes de las piezas que va a soldar. Es importante decir que una característica notable de esta técnica es su capacidad para unir materiales disimilares y componentes con tamaño y peso distintos. [5]



Imagen 11: Soldadura "Brazing".

2.3.4. PULIDO DE SUPERFICIES POR VIBRACIÓN CON ABRASIVO

En la técnica de pulido por vibración para piezas formadas mediante MA, se utilizan abrasivos que pueden ser plásticos, cerámicos o incluso arenas. El mecanismo de pulido se centra en una cuba o recipiente vibrante en el cual, los abrasivos adquieren un movimiento libre que les da la energía necesaria para impactar contra las piezas a pulir y, mediante fricción, eliminan el material sobrante de la superficie de las piezas a mecanizar. [7]



Imagen 12: Máquina pulidora por vibración.

En la mayoría de los casos, este proceso de pulido requiere agua y en muchos casos también compuestos químicos para facilitar el trabajo. Las ventajas del pulido con abrasivo mediante vibración con compuestos químicos son las siguientes: [8]

- Lubrifican el contacto entre los abrasivos y las piezas a tratar.
- Uniforman su movimiento dentro de el recipiente vibrante.
- Mantienen limpia la mezcla inferior.
- Previenen la formación de barro durante el vibrado.
- Aumentan la agresividad de los abrasivos.
- Facilitan la obtención de superficies brillantes.

Pero a su vez, las desventajas del pulido por vibración húmeda es la formación de residuos fangosos que junto con los compuestos químicos, necesitan tratamientos complejos y costos posteriores. Además, estos residuos pueden contener resinas plásticas, polvo metálico, polvo abrasivo disperso etc. Como resultado, en algunos casos el tratamiento de los residuos fangosos de los procesos de vibración es más complejo y costoso que el mismo tratamiento de acabado de las piezas.

A día de hoy, existen empresas como CONIEX S.A., con sede en Barcelona, que desarrollan un sistema de pulido con vibración en seco y empleando abrasivos ECOS. Estos abrasivos permiten obtener superficies perfectamente pulidas sin necesidad de utilizar agua o cualquier otro líquido, reduciendo así el impacto medioambiental y los costes. Estas instalaciones permiten el pulido de cualquier tipo de material, metálico y no metálico y particularmente, todos aquellos metales que se oxidan fácilmente con el agua como el hierro, el acero y las aleaciones de zinc. [8]

Las ventajas del pulido de piezas por vibración en seco son las siguientes: [9]

- Piezas listas para su almacenamiento.
- Total ausencia de barro.
- 10 veces menos de polvo generado durante el proceso en comparación con el proceso por vibración en húmedo.
- Reducción de los gastos de pulido del 30% al 150%, dependiendo del tamaño de la pieza.
- Reducción del consumo de abrasivos en comparación con el pulido en húmedo.
- Reducción de los costes en eliminación de residuos.

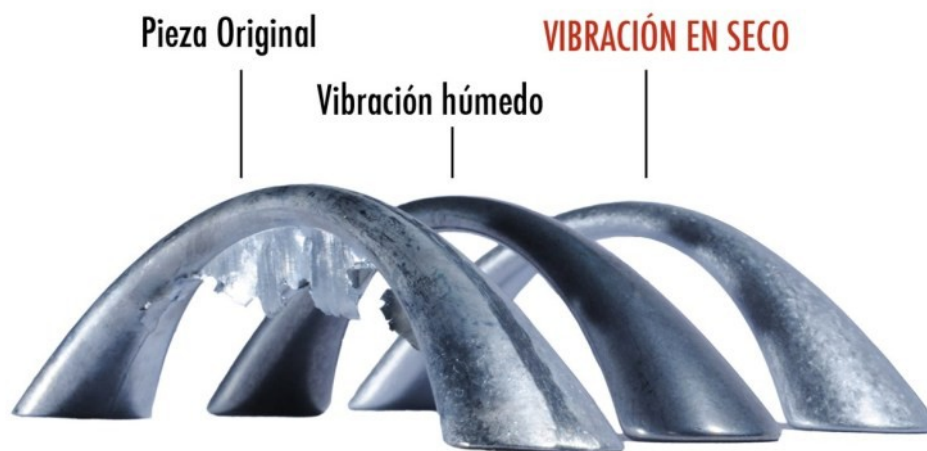


Imagen 13: Acabado de piezas por pulido con vibración en seco y húmedo.

Los abrasivos tradicionales para procesos húmedos contienen resinas de poliéster que reducen parte de su eficiencia, además del aumento del riesgo en formación de residuos durante el pulido. Los abrasivos ECO no son de naturaleza plástica, sino un polímero con elevadas características mecánicas que garantizan una perfecta cohesión entre el polvo abrasivo y la resina de forma que se garantiza también el contacto directo de los cristales abrasivos con la superficie de las piezas a tratar. Así, aumenta la agresividad del abrasivo y se reduce las horas de trabajo en comparación con los procesos húmedos. [8]

Al final del informe, en Anexo 4, se adjunta el catalogo de abrasivos OTEC para mayor detalle de tipos de abrasivos y características.



Imagen 14: Abrasivos ECO.

El tamaño de estos abrasivos oscila entre los 12 a 60 mm y tienen diferentes formas geométricas: cónica, cilíndrica, gota... A su vez, hay diferentes tipos de calidades dependiendo de las aplicaciones requeridas y las propiedades elásticas de la resina permiten:

- Acabados con mejor rugosidad.
- Mayor eficacia de vibración, ya que se permite un aumento de la cantidad de piezas por ciclo.
- Mayor eficacia de corte.
- Ciclos más cortos de trabajo.

3. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA MA Y SITUACIÓN ACTUAL EN CHILE Y LATINOAMÉRICA

Los inicios de la FA se sitúan entre 1970 y 1990, donde comenzó a utilizarse el uso de la tecnología láser hasta desarrollarse la conocida como estereografía (SL o SLA). Esta tecnología empezó a comercializarse en 1987 por la empresa estadounidense *3D systems* y se aplicaba para el desarrollo de modelos y prototipos, basándose en la solidificación por capas de un polímero fotosensible mediante láser. En los años posteriores se desarrollaron mejoras en esta tecnología, tanto en maquinaria como en materiales empleados y nuevas empresas surgieron en el mercado como *DuPont* o *Loctite*.

Más adelante países como Japón analizaron y comercializaron su propia versión de SL y también en Alemania en 1990, la empresa *EOS* lanza su primer sistema de estereolitografía. En 1991 comienza a comercializarse la anteriormente explicada FDM en Estados Unidos. A partir de aquí, comienzan a desarrollarse la mayoría de las tecnologías MA anteriormente explicadas principalmente en Estados Unidos y en Europa.

Cabe mencionar que en el año 2009 la ASTM (*American Society for Testing and Materials*) junto con más profesionales del sector se reúnen en Estados Unidos para establecer el primer comité sobre la fabricación aditiva. La intención de este comité era establecer los primeros estándares sobre procesos, ensayos, materiales, diseño... Fue a finales del mismo año cuando la ASTM publica su primera norma sobre la fabricación aditiva asociada a la terminología de los procesos que agrupan la MA.

La fabricación directa de piezas de metal despertó gran interés a partir de 2010, por el gran crecimiento en la evolución tecnológica. Así, se mejoraban las posibilidades de obtener nuevos diseños con las propiedades mecánicas de los metales forjados. [10]

Analizando la situación en Latinoamérica, no es hasta 2018 que se crea el primer consorcio de fabricación aditiva. De esta forma, se crea el CONMAD en la ciudad de Querétaro en México como parte del centro de ingeniería y desarrollo industrial (CIDESI). Con una inversión de 13 millones de dólares, la meta de este grupo es aumentar la cooperación científica, tecnológica y de innovación, así como aumentar la utilización de las tecnologías 3D en diferentes industrias.

El consorcio de fabricación aditiva en Latinoamérica espera impulsar también la utilización de las tecnologías en empresas regionales y que se les permita implementar las tecnologías de MA en los próximos años. Se estima también que para el 2020, el 70% de la producción total de sectores como el aeronáutico, automotriz, médico etc, serán producidas bajo la tecnología de MA. [11]

México es el primer país en introducir la fabricación aditiva en Latinoamérica pero en otros países como Argentina, en el cuál la impresión 3D cuenta con gran apoyo y desarrollo, han creado la cámara argentina de impresión 3D y Fabricación Digital. Poco a poco, se unen a esta nueva tendencia tecnológica países como Chile que participan en pequeños eventos sobre la impresión 3D. Paulatinamente van formándose eventos, charlas y ferias en las que el principal objetivo es continuar con las acciones para desarrollar y fortalecer la tecnología en fabricación aditiva y sus diversos procesos. Así, se espera que la FA en Latinoamérica comience a ser una realidad a nivel industrial y alcance el nivel de producción y desarrollo estimado en lugares como Centroamérica.

Analizando un poco más en profundidad el caso de Chile, este país obtuvo su mayor crecimiento económico durante los últimos 30 años en la conocida como la 3a revolución industrial, es decir la revolución de las computadoras. Aumentó el consumo global de computadoras y a su vez, el consumo de materias primas para poder producir estos productos. Así, Chile fue un país directamente beneficiado gracias a que produce y comercializa muchas de estas materias primas. Por eso, y con el objetivo de introducirse en este nuevo mercado tecnológico, diversas ponencias sobre MA se han llevado a cabo en Chile. Entre ellas cabe mencionar la de empresas como LEITAT CHILE que llevó a cabo en Concepción; el objetivo de la cuál fue generar debate sobre desafíos de la región.

LEITAT CHILE, es un centro tecnológico que desarrolla procesos de innovación industrial. Mediante investigaciones aplicadas y ensayos tecnológicos, proporcionan conocimientos en sectores como la química, energía, medio ambiente, materiales, ingeniería y fabricación aditiva. Cuenta con más de 110 años de experiencia y más de 240 colaboradores y 1.500 clientes. Su sede central está en Terrassa, además de disponer de centros en Barcelona y Valencia entre otros. En 2015, LEITAT abrió oficinas en Santiago y en 2017 en Concepción. Gracias al impulso de este tipo de empresas y eventos, el desarrollo y la integración en la 4a revolución industrial se está convirtiendo en una realidad para Chile junto con otros países latinoamericanos. [12]

4. METODOLOGÍA

Mediante esta tesis, se plantea el diseño, montaje y futura fabricación de una máquina que por medio de vibración, pule las piezas fabricadas mediante MA para mejorar sus prestaciones, rendimiento y acabado superficial. Es por esto que es importante, en primer lugar, analizar el contexto y los diferentes procesos de MA para seguidamente, entender e investigar acerca de las diversas técnicas empleadas para mejorar el acabado superficial de las piezas fabricadas mediante MA. Además, es importante analizar las máquinas de pulido por vibración ya existentes en el mercado para comprobar su modo de funcionamiento y entender los elementos que la componen y sus funcionalidades.

Una vez realizado lo anterior, se planteará el diseño y la selección de los distintos componentes de la máquina y se llevarán a cabo diversos diseños y predimensionamientos iniciales del prototipo, así como de los elementos que lo componen, para después poder diseñarlo mediante un software de simulación. Como ya se ha mencionado con anterioridad, en este proyecto el programa de diseño escogido es *Fusion 360*. Mediante este software, se pretenden especificar todos los detalles de la máquina vibradora, así como los planos para más adelante, poder llevar a cabo la fabricación del prototipo. Es por esto que se realizará también un estudio sobre el proceso de fabricación de la máquina.

Más adelante, se adjuntará una memoria de cálculo donde se estudiarán los diferentes parámetros que afectan el diseño de la máquina a diseñar, como por ejemplo: Elementos principales de la máquina, la potencia del motor, fuerzas soportadas por el sistema de amortiguamiento de la máquina, cálculo del eje en base a la tensión que puede soportar, dimensiones y pesos de la máquina, materiales empleados... Todo esto ligado al tamaño de piezas producidas por MA en el laboratorio.

Finalmente, esta tesis contará con unas reflexiones y conclusiones acerca del trabajo y estudio realizado y se adjuntarán en los anexos todos los planos de diseño de la máquina, junto con referencias de interés.

5. CÁLCULO, DISEÑO Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE MÁQUINAS

A la hora de diseñar la máquina vibratoria, se hace necesario analizar las piezas que van a componerla, así como sus dimensiones, materiales de fabricación, etc. Además del estudio de las partes que componen el prototipo, resulta importante analizar el dimensionamiento previo del motor, tanto en su tamaño como en potencia en función de las piezas que se desea pulir. Por lo tanto, en este apartado se van a estudiar las distintas partes que componen la máquina y sus materiales de fabricación además de predimensionarlas y se analizará que tanto el motor como el prototipo, cumplen los requisitos para llevar a cabo la fabricación posterior. Cabe mencionar que se plantea diseñar una máquina que, además de cumplir su objetivo principal que es el pulido de piezas mediante vibración, contenga un montaje fácil para que en caso de avería o mantenimiento, la máquina pueda desmontarse fácilmente.

El diseño general y funcionamiento de la máquina propuesta es el siguiente: la máquina vibratoria cuenta con una cuba de trabajo de geometría toroidal, que es donde se introducirán las piezas que necesitan ser pulidas junto con los abrasivos. Esta cuba puede estar recubierta interiormente por un material resistente a la abrasión o fabricada mediante un material plástico resistente a las temperaturas elevadas y es sostenida sobre unos muelles helicoidales que son los encargados de amortiguar el movimiento vibratorio para que no se transmita y dañe los otros elementos que componen la máquina. El movimiento vibratorio es formado por un eje excéntrico que recibe el par generado por el motor y mediante unos contrapesos y su velocidad de giro, hacen que la cuba se tambalee para crear la fricción entre pieza y abrasivo de manera libre. Para garantizar el tambaleo de la cuba de trabajo, ésta estará en contacto directo con una carcasa que recoge el movimiento centrífugo del eje y, además de lo anterior, servirá para protegerlo tanto a éste último como a los elementos que lo componen.

El diseño que se propone para la máquina vibratoria cuenta con diversos elementos, a continuación se van a estudiar los principales: [13]

1. Tambor
2. Motor vibratorio
3. Eje excéntrico
4. Contrapesos excéntricos
5. Muelles helicoidales
6. Bancada

7. Carcasa del eje excéntrico
8. Rodamientos
9. Recubrimiento de rodamiento

Además de los elementos principales, son necesarios unos elementos auxiliares para la completar fabricación del prototipo:

1. Aislamiento acústico
2. Tamiz separador
3. Trampilla separadora
4. Dosificador de agua y disolventes químicos

En este punto del informe, se demostrarán también los cálculos correspondientes para la verificación del funcionamiento de la máquina.

Se ha de tener en cuenta que los parámetros de volúmenes y densidades obtenidos son los correspondientes a los que facilita el software de simulación *Fusion 360*. Por ello, ha sido importante el diseño de la máquina pulidora por partes o elementos. De esta forma, del mismo modo que se ha dimensionado geométricamente, se le ha correspondido a cada elemento un material físico y uno de apariencia. Así, el programa facilita las propiedades y dimensiones necesarias de cada elemento para así poder proceder a realización de la memoria de cálculo.

5.1. ELEMENTOS PRINCIPALES DEL PROTOTIPO

5.1.1. TAMBOR

La cuba es el elemento principal donde se llevará a cabo el proceso de pulido de las piezas. El diseño de la cuba es toroidal y está formada por un material polimérico ABS resistente al abrasivo para que así dentro de ella pueda generarse la fricción libre entre pieza y abrasivos sin dañar la misma. Esta vibración vendrá generada por la carcasa que recubre el eje excéntrico y permitirá el tambaleo de la cuba para generar el proceso de pulido. [14]

Además de lo anterior, la cuba contará con una trampilla de entrada superior por la que accederán las piezas ABS que necesitan ser pulidas y mediante la fuerza centrífuga y la gravedad, estas piezas irán descendiendo a medida que son pulidas por los abrasivos por un tobogán o cinta hasta llegar a

la trampilla inferior o de salida, que será por donde salgan las piezas ya pulidas. Para su fabricación se empleará el método de moldeo mediante inyección puesto que su material de fabricación es el ABS y considerando sus dimensiones geométricas su tamaño es relativamente grande.

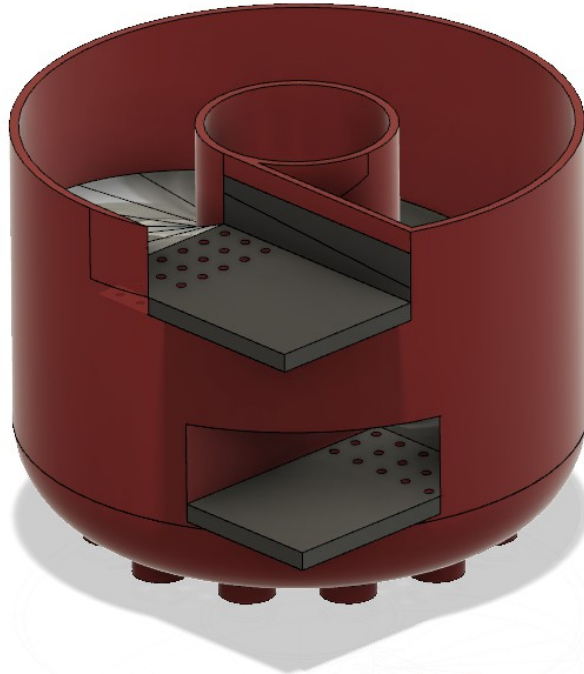


Imagen 15: Diseño del tambor del prototipo.

CÁLCULO DEL PESO DEL TAMBOR CON ABRASIVOS

Las dimensiones de diseño de esta parte de la máquina cuenta con una altura de 416 mm y un diámetro exterior de 490 mm, así como uno interior de 190 mm por donde encajará por presión la carcasa del eje.

Analizando el elemento diseñado en el software del tambor se han obtenido los siguientes valores para el diseño del tambor en vacío y fabricado en un plástico PC/ABS:

Área	3,016 m ²
Densidad	0,3573 kg/mm ³
Masa	6 kg
Volumen	0,01679 kg ³

Tabla 2: Propiedades del diseño del tambor obtenidas mediante Fusion 360.

Para poder calcular la fuerza o peso generado por el tambor junto con los abrasivos, es necesario calcular el volumen interno del tambor.

$$V_{\text{toroide}} = 2 * \pi^2 * R * r^2 \quad [1]$$

En nuestro caso:

$$R = \left[\frac{0,18073}{2} + \frac{0,21}{2} \right] = 0,195365 m^2 \quad [2]$$

$$r = \frac{0,18073}{2} = 0,090365 m^2 \quad [3]$$

Sustituyendo los valores correspondientes en la ecuación [1]:

$$V_{\text{toroide}} = 0,0315 m^3 \quad [4]$$

En el diseño de nuestro tambor esta parte toroidal corresponde a la mitad por lo que:

$$V_{\text{toroide medio}} = \frac{V_{\text{toroide}}}{2} = 0,0157 m^3 \quad [5]$$

A su vez, considerando que llenamos la parte superior del tambor con abrasivos hasta la mitad, la parte de volumen ocupada sería:

$$V_{\text{superior}} = 2 * \pi^2 * 0,195365 * r'^2 \quad [6]$$

$$\text{Dónde } r' = \frac{0,205}{2} = 0,1025 m \quad [7]$$

Por lo tanto, resolviendo la ecuación [6] el volumen de la parte superior del tambor ocupado por abrasivos sería:

$$V_{\text{superior}} = 0,0405 m^3 \quad [8]$$

De esta forma, el volumen total ocupado corresponde a:

$$V_{total\ ocupado} = V_{toroide\ medio} + V_{superior} = 0,0562\ m^3 \quad [9]$$

Para calcular el peso ejercido por los abrasivos se ha tomado en cuenta la densidad del abrasivo tipo SiC (Silicio de Carburo), puesto que este es el grano más utilizado con buenas propiedades mecánicas y un bajo costo. Su densidad corresponde a:

$$\rho = 3,21\ g/cm^3 = 3210\ kg/m^3 \quad [10]$$

Cabe mencionar que la expresión [10] es considerada para el estado límite de funcionamiento de tambor. De esta forma se considera el abrasivo en estado líquido, ocupando la mitad completa del volumen del tambor, es decir, sin dejar huecos como sucedería si el abrasivo tuviera la forma sólida y en forma de grano.

Por lo tanto, la masa de volumen de abrasivo, aplicando la solución [9]:

$$M_{abrasivo} = 0,0562\ m^3 * 3210\ kg/m^3 = 180,402\ kg \quad [11]$$

Y finalmente, la masa total que han de soportar los resortes sería de:

$$M_{tot} = M_{tambor} + M_{abrasivo} = 6\ kg + 180,402\ kg = 186,402\ kg \quad [12]$$

5.1.2. MOTOR VIBRATORIO

El motor es el encargado de crear energía para así transmitirla y hacer girar el eje excéntrico que, mediante su excentricidad y contrapesos, será el encargado de transmitir la energía vibratoria a la cuba de trabajo. Aún así, existen variaciones acerca del diseño del motor; en muchas máquinas de estas características, el motor está en contacto directo con la cuba de trabajo y acoplado unos contrapesos se consigue directamente que se transmita el movimiento de vibración. Así, cuantos más contrapesos se pongan y en buena colocación, mayor será el rango de frecuencias de vibración que se podrán obtener. Cabe resaltar que esta es la forma más sencilla de crear el movimiento vibratorio y transmitirlo directamente a la cuba pero en caso de avería o reparación, se hace más complicado acceder a él puesto que se encuentra en el centro de la cuba. Es por esto que el diseño que se plantea, llevará acoplado un eje excéntrico que tomará el par motor transmitido y generará el movimiento de vibración. De esta forma, en caso de que se necesite manipular la máquina, será mucho más sencillo puesto que con esta disposición, el motor se ubica fuera de la máquina.

Para su predimensionamiento y potencia requerida y teniendo en cuenta las características y tamaño de las piezas que se desean pulir (piezas ABS de entre 100-120 mm) y el peso total que ha de soportar para generar la potencia correcta (obtenido en la expresión [12]), se ha tomado la decisión de implementar un motor eléctrico básico a la vez que eficiente. Se empleará un motor catalogado por la empresa *Lureye*, más concretamente el *SIEMENS – ILGO* con las siguientes características (catalogo completo del motor disponible al final del informe Anexo 3):

- Motor tipo: Jaula de Ardilla
- Modelo ILGO (Carcasa de hierro fundido)
- Voltaje: 400 V
- Frecuencia: 50Hz
- Rangos de potencia: 0,55 a 250 KW
- Velocidad: 3.000 (2polos)/1500 (4 polos)/1000 rpm (6 polos)
- Eficiencia: IE1

El motor escogido es uno de los más básicos dentro de la oferta de catálogo puesto que el prototipo de la máquina propuesto es de unas dimensiones menores que las máquinas industriales comunes. Además, su empleo es principalmente para pulir piezas ABS de tamaño pequeño por lo que teniendo esto en cuenta y el peso generado por el tambor con abrasivos el rango de potencia que ofrece este motor es suficiente para llevar a cabo el proceso de pulido.



Imagen 16: Motor Siemens ILGO.

5.1.3. EJE EXCÉNTRICO

Al haberse tomado la decisión de fabricar un prototipo de máquina sin contrapesos acoplados al motor, el eje excéntrico es elemento encargado de transmitir el movimiento vibratorio a la cuba de trabajo. Este eje consigue generar una fuerza centrífuga gracias a los contrapesos acoplados, dos de los cuales están fijos y son parte de su diseño. Además de los contrapesos fijos, para que el movimiento vibratorio se cumpla, se han acoplado otros dos contrapesos desmontables, uno a cada extremo del mismo.

Como se ha explicado con anterioridad, el motor se ubica fuera de la cuba de trabajo y mediante un acoplamiento elástico se consigue la unión entre eje motor para que pueda transmitirse el par motor. Para acoplar el componente elástico al eje, se ha diseñado una chaveta de tal forma que el eje excéntrico recoja el par motor y el movimiento vibratorio del mismo no se transmita al motor sino que a la cuba de trabajo. De esta forma se consigue la perfecta coordinación entre elementos y transmisiones de fuerzas y movimientos para el correcto funcionamiento de la máquina vibradora.

En lo que respecta al tamaño del eje, su tamaño a lo largo será de 500mm y su diámetro de acople al motor de 35mm y el material de fabricación, acero de calidad no aleado ASTM A242. Para su fabricación se partirá de un tocho de acero no aleado y mediante un torno, se conseguirá la forma principal del eje junto con sus dos excéntricas inamovibles. Después, se procederá al acabado de mecánico de las partes especificadas en el plano de fabricación y finalmente, se crearán las ranuras y los agujeros requeridos para acoplar las excéntricas adaptables.

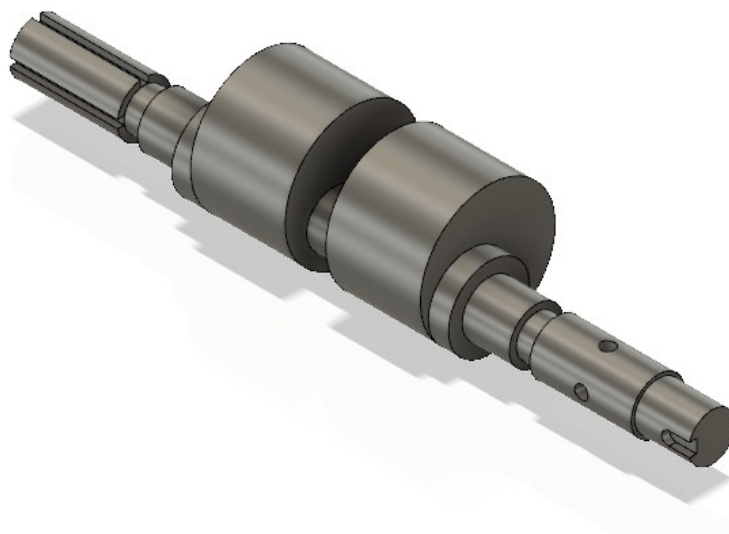


Imagen 17: Diseño de eje excéntrico del prototipo.

DIMENSIONAMIENTO DEL EJE EXCÉNTRICO

Del mismo modo que para los anteriores cálculos realizados, para dimensionar el eje excéntrico necesitamos conocer la situación más desfavorable en la que trabajará. Esto sucederá en el caso en el que el tambor de pulido está lleno hasta la mitad de abrasivos, siendo así el punto en el que el eje trabajará a mayor carga.

Para calcular el momento torsor, hay que tener en cuenta que la fuerza centrífuga no influye en el mismo, siendo únicamente influyente en este parámetro la velocidad angular de la salida del motor.

$$M_{torsor} = \frac{P * 9,55}{w} \quad [13]$$

Teniendo en cuenta los datos proporcionados por el catalogo del motor, se procederá al cálculo del momento torsor en la situación de condición de trabajo del mismo a $P=250KW$ y $w=1.500rpm$, así la ecuación [33] resulta:

$$M_{torsor} = \frac{250 * 10^3 * 9,55}{1500} = 1591,667 Nm \quad [14]$$

Una vez conocido el valor del momento torsor, se puede proceder al cálculo de las tensiones máxima y equivalente:

$$\tau_{max} = \frac{M_{torsor}}{W} \quad [15]$$

Siendo $W = \frac{\pi * d^3}{16}$ [16] la constante para la torsion de un eje circular. Por lo que la ecuación [35] resultaría:

$$\tau_{max} = \frac{M_{torsor}}{W} = \frac{M_{torsor}}{\frac{\pi * d^3}{16}} = \frac{1591,667 Nm}{\frac{\pi * d^3}{16} mm^3} = \frac{8106,3}{d^3} Pa \quad [17] \text{ siendo } d \text{ el diámetro del eje.}$$

$$\tau_{max} = \tau_{min} = \tau_{med} \quad [18]$$

Ahora se procederá al cálculo de tensión equivalente:

$$\tau_{eq} = \tau_{med} + \frac{\tau_F * k_e * \tau_{alt}}{\sigma_{fat} * C_S * C_l * C_t} \quad [19] \text{ Dado que } \tau_{alt} = 0 \text{ utilizaremos la siguiente expresión:}$$

$\tau_{eq} = \tau_{max} * k_e = \frac{8106,3}{d^3} * 1,5 = \frac{12159,45 Pa}{d^3}$ [20] siendo $K_e=1,5$ el factor geométrico del eje a torsión.

A continuación se procederá al cálculo de las tensiones normales, teniendo en cuenta que el momento flector del eje es nulo por la disposición de las excéntricas:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{flectorMax}}{w} = 0 Pa \quad [21]$$

$$\sigma_{min} = \frac{M_{flectorMin}}{w} = 0 Pa \quad [22]$$

$$\sigma_{med} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} = 0 Pa \quad [23]$$

$$\sigma_{alt} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = 0 Pa \quad [24]$$

Por lo que la tensión normal equivalente será:

$$\sigma_{eq} = \sigma_{med} + \frac{\sigma_F}{\sigma_{fat}} * \frac{k_e}{c_s * c_l * c_t} * \sigma_{alt} = 0 Pa \quad [25], \text{ puesto que } \sigma_{alt} = 0 Pa$$

A continuación se procederá al cálculo de tensiones principales, pudiendo ser representadas en los diagramas de círculos de Mohr. El radio del círculo se definirá como:

$$r = \sqrt{\frac{\sigma_{eq}^2}{2} + \tau_{eq}^2} = \frac{12159,45 Pa}{d^3} \quad [26]$$

Y su centro:

$$c = \frac{\sigma_{eq}}{2} = 0 \quad [27]$$

De esta forma, las tensiones normales principales resultarían:

$$\sigma_1 = \frac{\sigma_{eq}}{2} + \sqrt{\frac{\sigma_{eq}^2}{2} + \tau_{eq}^2} = \frac{12159,45 Pa}{d^3} \quad [28]$$

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_{eq}}{2} - \sqrt{\frac{\sigma_{eq}^2}{2} + \tau_{eq}^2} = \frac{-12159,45 Pa}{d^3} \quad [29]$$

Y finalmente, para calcular el diámetro del eje aplicaremos el criterio de Tresca, válido para aceros:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\sigma_{fat}}{n} = \frac{0,5 * \sigma_u}{n} = \frac{12159,45 Pa}{d^3} + \frac{12159,45 Pa}{d^3} = \frac{24318,9 Pa}{d^3} \quad [30]$$

Para el caso del eje diseñado, el material escogido es un acero de construcción básico con las siguientes propiedades:

$$\sigma_u = 470 MPa = 4796 kg/cm^2$$

$$\sigma_L = 6000 kg/cm^2$$

Con los valores anteriores para el caso de nuestro material de fabricación, se procederá a calcular el coeficiente de seguridad, n:

$$n = \frac{\sigma_L}{\sigma_u} = \frac{6000 kg/cm^2}{4796 kg/cm^2} = 1,251 > 1 \quad [31]$$

Resolviendo la ecuación [30]:

$$\frac{0,5 * 470 * 10^6 Pa}{1,251} = \frac{24318,9 Pa}{d^3} \quad [32] \text{ Obtenemos el diámetro de eje necesario:}$$

$$d = 0,0506 m = 50,6 mm \quad [33]$$

Analizando el resultado, el diseño de eje excéntrico propuesto para la máquina tiene un diámetro de 40mm pero hay que tener en cuenta las 4 excéntricas que formarán el diseño, siendo cada una de ellas de 100mm de diámetro. Por lo tanto, el diseño de eje propuesto debería cumplir el requisito de diseño frente a fuerzas descritas en este apartado.

5.1.4. CONTRAPESOS EXCÉNTRICOS

Como ya se ha explicado con anterioridad, para que el eje transmita el movimiento vibratorio a la cuba de trabajo es necesario acoplar unos contrapesos. En total, se necesitan utilizar cuatro para crear el movimiento adecuado, dos son fijos y están diseñados en el mismo eje y otros dos son desmontables y se colocarán en los dos extremos del eje. De esta forma, éstos últimos podrán modificarse para variar la amplitud en la respuesta en la frecuencia de vibración.

La excéntrica inferior irá acoplada al eje por un tornillo en el canal roscado del mismo, de esta forma se podrá modificar su posición y conseguir la frecuencia de vibración deseada. La excéntrica superior por otra parte, se colocará en el otro extremo del eje, que cuenta con una parte con cuatro cavidades en las que puede colocarse para, al igual que el otro contrapeso, poder modificar su vibración en función de su posición.

Las excéntricas que se plantean diseñar cuentan con una dimensión de 100mm de diámetro y 70mm de ancho fabricadas de el mismo material que el eje excéntrico, es decir, acero de baja aleación ASTM A242. Contará también un agujero excéntrico de 40 mm por el que se introducirá el eje para poder generar el movimiento centrífugo. Las especificaciones de esta pieza pueden verse adjuntadas en los planos de fabricación en los anexos del informe.

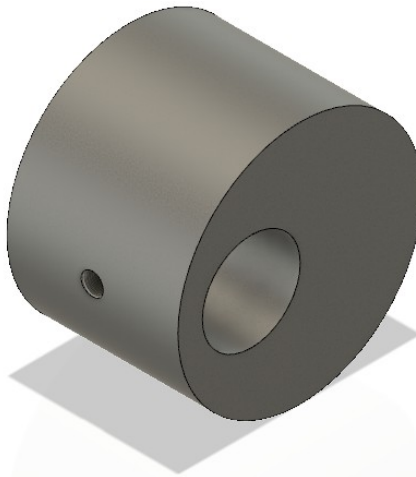


Imagen 18: Diseño de la excéntrica adaptable del prototipo.

5.1.5. MUELLES HELICOIDALES

Los muelles helicoidales son una parte esencial en el diseño del prototipo, porque son los elementos encargados de amortiguar el movimiento vibratorio de la cuba de trabajo para así no transmitir las fuerzas generadas a la bancada. Éstos trabajan con fuerzas de compresión y torsión, acortando su longitud y elongándose de nuevo cuando cesa el efecto que causa la deformación. La flexibilidad de los muelles está en función del número de espiras, del diámetro del resorte, del paso entre espiras, del espesor o diámetro del hilo, y de las características del material. Para el diseño del prototipo, se ubicarán en la parte inferior de la cuba y se dispondrán perimetralmente sobre esta, apoyándose en la parte superior de la bancada. Así, los muelles quedan fijados en la bancada y pueden guiar el movimiento de la cuba. [15]

Se ha planteado diseñar un prototipo con 12 muelles helicoidales de acero ASTM 232 de alta carga de 90 mm de largo y 40 mm de diámetro, con fuerza y dimensiones suficientes para amortiguar el tambaleo de la cuba de trabajo cuando la máquina está en funcionamiento y cargada con abrasivos, piezas y todos los elementos que suponen el peso total y las fuerzas que se general por ellos.



Imagen 19: Diseño del resorte del prototipo.

CÁLCULO DE LA OSCILACIÓN DE RESORTES POR COMPRESIÓN [16]

La frecuencia natural (ω_n o f_n) de un resorte helicoidal de compresión corresponde con la siguiente expresión:

$$\text{Frecuencia angular: } \omega_n = \pi * \sqrt{\frac{k * g}{w_a}} \quad [\text{rad/sg}] \quad [34]$$

$$\text{Frecuencia natural: } f_n = 0,5 * \sqrt{\frac{k * g}{w_a}} = \frac{2 * d}{\pi * N_a * D^2} * \sqrt{\frac{G * g}{32 * \gamma}} \quad [\text{Hz}] \quad [35]$$

Donde:

$$w_a = \frac{\pi * d^2 * D * N_a * \gamma}{4} \quad [36]$$

La expresión [36] corresponde al peso de las espiras y $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ es la constante de gravedad.

En nuestro diseño, disponemos de 12 muelles helicoidales dispuestos alrededor de la parte superior de la bancada. Del mismo modo, la fuerza máxima y mínima que deberán amortiguar dependerán del peso de la cuba; siendo esta máxima cuando el tambor se llena de abrasivos y mínima en vacío.

Por lo tanto, analizando el resultado de la ecuación [12], el peso total del tambor lleno a mitad de abrasivos será de 186,402 kg y el peso del tambor en vacío de 6 kg. Sobredimensionaremos ligeramente estos valores para ampliar el margen de seguridad de estas fuerzas por lo que tomarán los siguientes valores:

$$F_{max} = 190 \text{ kg} = 1960 \text{ N} \quad [37]$$

$$F_{min} = 10 \text{ Kg} = 98 \text{ N} \quad [38]$$

Atendiendo a la ecuación de resortes, obtendremos el valor de la constante de un único muelle para el caso mas desfavorable; es decir, para el caso en el que el tambor está operando lleno hasta la mitad de abrasivos:

$$k = \frac{F_{max}}{12 * y} = 309,765 \text{ N/mm} \quad [39]$$

$$\text{Dónde, } y = \frac{N_a * 8 * F * D^3}{G * d^4} = 0,5273 \text{ mm} \quad [40]$$

y además, teniendo en cuenta los siguientes valores obtenidos del programa *Fusion 360*:

$N_a=5$, corresponde al número de espiras activas de nuestro diseño.

$$F = \frac{F_{max}}{12} = \frac{1960}{12} = 163,33 N \quad [41]$$

$D=40 mm$, corresponde al diámetro de de resortes

$d=10 mm$, corresponde al diámetro de alambre del resorte

$G=793.000 N/mm^2$, módulo de rigidez para muelle de acero ASTM A232.

$\gamma=0,008 g/mm^3$, densidad del acero ASTM A232

Por lo tanto, resolviendo la ecuación [36] obtenemos el peso de las espiras:

$$w_a = \frac{\pi * d^2 * D * N_a * \gamma}{4} = 394,784 gr = 0,394784 kg \quad [42]$$

Finalmente, podemos resolver la frecuencia angular [34] y la frecuencia natural [35]:

$$\omega_n = \pi * \sqrt{\frac{k * g}{w_a}} = 9640 rad/s \quad [43]$$

$$f_n = 0,5 * \sqrt{\frac{k * g}{w_a}} = \frac{2 * d}{\pi * N_a * D^2} * \sqrt{\frac{G * g}{32 * \gamma}} = 1534,253 Hz \quad [44]$$

DISEÑO DE RESORTES HELICOIDALES DE COMPRESIÓN CON CARGA DE FATIGA [17]

En el diseño de la máquina, el movimiento vibratorio de ésta, hace que los resortes estén operando con cargas dinámicas; es decir, cargas variables en el tiempo. Así, un resorte cargado dinámicamente, opera entre dos niveles de fuerza: F_{max} y F_{min} . El valor total de éstas fuerzas es el definido en las ecuaciones [37] y [38]. Así, la fuerza máxima y mínima que ha de soportar cada resorte sería el equivalente a dichas ecuaciones dividido por 12, puesto que disponemos de 12 muelles idénticos equidistantemente dispuestos; dando lugar a:

$$F_{max} = \frac{1960}{12} = 163,334 N \quad [45]$$

$$F_{min} = \frac{98}{12} = 8,167 N \quad [46]$$

De este modo podemos proceder al cálculo de las fuerzas alternante y media:

$$F_a = \frac{F_{max} - F_{min}}{2} = 77,5835 N \quad [47]$$

$$F_m = \frac{F_{max} + F_{min}}{2} = 85,7505 N \quad [48]$$

A razón de fuerza de, $R_F = \frac{F_{min}}{F_{max}} = \frac{8,167}{163,334} = 0,005 \quad 0 < R_F < 0,8 \quad [49]$

Siendo el valor de la razón de fuerza admisible.

Del mismo modo podemos comprobar la condición del factor de seguridad, n , del resorte que relaciona la fuerza máxima permisible antes de que haya deformación permanente del material (F_{maxp}) y la fuerza máxima aplicada (F_{max}):

$$n = \frac{F_{maxp}}{F_{max}} > 1 \quad [50]$$

Dónde:

$$F_{max} = 163,334 N \quad [51]$$

$$F_{maxp} = \frac{A * d^{3-m}}{5,88 * (D + 0,5 d)} = \frac{1790 MPa * 10^{(3-0,155)} mm}{5,88 * (40 mm + 0,5 * 10 mm)} = 4734,381 N \quad [52]$$

Siendo las constantes A y m del siguiente valor para los resortes de acero:

$$A = 1790 MPa$$

$$m = 0,155$$

Así, se verifica la ecuación [29]: $n = \frac{4734,381 N}{163,334 N} = 28,985 > 1 \quad [53]$

5.1.6. BANCADA

La bancada es la base de la máquina vibratoria y es la encargada de soportar todo el peso y fuerzas que ejerce la cuba cuando está trabajando. Éste elemento tiene en su parte superior unas guías sobre las que irán insertados los 12 muelles helicoidales para amortiguar las fuerzas que se generan al estar en funcionamiento la máquina.

La bancada a su vez, tiene una apertura superior por la que se podrá acceder al motor que irá ubicado en su interior y fijo en una base diseñada para el mismo y así evitar movimientos de éste. En la parte superior, contará con una cavidad de 190mm de diámetro por la que se ubicará la carcasa que protege el eje excéntrico de forma que se genere la conexión entre el motor y la cuba de trabajo.

La unión entre las dos partes de la bancada se hará mediante 5 tornillos de M15 como puede observarse en los planos de fabricación. En cuanto a las dimensiones de este elemento, su altura total será de 380 mm y su diámetro exterior de 600mm y estará fabricada por un polímero rígido capaz de soportar el tambaleo de la cuba y las fuerzas ejercidas por el peso de tanto los elementos que sostiene como de las piezas y los abrasivos. Atendiendo a sus dimensiones y material de fabricación, se generará mediante la creación de las dos partes por molde por inyección de material.

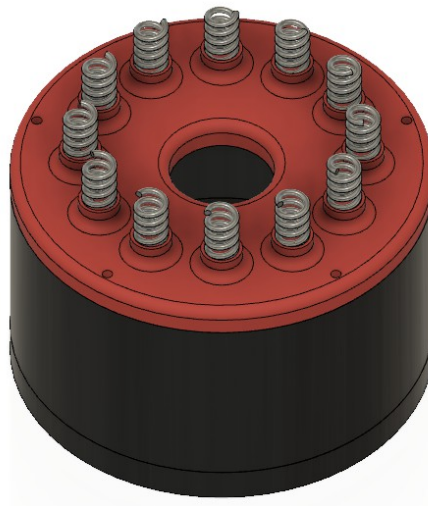


Imagen 20: Diseño de la bancada montada del prototipo.

5.1.7. CARCASA DE EJE EXCÉNTRICO

El eje excéntrico es la parte fundamental de la máquina para generar el movimiento centrífugo de la cuba por lo tanto, es importante que pueda recoger el par motor y transformarlo en vibración de una manera segura y sin incidentes. Además es el conector entre el motor y la cuba, es decir, une las partes fijas y móviles de la máquina. Por esto, se plantea diseñar una carcasa que recubra el eje excéntrico para evitar el contacto directo del eje, acoplamiento excéntrico y rodamientos con la cuba.

De esta forma, queda protegido el sistema eje, excéntricas y rodamientos y se ubicará en contacto directo con el tambor de trabajo mediante la cavidad interior que este contiene. Se fabricará de un material plástico, por inyección de molde, y será fácil de montar y desmontar en caso de que se necesite cambiarlo o requiera de algún tipo de trabajo de mantenimiento. La carcasa irá fijada a la cuba mediante unos tornillos y dispondrá de una tapa en su parte superior para en caso de que sea necesario, pueda operarse su interior si necesidad de ser desmontada y así por ejemplo, poder modificar la posición de las excéntricas móviles del eje. Además, contará con otra apertura transversal de cierre hermético de forma que la carcasa pueda dividirse en dos partes y ajustar los recubrimientos de rodamientos en las guías específicamente diseñadas para evitar el desplazamiento del eje excéntrico.

En cuanto a las dimensiones de diseño, contará con un diámetro de 190 mm y un largo de 533,5 mm y se fabricará en un material polimérico rígido.

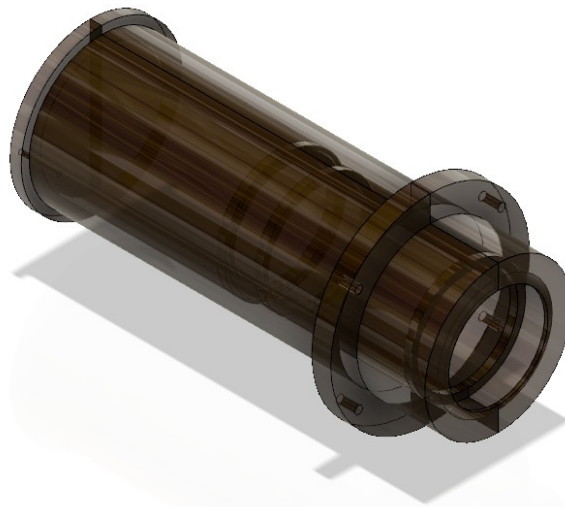


Imagen 21: Diseño de la carcasa del prototipo.

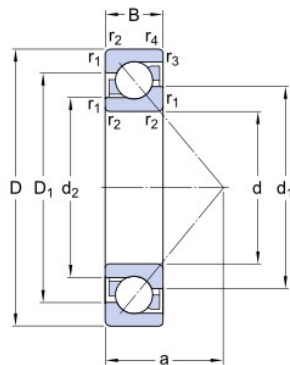
5.1.8. RODAMIENTOS

Los rodamientos serán los encargados de transmitir el movimiento de revolución del eje a la carcasa, permitiendo la transmisión de movimiento centrífugo a la cuba de trabajo. En cuanto a su diseño, se han escogido unos rodamientos normalizados de una sola hilera de bolas de contacto angular; más concretamente los 7208BECBPH, con las siguientes dimensiones de catálogo: [18]

7208 BECBPH

SKF Explorer

Dimensiones



d	40	mm
D	80	mm
B	18	mm
d ₁	≈ 56.25	mm
d ₂	≈ 48.08	mm
D ₁	≈ 65.55	mm
a	34	mm
r _{1,2}	min. 1.1	mm
r _{3,4}	min. 0.6	mm

Imagen 22: Dimensiones normalizadas del rodamiento angular 7208 BECBPH.

Es importante observar los datos de cálculo proporcionados por el fabricante para asegurar la correcta elección de los rodamientos. Como se puede apreciar, la capacidad de carga dinámica de este tipo de rodamiento es de 34,5KN. Atendiendo a la expresión [12] que se refiere al cálculo de peso máximo del tambor, se puede observar que dos rodamientos de estas características podrán generar su función de transmisión de movimiento centrífugo correctamente. Concretamente, la carga que tendrán que soportar será de 186,402kg que equivale a 1.826,7396KN. Tanto estática, como dinámicamente la disposición de dos rodamientos de una hilera de bolas angulares escogidos resultarían adecuados. [18]

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	34.5	kN
Capacidad de carga estática básica	C_0	24	kN
Carga límite de fatiga	P_u	1.02	kN
Velocidad de referencia		10000	r/min
Velocidad límite		10000	r/min
Factor de cálculo	A	0.0102	
Factor de cálculo	k_r	0.095	
Factor de cálculo	e	1.14	

Rodamiento individual o par de rodamientos dispuestos en tándem

Factor de cálculo	X	0.35	
Factor de cálculo	Y_0	0.26	
Factor de cálculo	Y_2	0.57	

Par de rodamientos dispuestos espalda con espalda o cara a cara

Factor de cálculo	X	0.57	
Factor de cálculo	Y_0	0.52	
Factor de cálculo	Y_1	0.55	
Factor de cálculo	Y_2	0.93	

Masa

Rodamiento de masa		0.37	kg
--------------------	--	------	----

Imagen 23: Tabla de datos del fabricante del rodamiento angular 7208 BECBPH.

Se necesitarán dos rodamientos que irán acoplados directamente en el eje excéntrico en la posición específica correspondiente.



Imagen 24: Diseño del rodamiento angular del prototipo.

5.1.9. RECUBRIMIENTO DE RODAMIENTO

Los recubrimientos de rodamientos están diseñados tanto, para transmitir el movimiento centrífugo generado por el eje excéntrico a la carcasa, de forma que ésta al estar en contacto directo con la cuba de trabajo genere su tambaleo o vibración; como para proteger los mismos rodamientos y evitar así su desgaste y posterior rotura.

Se fabricarán dos recubrimientos en un plástico rígido de 35 mm de espesor y 150 mm de diámetro exterior y contarán con una cavidad cilíndrica en la que se acoplarán los rodamientos normalizados. Su fabricación puede llevarse a cabo tanto por inyección de molde como el resto de las piezas poliméricas que componen la máquina, como por impresión 3D considerando que sus dimensiones son adecuadas y su geometría sencilla para ser impresa.



Imagen 25: Diseño del recubrimiento de rodamiento del prototipo.

5.2. ELEMENTOS AUXILIARES DEL PROTOTIPO

5.2.1. AISLAMIENTO ACÚSTICO

Es importante mencionar este elemento de la máquina puesto que las máquinas de pulido vibratorias suelen contar con un nivel acústico elevado cuando están en funcionamiento de hasta 140 dB. Éste nivel de ruido viene generado por el tamaño y la potencia de la máquina, así como del trabajo de pulido mismo generado por los abrasivos y las piezas. Así, los niveles de ruido alcanzados oscilan entre 80 y 140 dB, siendo bastante agresivos para el oído del ser humano puesto que a partir de 60 dB pueden empezar a generarse daños físicos. [19] Por lo tanto en máquinas pulidoras por vibración de carácter industrial y de gran tamaño, se hace necesario diseñar un revestimiento acústico para absorber el ruido que genera la máquina.

Esta capa de absorción acústica se ubica en el interior de la cuba de trabajo y la recubre totalmente para poder disminuir los niveles de ruido generados. Estos recubrimientos se granallan para una mejor adherencia y su material de fabricación suelen ser poliuretano. [20]

5.2.2. TAMIZ SEPARADOR

Esta parte de la máquina es esencial para que el pulido de las piezas se cumpla de la mejor manera posible. El tamiz separador se encuentra dentro de la cuba de trabajo y posee pequeños orificios de manera que, mediante la vibración generada, los abrasivos vayan friccionando con la pieza y a medida que van desgastándose se cuelan por estos orificios dejando únicamente las pieza acabadas y listas para su extracción. [21]

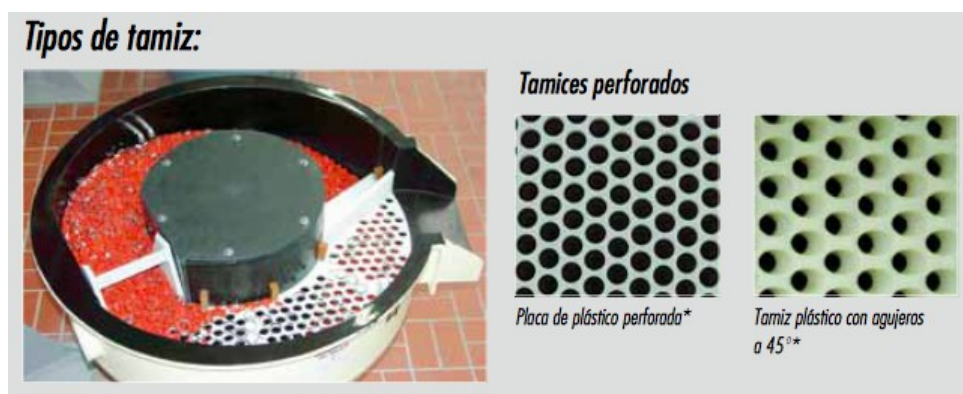


Imagen 26: Tamiz separador de una máquina pulidora.

5.2.3. TRAMPILLA SEPARADORA

Al igual que el tamiz separador, la trampilla separadora se ubica en la cuba de trabajo y es la encargada de la separación de las piezas puesto que cierra el camino al tamiz separador. Cuando la máquina está en funcionamiento, esta trampilla permanece abierta para que los abrasivos puedan recircularse hacia la parte inferior de la cuba y así continuar con el proceso de pulido de la pieza. Cuando termina el proceso de pulido por vibración, la trampilla separadora se cierra y dirige los abrasivos y las piezas hasta el tamiz de separación. [21]



Imagen 27: Trampilla separadora de una máquina pulidora.

5.2.4. DOSIFICADOR DE AGUA Y DISOLVENTES QUÍMICOS

Como se ha explicado anteriormente, la mayoría de las máquinas de pulido por vibración requieren de agua y disolventes químicos para lubricar la pieza y conseguir un mejor acabado de la misma. Por lo tanto, las máquinas vibratoras deben contener un sistema que dosifique de manera correcta esta mezcla y la distribuya en la cuba de trabajo. Para ello, a cuba de trabajo debe diseñarse con salidas al interior de forma que la mezcla se distribuya en la mayor superficie posible. [14]

6. PLANOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

6.1. PLANOS DE FABRICACIÓN

Una vez analizados los elementos y el diseño que componen el prototipo de la máquina pulidora por vibración, es necesario generar los planos de diseño para posteriormente iniciar el proceso de fabricación de piezas que formarán la máquina. En el apartado de Anexo 1, al final del informe, se adjuntarán los planos principales de la máquina y de los elementos más característicos, así como de las piezas secundarias necesarias para la fabricación de la máquina.

6.2. MONTAJE

Una vez fabricados todos los elementos que la componen la máquina pulidora, el proceso de montaje es el siguiente:

1. Acoplamiento del eje excéntrico al motor.

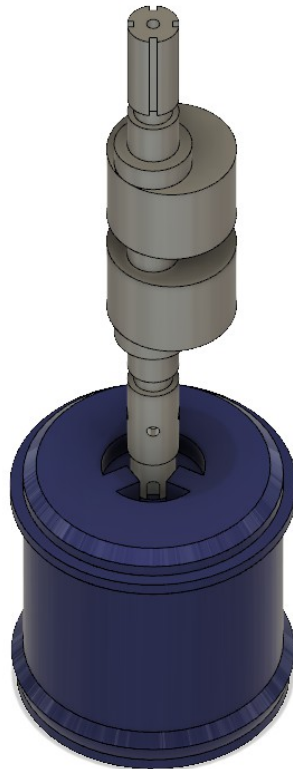


Imagen 28: Acoplamiento eje excéntrico-motor.

Como se representa en la imagen anterior, el acoplamiento motor y eje excéntrico se realizará de manera vertical.

2. Acoplamiento de las excéntricas adaptables, rodamientos y recubrimiento de rodamientos.



Imagen 29: Acoplamiento de las excéntricas, rodamientos y recubrimientos.

Como se ha explicado anteriormente en el informe, el eje excéntrico estará compuesto por las dos excéntricas adaptables. La disposición de estos elementos determinará la frecuencia de vibración del tambor de pulido. Además, se colocarán los rodamientos normalizados en su ubicación correspondiente y se protegerán con los recubrimientos.

3. Montaje de la carcasa del eje excéntrico.

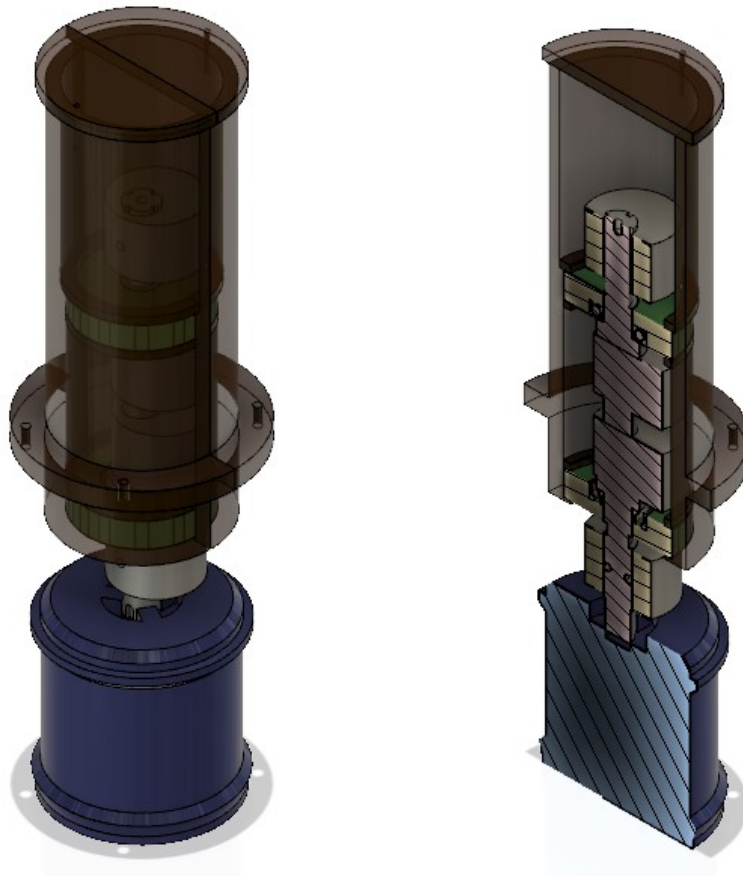


Imagen 30: Montaje de la carcasa del eje excéntrico.

El sistema anteriormente mencionado irá cubierto por la carcasa plástica. Esta carcasa se posiciona guiada con los recubrimientos de los rodamientos para así recoger el movimiento de giro del eje y transmitir la fuerza centrífuga al tambor de pulido.

Como ya se ha mencionado anteriormente, la carcasa posee un cierre hermético en su sección transversal para asegurar el posicionamiento correcto e inamovible. Además, contiene una tapa superior que permite operar dentro del sistema sin necesidad de desmontar todo el sistema.

4. Sistema completo fijado en la bancada inferior.



Imagen 31: Sistema completo montado sobre la bancada.

Todo el montaje descrito anteriormente irá montado sobre la bancada de la máquina pulidora. Esta bancada posee una tapa superior desmontable donde se posicionarán los muelles encargados de amortiguar el tambaleo y las fuerzas de compresión generadas por la vibración del tambor. Además, el motor es de disposición horizontal por lo que se fijará a la base interior de la bancada inferior mediante unos tornillos para así poder transmitir la potencia al eje de forma vertical.

5. Acoplamiento del tambor vibrador a la carcasa del eje y sobre la bancada inferior.

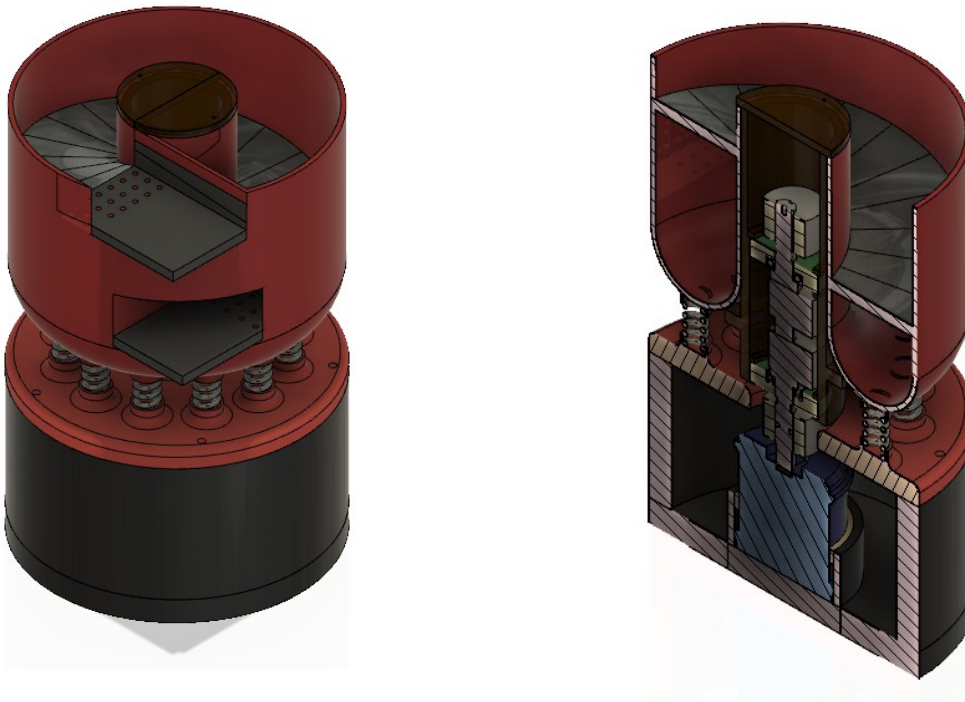


Imagen 32: Acoplamiento del tambor de pulido y fin de montaje.

Finalmente, se colocará en tambor de pulido apoyado sobre los muelles y centrado alrededor de la carcasa del eje excéntrico. La tapa de la carcasa irá en contacto con el tambor para asegurar que el la cuba no se desplace fuera al recibir la fuerza centrífuga y empezar a vibrar.

De esta forma y con los tornillos correspondientes queda finalizado el proceso de montaje de la máquina pulidora.

7. ESTUDIO ECONÓMICO

El presupuesto del proyecto es otro aspecto importante a tener en cuenta a la hora de llevar a cabo la fabricación del prototipo. Está compuesto por diferentes etapas entre las que se encuentran la fabricación de cada elemento de la máquina, así como de su valor de mano de obra para realizar el montaje. Además de los costes por fabricación y montaje de elementos, hay que tener en cuenta los costes de elementos ya normalizados. Así, se puede adjudicar un precio final al prototipo completamente fabricado y montado para, posteriormente, asegurar que su empleo conlleva a un beneficio industrial.

La realización del presupuesto debe ser correcta, ya que si está calculado por exceso generaría un rechazo por parte del cliente interesado, y por el contrario, si fuese calculado por debajo de su valor supondría posteriormente unas pérdidas económicas no consideradas.

En este apartado del informe, se adjuntarán las tablas de costes en euros más características que incluyen: la fabricación del eje excéntrico y la pieza excéntrica, así como la de costes de los elementos normalizados y también el presupuesto del montaje de la máquina. Cabe mencionar que, al final del informe en el apartado de Anexo 2, se adjuntará la tabla de costes de todos los elementos de fabricación.

7.1. COSTES DE PIEZAS FABRICADAS

El coste de material utilizado es acero SAE4140 a un precio de 2,5€/kg.

Para el cálculo de los costes de fabricación de las piezas se ha obtenido el tiempo de operación en cada máquina, el número de operaciones en cada máquina y el precio/hora por cada máquina.

Hay que mencionar que para el cálculo del coste del horno se ha considerado el peso de la pieza a realizar el tratamiento térmico, siendo su coste de 20€/kg.

Se adjuntan en este apartado los costes por fabricación del eje excéntrico y la pieza excéntrica.

Eje Excéntrico									
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total (h)	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza	
Torno convencional	0,11	17	1,87	13	--	24,31			
Fresa convencional	0,1	6	0,6	17	--	10,2			
Horno (Templado y revenido)	2,66	1	2,66	--	20	245,6			
Rectificadora	0,18	5	0,9	31	--	27,9			
PRECIO TOTAL							308,01	133,175	441,185

Tabla 3: Costes de fabricación del eje excéntrico.

Nota: el peso del eje excéntrico total es de 12,28Kg. Además para el coste de material se ha partido del cálculo de un tocho de acero de 120mm de diámetro y 600mm de altura, dando así un peso de 53,27kg calculado mediante *Fusion 360*.

Por lo tanto, el coste total de fabricación del eje excéntrico asciende a 441,185€, equivalente a 340.856,09\$ pesos chilenos.

Excéntrica									
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza	
Torno convencional	0,11	4	0,44	13	--	5,72			
Fresa convencional	0,1	1	0,1	17	--	1,7			
Rectificadora	0,18	2	0,36	31	--	11,16			
PRECIO TOTAL							18,58	17,75	36,33

Tabla 4: Costes de fabricación de la pieza excéntrica.

Nota: Para el coste de material se ha partido del cálculo de un tocho de acero de 120mm de diámetro y 80mm de altura, dando así un peso de 7,1kg calculado mediante *Fusion 360*.

Por lo tanto, el coste total de fabricación de la pieza excéntrica asciende a 36,33€, equivalente a 28.068,27\$ pesos chilenos.

En la siguiente tabla se adjunta el valor del coste de todas las piezas fabricadas:

Piezas fabricadas			
Nombre	Unidades	Precio unitario	Precio Total
Eje Excéntrico	1	441,185	441,185
Excéntrica	2	36,33	72,66
Tambor	1	93,98	93,98
Carcasa	1	57,825	57,825
Bancada inferior y superior	1	249	249
Recubrimiento	2	16,466	32,932
PRECIO FINAL PIEZAS FABRICADAS			947,582

Tabla 5: Coste total de todas las piezas fabricadas.

Se observa finalmente que el precio total de las piezas fabricadas asciende a **947,582€**, equivalente a **732.094,46\$ pesos chilenos**.

7.2. COSTE DE PIEZAS NORMALIZADAS

Al igual que la tabla anterior, los costes de las piezas normalizadas calculados en la tabla son en euros.

Pieza	Unidades	Precio unitario	Precio total
Rodamiento angular	2	24,58	49,16
Muelle helicoidal	12	22,29	267,48
Tornillo M15x50	5	1	5
Tornillo M10x50	5	0,33	1,65
Tornillo M10x20	2	0,2	0,4
Tornillo M10x25	4	0,22	0,88
Tornillo M6x50	2	0,08	0,16
Arandela M10	4	0,18	0,72
Acoplamiento elástico	1	12,6	12,6
Motor	1	246,26	246,26
Chaveta 15x10x6	2	1,71	3,42
PRECIO TOTAL			587,73

Tabla 6: Coste de todas las piezas normalizadas.

El coste de todas las piezas normalizadas es de **587,73€**, equivalente a **454.075,61\$ pesos chilenos**.

7.3. COSTE MONTAJE

Para el precio de montaje de la máquina, se ha estimado un tiempo de montaje total de 5 horas y para ello, empleando una mano de obra a 20€/h.

Montaje	
Tiempo montaje (h)	Coste montaje
5	100

Tabla 7: Coste del montaje de la máquina.

7.4. COSTE FINAL

Habiendo calculado el coste de las distintas piezas de fabricación (tablas de las piezas restantes en los anexos, al final del informe), el coste total de los elementos normalizados y el coste por montaje, se estima que el precio final de fabricación de la máquina es el siguiente:

PRECIO FINAL DE FABRICACIÓN			
Precio piezas fabricadas	Precio piezas normalizadas	Precio montaje	Precio final de fabricación
947,582	587,73	100	1635,312

Tabla 8: Coste final de la fabricación y montaje completo de la máquina.

Por lo tanto, el precio final de fabricación completa de la máquina asciende a **1.635,312€**, equivalente a **1.263.429,30\$ pesos chilenos**.

8. CONCLUSIONES

Una vez realizado el diseño de la máquina pulidora vibratoria e indagado en el estudio de la manufactura aditiva y sus procesos, son varias las conclusiones que se han obtenido.

En referencia al software de diseño empleado, *Fusion 360*, cabe resaltar que ha sido un programa que ha cumplido perfectamente con los requisitos que se planteaban en el diseño del prototipo. Además de haber podido diseñar la piezas de manera exhaustiva, a la hora de ensamblar todo el montaje el programa ha sido más que suficiente y ha sido de gran ayuda para obtener los valores de las propiedades de cada elemento para, posteriormente, poder asegurar el funcionamiento correcto del prototipo mediante los cálculos realizados.

En cuanto al diseño del prototipo, la mayoría de las máquinas con estas características son máquinas industriales de dimensiones y materiales mucho mas robustos. Por lo tanto, el reto de diseño de una máquina de pulido por vibración para piezas ABS mucho mas pequeñas ha requerido bastantes modificaciones frente a las máquinas ya conocidas industrialmente. Mediante el diseño propuesto y los cálculos realizados se considera que se puede diseñar una máquina vibratoria más o menos de la mitad del tamaño de las ya comercializadas y fabricada en plástico, lo cual es novedoso. Además de plantear el diseño de eje excéntrico, otra novedad, puesto que la gran mayoría de las máquinas industriales se basan en un sistema de motor con excéntricas centralizado. De esta forma, se ha conseguido un diseño de prototipo mucho más manejable para montaje y desmontaje y de fácil accesibilidad, lo cuál era uno de los objetivos de la tesis.

Cabe mencionar también, que el diseño propuesto cumple con un presupuesto adecuado y razonable para tratarse de una máquina no comercial y diseñada específicamente para el pulido de piezas ABS de tamaño relativamente pequeño. Mediante los cálculos realizados, se ha podido lograr diseñar un prototipo con funciones similares a las máquinas de pulido industriales, capaz de trabajar con una amplia variedad de abrasivos y piezas a pulir además de las propuestas en esta tesis.

NOMENCLATURA GENERAL

- MA: Manufactura Aditiva
- FA: Fabricación Aditiva
- CAD: Computer Aided Design
- ATSM: American Society for Testing and Materials
- FDM: Fused Deposition Modeling
- PBF: Powder Bed Fusion
- DED: Directed Energy Deposition
- DMSL: Direct Metal Laser Sintering
- SLS: Selective Laser Sintering
- EBM: Electron Beam Melting
- DMD: Direct Metal Deposition
- LENS: Laser Engineered Net Shaping
- EBFF: Electron Beam Freeform Fabrication
- LOM: Laminated Object Manufacturing
- CONMAD: Consorcio de Manufactura Aditiva
- CIDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial

UNIDADES (SI, SISTEMA INTERNACIONAL)

- Longitud: mm
- Masa: Kg
- Tiempo: s
- Temperatura: °C
- Potencia: KW
- Fuerza: N

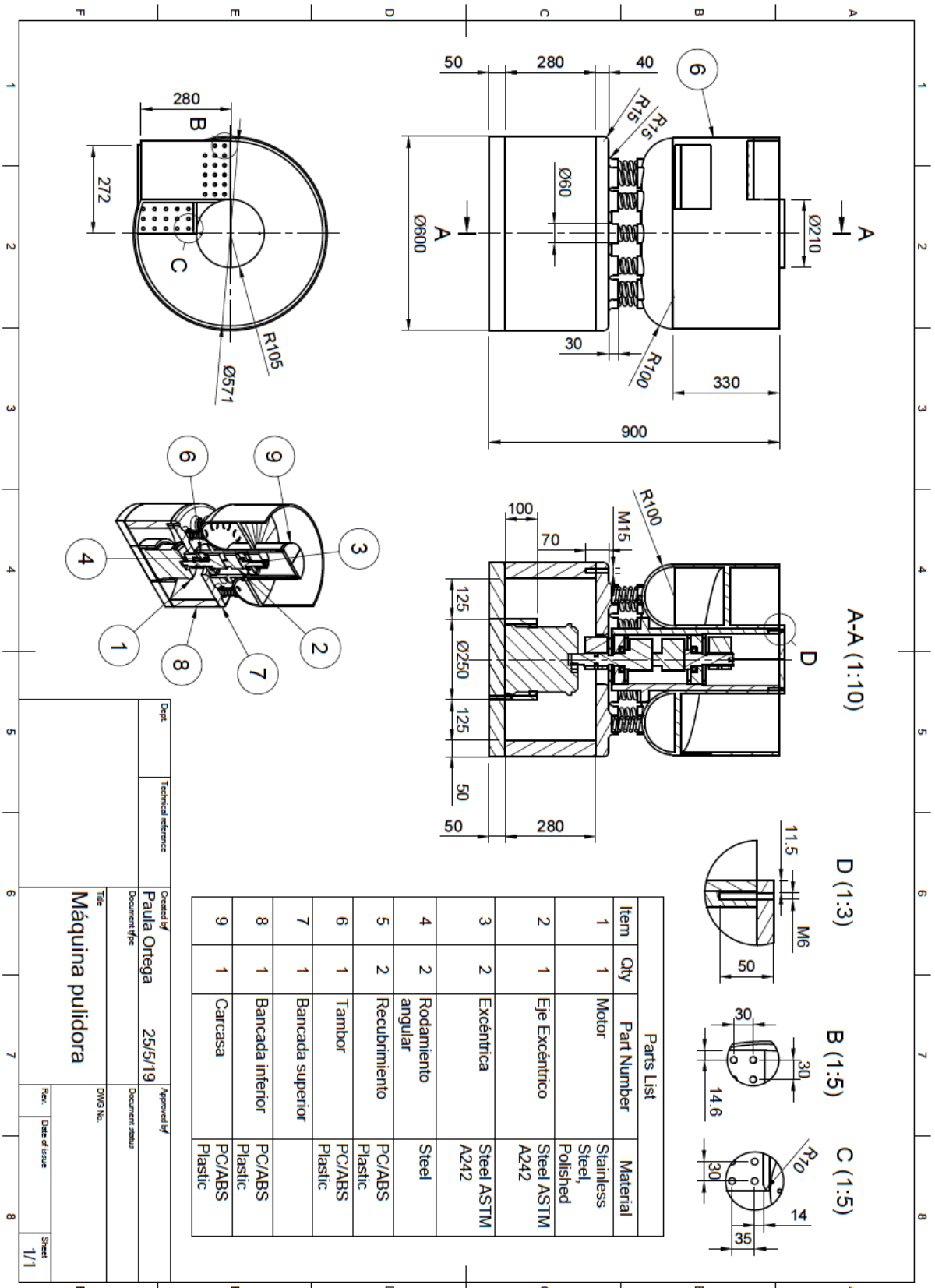
BIBLIOGRAFÍA

- 1: Efren Agustín Toala Moran, Una nueva máquina de manufactura aditiva capaz de desplazarse verticalmente por una estructura producida continuamente por la misma máquina, Santiago, 2017
- 2: IKOR, Ventajas de la fabricación aditiva, 2019, <https://www.asidek.es/8-ventajas-de-la-fabricacion-aditiva/>
- 3: Heriberto Julio Mejía Flores, Ventajas y desventajas de las impresoras 3D, 2016, http://www.revistasbolivianas.org.bo/scielo.php?pid=S172975322016000100006&script=sci_arttext
- 4: Sergio Romero Fuentes, Estudio comparativo de los métodos de fabricación aditiva para el titanio y sus aleaciones, Barcelona, Septiembre 2017, pag. 8-20
- 5: AIDIMME, SKIN-Mejora de las prestaciones de los materiales procesados con fabricación aditiva mediante post-procesos, Informe resultados, 2018
- 6: Lucía C., ¿Cómo optimizar el postratamiento de piezas impresas en 3D?, Marzo 21, 2019, <https://www.3dnatives.com/es/postratamiento-de-piezas-impresas-en-3d-210320192/>
- 7: Metac S.A., Pulido por vibración, Buenos Aires, <http://metacsa.com/producto/pulido-por-vibracion/>
- 8: CONIEX, Tratamientos de superficies por vibración en seco con abrasivos ecos, Barcelona, <https://www.coniex.com/tratamiento-de-superficies-por-vibracion-en-seco-con-abrasivos-ecos/>
- 9: CONIEX, Vibración en seco, Barcelona, <https://www.coniex.com/vibracion-en-seco/>
- 10: Centro de análisis y prospectiva, Gavinete técnico de la Guardia Civil, Impresoras 3D, pag. 3-5
- 11: Lucía C., Se crea el primer consorcio de fabricación aditiva en Latinoamérica, Julio 24, 2018, <https://www.3dnatives.com/es/consorcio-fabricacion-aditiva-en-latinoamerica-240720182/>
- 12: Leitat Chile, Ponencia sobre manufactura aditiva en Concepción, Octubre 03, 2015, <https://www.3dnatives.com/es/consorcio-fabricacion-aditiva-en-latinoamerica-240720182/>
- 13: Rösler, Vibradores rotativos, pag. 5,
- 14: Rösler, Vibradores rotativos, pag. 7,
- 15: Aficionados a la mecánica, Muelle helicoidal - suspensión, 2014, <http://www.aficionadosalamecanica.net/suspension2.htm>
- 16: Pearson, Diseño de máquinas, un enfoque integrado, pag. 664-667
- 17: Pearson, Diseño de máquinas, un enfoque integrado, pag. 670-674
- 18: SKF, Rodamientos angulares normalizados, <https://www.skf.com/cl/products/bearings-units-housings/ball-bearings/angular-contact-ball-bearings/single-row-angular-contact-ball-bearings/single-row/index.html?designation=7208%20BEP>

- 19: José Flores, ¿Cuántos decibels puede soportar el oído humano?, 2016, <https://vital.rpp.pe/expertos/cuantos-decibels-puede-soportar-el-oido-humano-noticia-625909>
- 20: Antonio Hidalgo, Materiales absorbentes acústicos: aislantes que no aportan aislamiento acústico, 2011, <http://www.cecorsl.com/2011/06/20/materiales-absorbentes-acusticos-aislantes-que-no-aportan-aislamiento-acustico/>
- 21: Rösler, Vibradores rotativos,

ANEXOS:

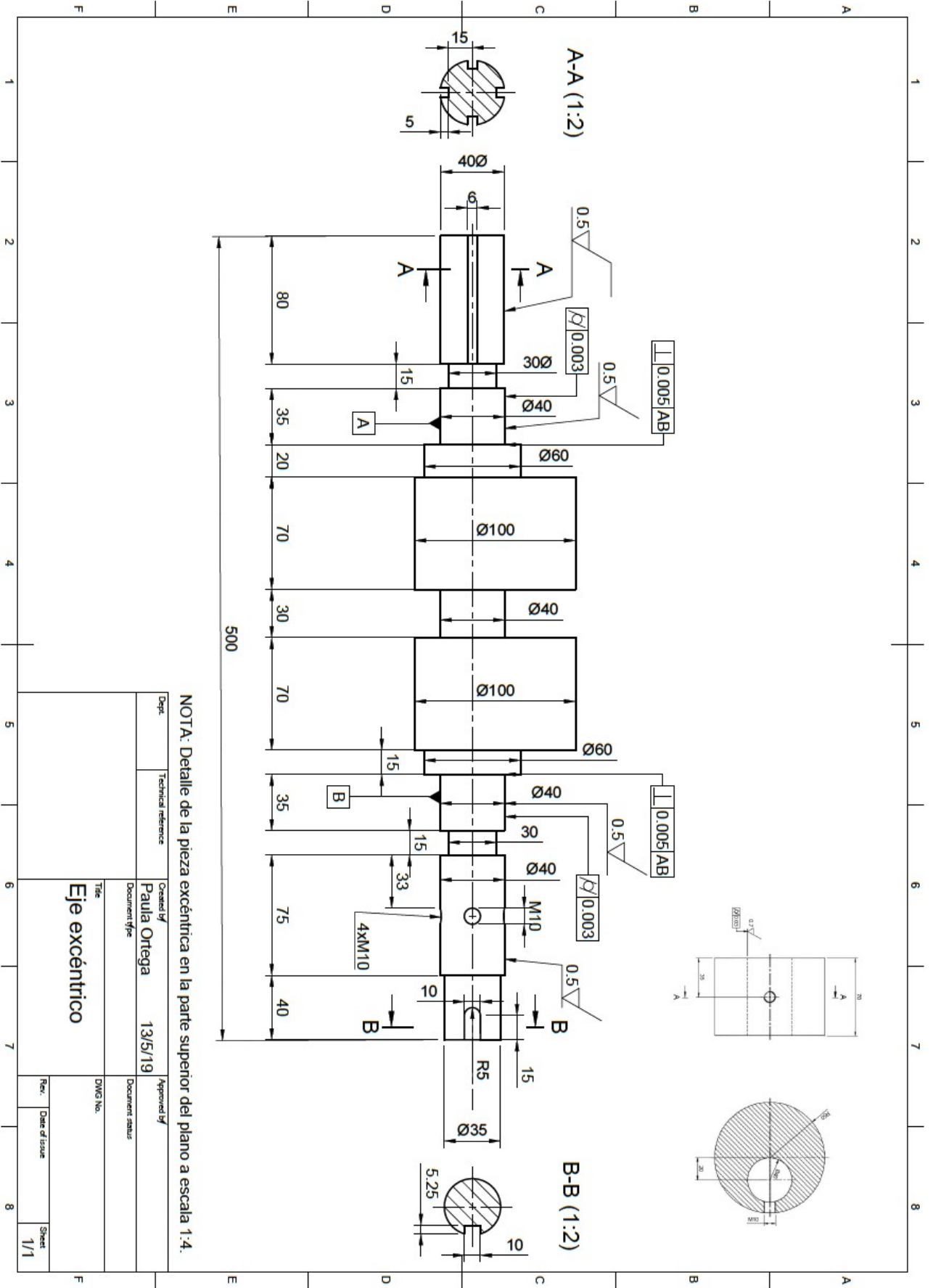
ANEXO 1: PLANOS DE FABRICACIÓN



Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Paula Ortega	
		Document type	Document status
Title		DWG No.	
Máquina pulidora			
Rev.	Date of issue	Sheet	
		1/1	

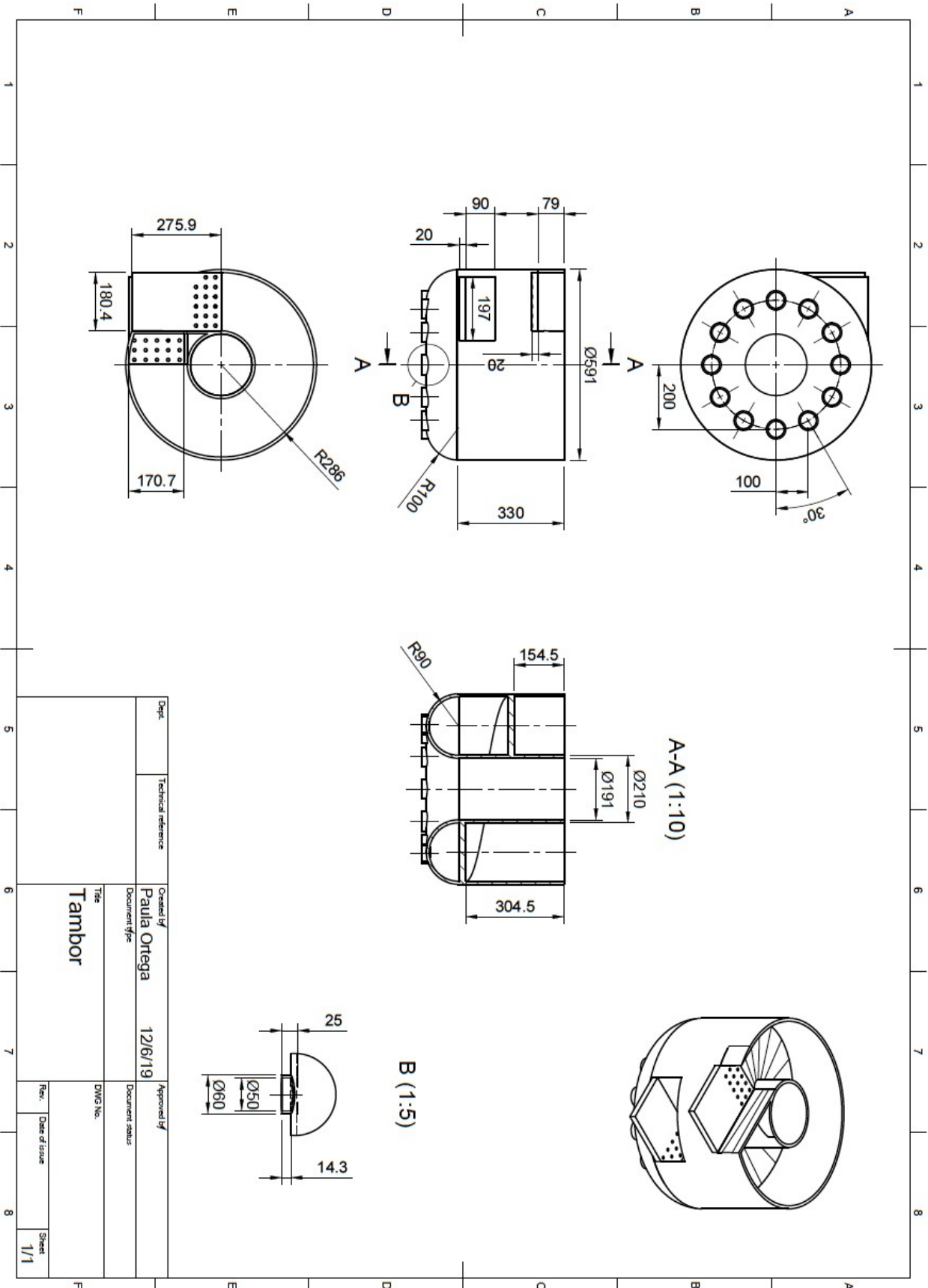
LISTADO DE COMPONENTES DE LA MÁQUINA PULIDORA

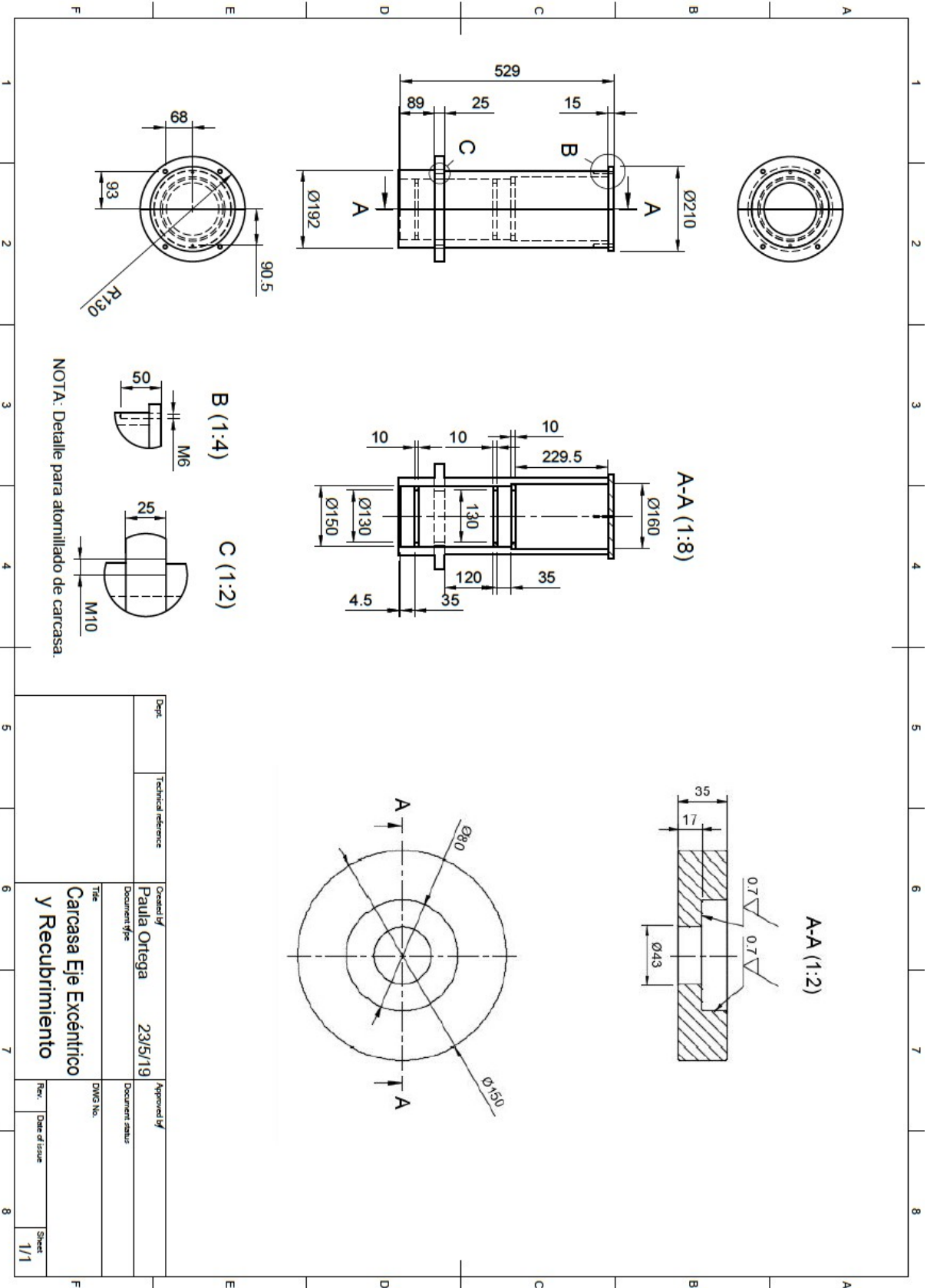
NOMBRE	CANTIDAD	MATERIAL / NOMENCLATURA
Motor	1	Acero / Siemens 1LGO
Eje Excéntrico	1	Acero ASTM A242
Excéntrica	2	Acero ASTM A242
Rodamiento angular	2	7208 BECBPH
Recubrimiento	2	PC/ABS Plástico
Tambor	1	PC/ABS Plástico
Bancada superior	1	PC/ABS Plástico
Bancada inferior	1	PC/ABS Plástico
Muelles helicoidales	12	Acero ASTM 232
Carcasa	1	PC/ABS Plástico
Tornillos roscados M15x50	5	DIN7984
Tornillos roscados M10x50	5	DIN7984
Tornillos roscados M10x20	2	DIN7984
Tornillos roscados M10x25	4	DIN7984
Tornillos roscados M6x50	2	DIN7984

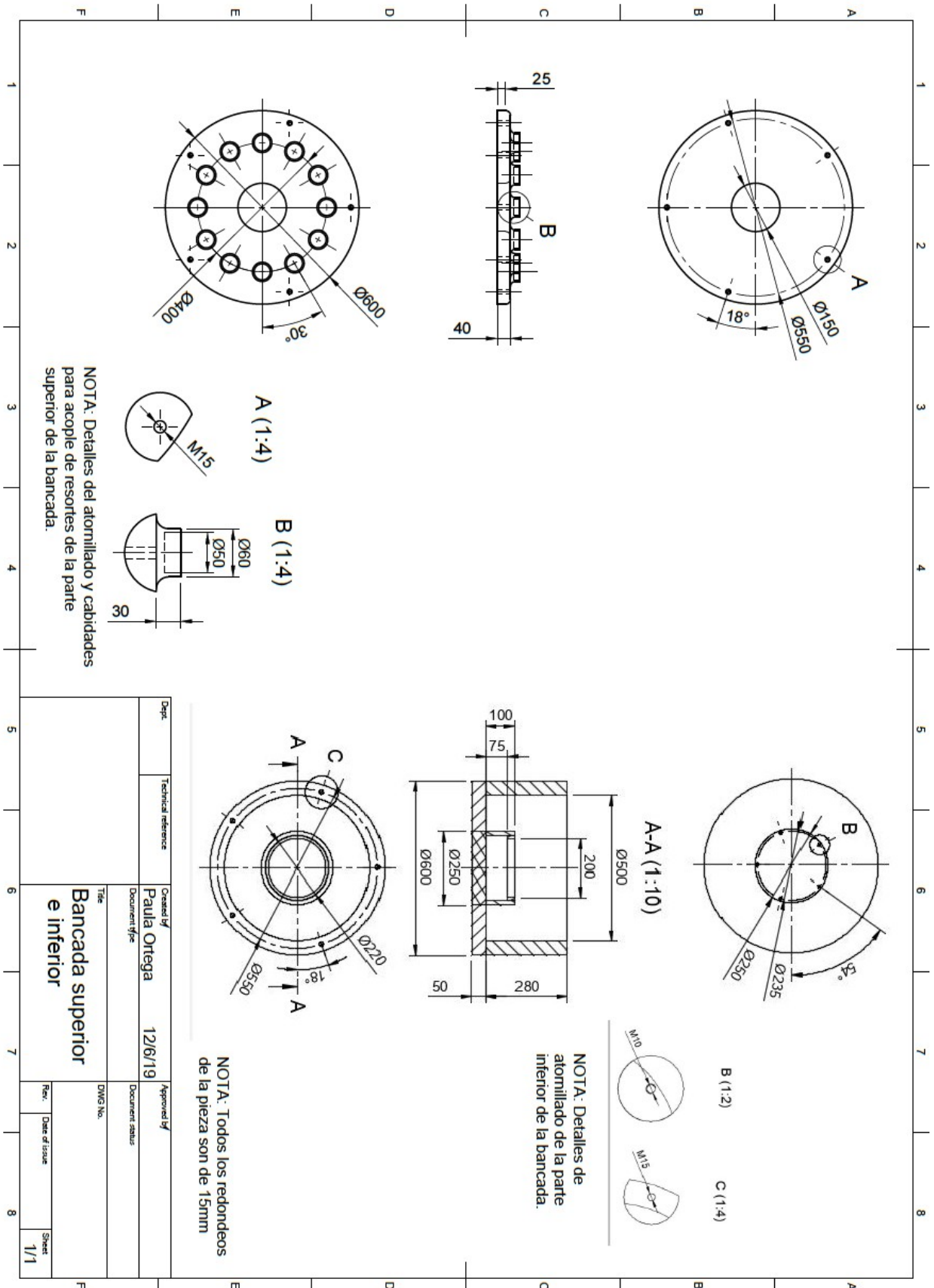


NOTA: Detalle de la pieza excéntrica en la parte superior del plano a escala 1:4.

Dept	Technical reference	Created by	Approved by
		Paula Ortega	
	Document type	Document No.	Document status
		13/5/19	
Title		DWG No.	
Eje excéntrico			
Rev.	Date of issue	Sheet	
		1/1	







NOTA: Detalles de atornillado y capacidades para acople de resortes de la parte superior de la bancada.

NOTA: Detalles de atornillado de la parte inferior de la bancada.

NOTA: Todos los redondeos de la pieza son de 15mm

Dept.	Technical reference	Created by	Approved by
		Paula Ortega	
	Document type	12/6/19	Document status
Title		DWG No.	
		Rev.	Date of issue
Bancada superior e inferior			Sheet
			1/1

ANEXO 2: COSTES DE PIEZAS DE FABRICACIÓN

Tablas de las piezas de fabricación restantes, precios en euros.

Tambor								
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza
Moldeo por inyección	1	1	1	20	--	20		
Pulidora plásticos	0,5	4	2	30	--	60		
PRECIO TOTAL						80	13,98	93,98

Carcasa								
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza
Moldeo por inyección	0,8	1	0,8	20	--	16		
Pulidora plásticos	0,6	2	1,2	30	--	36		
PRECIO TOTAL						52	5,825	57,825

Bancada parte inferior y superior								
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza
Moldeo por inyección	2	1	2	20	--	40		
Fresa convencional	0,2	10	2	17	--	34		
Pulidora plásticos	0,8	5	4	30	--	120		
PRECIO TOTAL						194	55	249

Recubrimiento								
Máquina	Tiempo por operación (h)	Número de operaciones	Tiempo total	Precio/hora	Precio/peso	Precio Total	Coste material	Precio Final pieza
Moldeo por inyección	0,5	1	0,5	20	--	10		
Pulidora plásticos	0,2	1	0,2	30	--	6		
PRECIO TOTAL						16	0,466	16,466

SIEMENS

Motores de bajo
consumo 1LG0
Carcasa en Fundición
de Hierro



www.siemens.com/motors

Motores de baja tensión de Alta Eficiencia Ejecución Pesada

Trifásicos con rotor de jaula - Tamaños 80 a 315
Potencias desde 0,75 CV hasta 430 CV - 0,55 kW hasta 315 kW

Motores Siemens de Baja Tensión – Ejecución Pesada 1LG0

Objetivo claro: Alta eficiencia es un mayor ahorro de costos energéticos

La línea de motores tipo 1LG0 pertenece a una generación de máquinas innovadoras.

Frente a un complejo estado de situación generalizado en todo el mundo por la variable disponibilidad de energía, los consumidores en la industria se encuentran en un estado de transición al haber sido modificados los niveles de rendimiento de los motores en la Norma IEC 60034-30.

Más allá de la ampliación en las tablas, con una mayor gama de potencias, se dispone de valores de rendimiento diferentes.

Las categorías ahora serán (de menor a mayor eficiencia): IE1 (ex EFF2), IE2 (ex EFF1) e IE3.

La IEC como toda otra Norma Técnica es voluntarista y establece valores mínimos de eficiencia, pero cada legislación local estipula la forma y el tiempo de aplicación.

En la Argentina el trabajo desde las Instituciones fue coronado con la puesta en vigencia de la Norma IRAM 62405, cuyas tablas de etiquetado son las publicadas por IEC.

Estos motores se desarrollaron como de Alto Rendimiento, pero los valores resultantes son "Superiores" a los de la Categoría de Eficiencia EFF2 ó IE1.

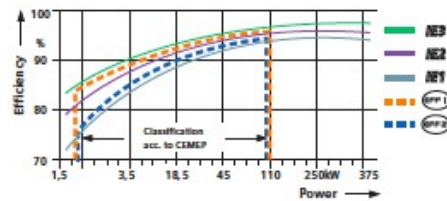
Al mantener aún la categoría EFF2, los motores 1LG0 presentan niveles de rendimiento superiores en todos los casos a los motores IE1, e incluso, en determinadas potencias, superior a IE2!!

La línea de Motores Eléctricos de SIEMENS 1LG0 es de bajo consumo, siendo este un concepto global que abarca no solamente el rendimiento y el factor de potencia, a distintos estados de carga, sino también la calidad del arranque.

La Línea de Motores tipo 1LG0 se construye en carcasa de fundición de Hierro de alta calidad.

Son máquinas fabricadas con rotor inyectado de Aluminio. Poseen un nuevo diseño arquitectónico muy robusto de acuerdo a las actuales necesidades de la Industria, como

por ejemplo: siderúrgica, química, alimenticia y toda aquella que requiera un cierto grado de resistencia al uso.

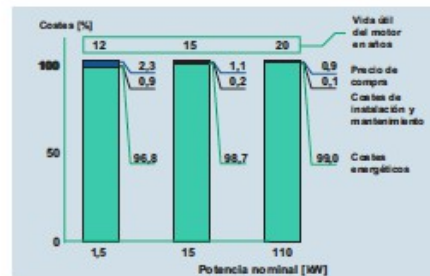


Modernos formatos y todas las prestaciones, como en:

- Acometida de cables.
- Cáncamos de izaje.
- Patas de fijación.
- Ejecución Confiable y Flexible, por su construcción compacta y equilibrada, con resultados electromecánicos ampliamente superiores a los nominales.
- Placa de características con la indicación del alto grado de eficiencia.

A todas las máquinas se les puede incorporar protección en bobinado y en rodamiento, como así también aumentar la protección mecánica.

La importancia de un alto rendimiento.



Más del 96% de los costos operativos de un motor, dentro de su ciclo de vida dado, son costos energéticos.



El motor Siemens es el único del mercado con un factor de servicio 1,1!

Ejecución Eléctrica

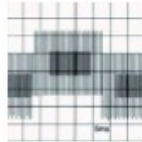
Tensión y frecuencia

Fueron diseñados para trabajar con una variación del 5% de la tensión de placa (IEC 60 038) y en redes de 50 y 60Hz.

Se dispone en stock de máquinas:
 220/380V 50Hz hasta 4,0 CV (3 kW)
 380/660V 50Hz desde 5,5 CV (4,0 kW).
 Utilizándolos en 60Hz las potencias son:
 En 2 polos + 12%
 En 4 polos + 15%
 En 6 polos + 20%
 (consultar por otras tensiones)

Modos de Accionamientos:

En su ejecución standard todos los motores pueden ser accionados con arranque convencionales ó suaves, como así también mediante convertidor de frecuencia (torque variable) debido al sistema de aislamiento y la mayor robustez en la empaquetadura.



Ejecución Mecánica

Montaje

Todos los tamaños constructivos pueden montarse horizontal ó verticalmente (en condiciones normales de carga mecánica sobre el eje).

También pueden suministrarse en ejecuciones con brida IMB5 - IMB35 IMB14 - IMB34 - IMV1.

Refrigeración y Ventilación

La refrigeración es de superficie mediante ventilador termoplástico (ejecución antichispa) de bajo nivel de ruido para ambos sentido de giro.

Rodamientos

Para motores en posición horizontal y siempre que no haya cargas axiales adicionales la vida útil es de 40.000 horas. Con las cargas máximas admisibles la duración es de al menos 20.000 horas.

Lubricación

Del tamaño 80 al 250 la lubricación es permanente, desde el tamaño 180 puede colocarse dispositivo de lubricación. La grasa UNIREX N3 es multigrado, según DIN 51825 (las alternativas deben ser de grado K3N).

- 1) En condiciones de uso y grasas especiales se debe consultar la duración del lubricante ó el tiempo de engrase.
- 2) Por cada 10 °C de aumento en la temperatura del medio refrigerante se reduce la vida útil de la grasa ó el período de reengrase a la mitad.

Greasing type	Frame Size	Poles	Grease life (Up to CT40°C)
Permanent lubrication	80 - 160	2	20000 hours
		4,6	20000 or 40000 hours
Greasing type	Frame Size	Poles	Republication Interval (Up to CT40°C)
Regreasing Intervals	180 - 280	2	4000 hours
		4,6	8000 hours
	315	2	3000 hours
		4,6	5000 hours
	355	2	2000 hours
		4,6	4000 hours

En el caso que las condiciones del lugar de instalación difieran de las normales (1000 m.s.n.m. y 40° C del medio refrigerante) la corrección del valor de potencia se podrá efectuar con la siguiente tabla:

Corrección por altitud y temperatura

Altitud sobre nivel del mar en m	Temperatura del medio refrigerante en ° C					
	<30	30 - 40	45	50	55	60
1000	1,07	1,00	0,96	0,92	0,87	0,82
1500	1,04	0,97	0,93	0,89	0,84	0,79
2000	1,00	0,94	0,90	0,86	0,82	0,77
2500	0,96	0,90	0,86	0,83	0,78	0,74
3000	0,92	0,86	0,82	0,79	0,75	0,70
3500	0,88	0,82	0,79	0,75	0,71	0,67
4000	0,82	0,77	0,74	0,71	0,67	0,63

Todos los motores estándar SIEMENS son aislamiento clase "F", utilizados hasta el límite de la clase "B" (sobreelevación propia de temperatura nunca supera los 80 °C).

El aislamiento SIEMENS de alta tecnología tiene una reserva que permite operar el motor lejos del límite térmico y sin estrés.

Con este grado de aislamiento (F/B), los motores estándar SIEMENS accionados en forma directa a la red poseen un factor de servicio igual a 1,1 en 50Hz.

Esto quiere decir que pueden operar con una sobrecarga permanente del 10% en operación directa (sin consulta previa). Para operación con convertidor, consultar.

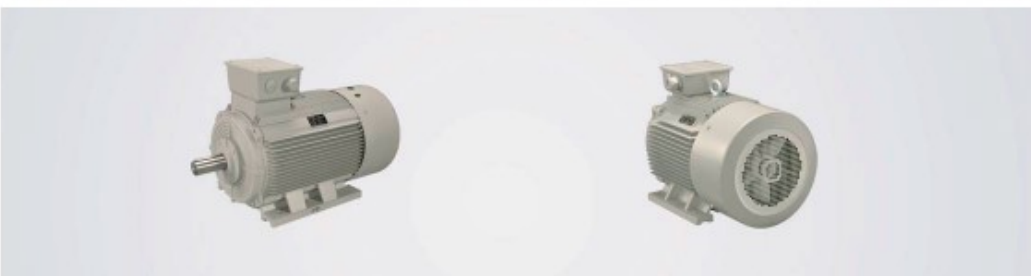
Datos técnicos - Tabla de selección



Factor de servicio de los Motores (SF) = 1,10, por ser utilizado el aislamiento Clase F hasta el Límite Térmico de la Clase B

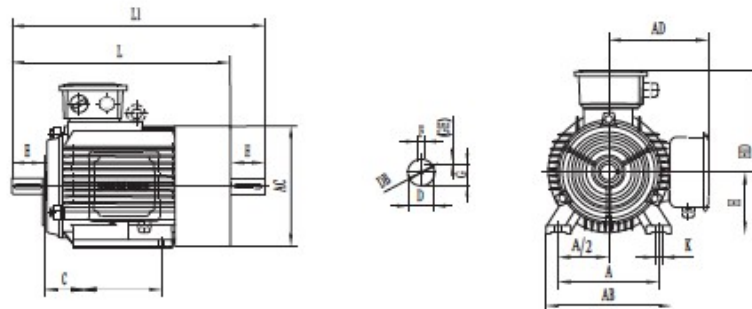
Motores 1 LGO (2 polos)

Potencia Nominal	Eficiencia valores de servicio a la potencia nominal															
			Motor		Eficiencia		Velocidad		Rendimiento		Par de arranque		Inertancia Arranque en veces de la I nominal	Par máximo en veces del par nominal	Momento de Inercia Jkgm ²	Peso neto aprox. kg. D
CV	KW	Tamaño EC (2 polos)	tipo	s/CEMEP Clase EFF	nominal rpm	Plena carga %	% carga	Factor de Potencia Cos Phi	Intensidad Nominal A	Par Nominal Nm	en veces del par nominal					
1.0	0.75	80 M	1LGD 080 - 2AA20	2	2845	76.0	75.1	0.83	1.81	2.5	2.3	6.1	2.7	0.0008	14	
1.5	1.1	80 M	1LGD 083 - 2AA20	2	2840	77.4	80.0	0.84	2.6	3.7	2.3	7.0	2.5	0.0009	15	
2.0	1.5	90 L	1LGD 090 - 2AA20	2	2840	79.0	79.2	0.84	3.4	5	2.3	6.9	2.3	0.0012	22	
3.0	2.2	90 L	1LGD 095 - 2AA20	2	2840	81.1	81.8	0.85	4.9	7.4	2.3	6.9	2.8	0.0014	24	
4.0	3.0	100 L	1LGD 106 - 2AA20	2	2860	83.0	83.2	0.88	6.3	10	2.3	6.9	2.8	0.0039	33	
380/660 V 50 Hz																
5.5	4.0	112 M	1LGD 113 - 2AA70	2	2880	85.0	85.8	0.88	8.1	13.3	2.3	7.2	2.8	0.0055	38	
7.5	5.5	132 S	1LGD 130 - 2AA70	2	2900	86.0	87.1	0.88	11	18.1	2.3	7.5	2.8	0.0109	58	
10.0	7.5	132 S	1LGD 131 - 2AA70	2	2900	87.0	88.7	0.88	14.9	24.7	2.3	7.4	2.8	0.013	63	
15.0	11.0	160 M	1LGD 163 - 2AA70	2	2930	88.4	88.6	0.89	21.2	35.9	2.5	7.5	2.6	0.038	105	
20.0	15.0	160 M	1LGD 164 - 2AA70	2	2930	89.4	90.0	0.89	28.6	48.9	2.5	7.3	2.9	0.045	115	
25.0	18.5	160 L	1LGD 166 - 2AA70	2	2930	91.0	91.0	0.90	34.3	60.3	2.5	7.2	2.8	0.055	128	
30.0	22.0	180 M	1LGD 183 - 2AA70	2	2940	91.2	90.2	0.89	41.2	71.5	2.3	7.5	2.9	0.075	165	
40.0	30.0	200 L	1LGD 206 - 2AA70	2	2950	91.4	91.2	0.90	55.4	97.1	2.2	6.9	2.9	0.124	225	
50.0	37.0	200 L	1LGD 207 - 2AA70	2	2950	92.0	92.2	0.90	67.9	120	2.3	7.1	2.9	0.139	246	
60.0	45.0	225 M	1LGD 223 - 2AA70	2	2960	92.5	92.6	0.90	82.1	145	2.5	7.3	2.9	0.233	296	
75.0	55.0	250 M	1LGD 253 - 2AB70	2	2965	93.0	92.8	0.90	100	177	2.5	7.5	2.9	0.312	390	
100.0	75.0	280 S	1LGD 280 - 2AB70	2	2970	93.6	93.0	0.90	135	241	2.3	7.5	2.9	0.597	504	
125.0	90.0	280 M	1LGD 283 - 2AB70	2	2970	93.9	93.7	0.91	160	289	2.0	7.5	2.3	0.675	536	
150.0	110.0	315 S	1LGD 310 - 2AC70	2	2975	94.0	93.2	0.91	195	353	1.8	7.1	2.2	1.18	865	
180.0	132.0	315 M	1LGD 313 - 2AC70	2	2975	94.5	93.9	0.91	233	424	1.8	7.1	2.2	1.55	960	
220.0	160.0	315 L	1LGD 316 - 2AC70	2	2975	94.6	94.0	0.92	279	514	1.9	7.0	2.5	1.76	1.035	
270.0	200.0	315 L	1LGD 317 - 2AC70	2	2975	94.8	94.9	0.92	348	642	1.8	7.1	2.2	2.02	1.160	
300.0	220.0	355 M	1LGD 353 - 2AC70	2	2987	94.8	94.8	0.92	383	703	1.4	7.1	2.2	3.02	1545	
340.0	250.0	355 M	1LGD 354 - 2AC70	2	2987	95.2	94.9	0.90	444	799	1.4	7.1	2.2	3.56	1650	
380.0	280.0	355 L	1LGD 356 - 2AC70	2	2987	95.2	95.1	0.90	497	895	1.4	7.1	2.2	3.84	1660	
430.0	315.0	355 L	1LGD 357 - 2AC70	2	2987	95.4	95.4	0.90	558	1007	1.4	7.1	2.2	4.16	1790	

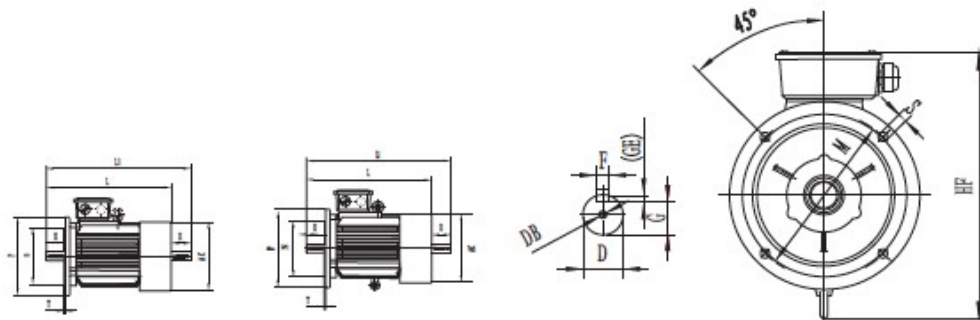


Facilidades de instalación y montaje

Ejecución Básica IMB3



Ejecución con Brida IMB5-IMV1



Formas constructivas - según IEC-

Con patas



IMB3

IMB6

IMB7

IMB8

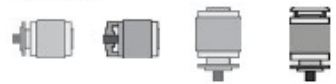
Con patas y brida



IMB35

IMB34

Con brida



IMB5

IMB14

IMV1

IMV1 c/techo

Ejecuciones Habituales:

Con patas:

IMB3, IMB6, IMB7, IMB8

Con patas y brida:

IMB35, IMB34

Con brida sin patas:

IMB5, IMB14, IMV1, IMV1 c/techo

Por otras consultar!

Planta Siemens en China

Siemens Standard Motors Ltd.,
Yizheng

El liderazgo que tiene SIEMENS a nivel mundial en los motores eléctricos asincrónicos trifásicos de baja tensión, fue impulsado gracias al desarrollo del negocio en los distintos países.

En este contexto, marcando una vez más la diferencia, en el año 2006 SIEMENS creó su propia fábrica; Siemens Standard Motors Ltd. (SSML), Yizheng, China, logrando así la producción de un producto de excelencia con todas las exigencias del líder mundial de motores en el mercado del futuro.

Así se desarrolla en SSML la línea completa 1LGO de alto rendimiento en carcasa de Fundición de Hierro, según Norma IEC 60034. Certificada con ISO 9001 (IQNet CERTIFICATE), esta Planta posee una superficie de 125.000 m², de los cuales 45.000 corresponden al sector de producción.

En ella trabajan aproximadamente más de 1.500 empleados y la producción anual ronda aproximadamente 1.000.000 de unidades.

Seguridad eléctrica

Resolución 92/98



Nada está demasiado lejos para nosotros

TALLERES MOTORISTAS AUTORIZADOS

BUENOS AIRES

Susycar SCA
Responsable: Rubén D'Ambrosio
Tel: (011) 4642-4723 / 2233
Dirección: Patrón 6974
(1408) Cap. Fed.
E-Mail: susycar@ciudad.com.ar

Motec
Responsable: Remo Marcovecchio
Tel: (011) 4730 2121 / 2122
Dirección: A. Alsina 3326
(B1602AMD) Florida
E-Mail: info@motec.com.ar
Web: http://motec.com.ar

ElectroAmsa
Responsable: Raúl Amodeo
Tel: (291) 457-3122
Dirección: Mazavello 3560
(8000) Bahía Blanca
E-Mail: electroamsa@electroamsa.com
Web: http://www.electroamsa.com

Vignolo
Responsable: Aldo Vignolo
Tel: (011) 4362-4504
Dirección: Ministro Brín 969
(C1158AAK) Cap. Fed.
E-Mail: vignolo@vignolo.com.ar

CORDOBA

Tauro electromecánica
Responsable: Javier Contreras
Tel: (0351) 465-4007
Dirección: Luis Agote 2941
(X5010GNA) Córdoba
E-Mail: tauroelectromecanica@amet.com.ar

Electro Mar
Responsable: Mario Martín
Tel: (0351) 455-9210
Dirección: Agustín Garzón 2644
(X5010GNA) Córdoba
E-Mail: consultas@electromar.com.ar
Web: www.electromar.com.ar

MENDOZA

Inelco S.R.L.
Responsable: Sergio Vuanello
Tel: (2 627) 426 323
Dirección: Sarmiento 830
(5600) San Rafael
E-Mail: inelcosrl@inelcosrl.com.ar
Web: www.inelcosrl.com.ar

NEUQUÉN

Taller Dima S.R.L.
Responsable: Eduardo Rosomano
Tel: (0299) 447 3176
Dirección: San Martín 1923
(8300) Neuquén
E-Mail: dimaservicios@speedy.com.ar

SALTA

AF Ingeniería
Responsable: Felipe Flores
Tel: (0387) 431 5733 / 422 0634
Dirección: Av. Arjón 2019
(A4404ABQ) Salta
E-Mail: ventas@af-ingenieria.com.ar
administracion@af-ingenieria.com.ar

SANTA FE

Q.H. Ingeniería y servicios S.R.L.
Responsable: Marcelo Mauro
Tel: (341) 4615505
Dirección: Av. Arjón 3290
(2010) Rosario
E-Mail: qhingenieria@amet.com.ar

TUCUMAN

Merkuza Servicios Electromecánicos
Responsable: Andrés Senczyne
Dirección: 12 de Octubre 845/851
San Miguel de Tucumán
Tel: (0381) 423 7474
E-Mail: reparacion@emerkuza.com.ar
Web: www.emerkuza.com.ar

SIEMENS Customer Support
E-Mail: customer.support.ar@siemens.com

Direcciones de Siemens Argentina - Industry Sector

Buenos Aires
Julián Segundo Agüero N° 2830
Complejo Empresarial Urbana
81605EBQ - Munro
Partido Vicente López
Provincia de Buenos Aires
Teléfono Consultador:
54 11 5432-6000
Fax Corporativo: 54 11 5432-6100
contacto-industria.ar@siemens.com

Región Litoral
Rosario:
Ricchieri 750
(52002LPI) Rosario
Teléfono: 54 341 437-0321-0333

Región Norte
Chaco
Antonio Frondizi 985 P. 1 B
(H3504ETD) Resistencia - Chaco

Tucumán
Walter Acosta
Celular: 54 381 15-516-2260
waltacacosta@siemens.com

Ulises Solorzano
Celular: 54 381 15-442-2148
ulises.solorzano@siemens.com

Región Centro
Escuderie Ilija 358
(X5000ASQ) Córdoba
Teléfono y Fax: 54 351 427-6700

Mendoza
San Martín 988 Pto 1
(esp. Rivadavia)
(M5500ELUJ) Mendoza
Teléfono: 54 261 405-5900
Fax: 54 261 465-5900 (opción 3)

Región Mar del Plata
Neuquén 3347
(B1602ASQ) Mar del Plata
Teléfono: 54 223 473-5091
Fax: 54 223 473-7306

Región Sur
Bahía Blanca
Belgrano N° 133
Pto 1 Oficina 3
(B8000UK) Bahía Blanca
Tel. 54 291 4556141
Fax: 54 291 4556171

Neuquén
Carman de Patagonias 125
(Q8302HBI) Neuquén
Teléfono y Fax: 54 299 443-8619

Comodoro Rivadavia
Luis Clarantini
Celular: 54 297 15-435-1664
luis.clarantini@siemens.com



The company

Founded in 1996, OTEC has quickly established itself as the market's technology leader by developing new machine concepts, inventions and improvements. OTEC supplies machines which are carefully tailored to the needs of specific industries and which are truly impressive in terms of cost-effectiveness, handling and precision and which are far superior to conventional systems. Some 100 members of staff are employed at the company's headquarters in Southern Germany. A global sales network ensures that excellent worldwide service and top-quality finishing are always guaranteed.



PERFECT SURFACES WITH MEDIA FROM OTEC

Precision finish

OTEC CF SERIES

Disc finishing machines with mobile universal separating unit which quickly separates the workpieces from the media in accordance with individually adjustable parameters.



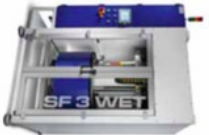
OTEC DF SERIES

Drum finishing machines for finishing tools - with up to 17 clamping devices for tool holders.



OTEC SF SERIES

Stream Finish Unit for better, more selective mass finishing. Absolutely perfect for complex geometries.



OTEC PrecisionFinish GmbH | Dieselstraße 8-12 | 73534 Straubenhardt-Eldersheim 1 Germany
Telephone +49 7082 4911-20 | Fax +49 7082 4911-29 | Email: info@otec.de | www.otec-online.com

01/14



MEDIA FOR PERFECT SURFACES

The benefits

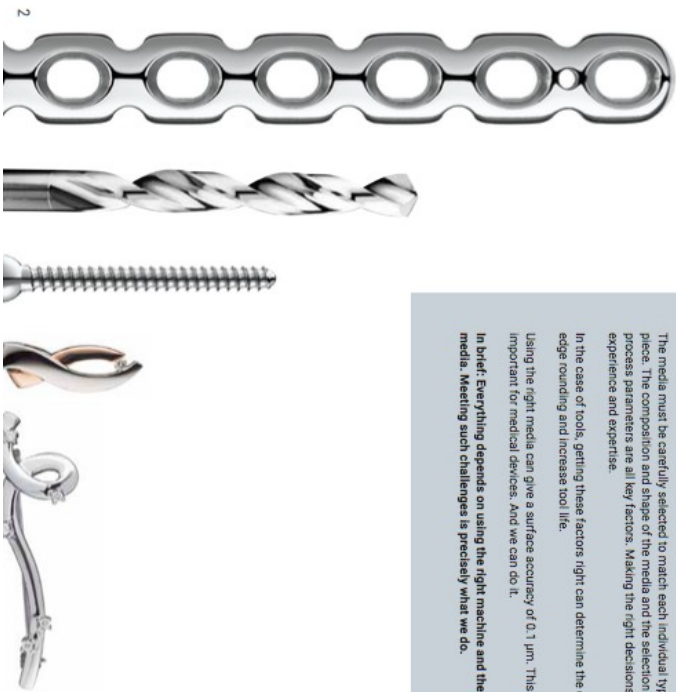
The quality of any given surface depends on choosing the right combination of machine and process media.

The media must be carefully selected to match each individual type of work-piece. The composition and shape of the media and the selection of suitable process parameters are all key factors. Making the right decisions demands experience and expertise.

In the case of tools, getting these factors right can determine the quality of edge rounding and increase tool life.

Using the right media can give a surface accuracy of 0.1 µm. This is extremely important for medical devices. And we can do it.

In brief: Everything depends on using the right machine and the right media. Meeting such challenges is precisely what we do.



PLASTIC GRINDING CHIP

Plastic bonded grinding chips featuring

- ▶ low density
- ▶ soft base material

Area of application: mainly for grinding and polishing non-ferrous metals

Type	Color	Finish	Shape
M*	pale green	fine grinding and polishing, good rates of stock removal, gives very smooth surfaces	K Cone size a/b 6, 10, 12 P Pyramid size a/b 10, 12, 15
X*	white	from fine grinding to polishing, specially for the jewelry industry	10, 12 10, 12, 15
A	red	medium performance grinding, medium roughness	10, 12 6, 10
O	blue	high performance grinding, medium roughness	10, 12 10, 12
T	purple	very high performance grinding, rough surface finish	10, 12 10, 12

Further sizes and qualities on request. Ordering example: Shape X, Size 10 mm => KX10
* Suitable for grinding zirconia jewelry



CERAMIC ABRASIVES

Ceramic bonded abrasive featuring

- ▶ high density
- ▶ hard base material

Area of application: mainly for grinding steel alloys



Type	Finish	Shape				
		D Triangle size a/b mm	S Triangle (diagonal cut) size a/b mm	E Ellipse size a/b mm	ZS Cylinder** (diagonal cut) size a/b mm	OZ Pyramid size a/b mm
P	polishing	-	-	-	1/3, 2/2, 2/5, 3/5, 4/4, 4/4, 5/5, 6/6, 7/7, 10/10, 10/10 SK*	3/3 SK* 4/4 SK* 5/5 SK* 10/10 SK*
M	medium abrasive	6/6, 8/8, 13/13	-	-	6/13	6/6
S	highly abrasive	3/5, 6/6, 6/10, 10/6, 10/10, 13/13	3/10, 4/10, 6/10	-	2/5, 3/5, 3/10, 4/10, 6/13, 8/15, 7/15	4/4, 6/6, 10/10
BBS	very highly abrasive, coarse finish	6/6	-	-	-	-
SF	very highly abrasive, fine finish	4/4, 6/6, 10/6, 10/10	-	15/15,6	-	-

Further sizes and qualities on request * very sharp edged ** also available in straight cut

STAINLESS STEEL MEDIA

No material is removed during finishing, only smoothing and hardening take place.
Material: 1.4301, AISI 304
Area of application: polishing, mirror-finish polishing and pressure deburring of non-ferrous metals

Type	Properties	Size
Spherical	polishing, descaling	2.4, 3.2, 4.0 mm
Satellites	polishing, descaling	S&T 3/15 mm
Pins	rounded pins very good polishing for use in magnetic polishers	0.3 x 5.0 mm 0.4 x 7.0 mm

Further sizes on request



SPHERICAL ZIRCONIA

No material is removed during finishing, only smoothing and hardening take place.
Material: zirconia
Area of application: polishing, mirror-finish polishing and pressure deburring of non-ferrous and ferrous metals

Type	Properties	Size
G-Zr	Very hard and therefore very long-lasting. Especially recommended for use in vibrators (in the jewelry industry).	0.8 - 1.0 mm 1.2 - 1.4 mm 2.0 - 2.5 mm

Further sizes on request



MICROFINISHING MEDIA

Fine-grain ceramic media in sintered ceramic featuring
▶ very high density
▶ wear resistant
Area of application: polishing and fine grinding of workpieces in hardened steel

Type	Grinding effect	Surface	Size
KKMA 16	low	low roughness	1.7 - 2.4 mm
KKMA 20	low	low roughness	1.3 - 1.8 mm
KKMA 24	low	low roughness	0.8 - 1.4 mm



WET GRINDING PASTE

Increases the abrasive effect of all types of grinding media.
Also for roughening blunt grinding media.

Type	Grinding effect	Surface	Application / material
SP 62	high rate of stock removal	medium roughness	metals, SP process

COMPOUNDS

During the mass finishing process, compounds ensure clean, bright and corrosion-free workpieces.
For workpieces which are sensitive to impact, the compound acts as a foam buffer between the
workpiece and the abrasive media.


Type	Area of application	Description	pH value	Dosage	Deburring	Grinding	Polishing	Anti-corrosive	Suitable for centrifuges	Suitable for microfiltration
SC 3	wet polishing	for soft alloys, brightening, suitable for stainless steel shot and zirconia beads	4.5	1-5%	X	X			X	
SC 4*	universal for wet grinding and wet polishing	high foaming for all non-ferrous metals, suitable for magnetic polishers	3	1-5%		X				
SC 5*	fine grinding, wet polishing	good foaming properties** brightening, for all precious and non-ferrous metals	6	3-5%	X	X	X			
SC 6	wet grinding	good foaming properties, suitable for microfiltration	7.5	1-5%	X	X	X		X	
SC 13	wet grinding	universal compound for all ferrous and non-ferrous metals, with anti-corrosive	8	1-5%	X	X	X			
SC 15	specialty for closed loop centrifuges	universal compound (especially for ferrous metals), with anti-corrosive, low foaming	9.5	1-5%	X	X	X		X	
SC 21	wet grinding, (specially suitable for ultrafiltration units)	universal compound with very good foaming properties, brightening for all metals	7.5	1-5%	X	X	X		X	
SC 23	wet grinding	suitable for microfiltration, good cleaning anti-corrosive properties	9	1-5%	X	X	X		X	
SC 25	wet grinding	for non-ferrous metals (especially aluminum), brightening	5	1-5%	X	X	X			
SC 26	wet grinding, wet polishing	for all non-ferrous metals and precious metals, low foaming, anti-corrosive	9	1-5%	X	X	X			
SC 37	wet grinding	universal compound for all ferrous and non-ferrous metals, very low foaming, anti-corrosive, suitable for closed-loop centrifuges; contains flocculant for faster sedimentation of the process sludge	9	1-5%	X	X	X		X	
LC 12	ultrasonic cleaning	precious metals, non-ferrous metals, stainless steel, aluminum, anti-tarnishing for non-ferrous metals	4.5	3-5%	X	X	X			

* available in various concentrations

** specially for the jewelry industry

PLASTIC POLISHING CHIPS

These are used for the dry polishing of jewelry. The consistency of their geometry prevents dust from forming, a crucial factor in this area of application. Area of application: jewelry industry, especially suitable for silver jewelry, highly recommended for hollow items, lobster clasps and curb chains.

Type / quality	Color	Grinding effect	Surface	Shape
LFP 3	white	fine polishing	high shine	 3.0 mm



DRY GRANULATE TZ

Defined-shape granules in polyethylene with SiC added as abrasive. Area of application: preferred for the edge rounding of cutting tools used with a cooling lubricant.

Type	Grinding effect	Surface	Remarks	Shape
TZM	medium	medium rough	The granulates do not break, keep their shape and are self-sharpening	
TZMS	intense	rough		2/3 mm, 4/5 mm
TZS	very intense	very rough		4/5 mm



HSC GRANULATE

Gives very high quality surfaces, e.g. Rz 0.5 (previously Rz 2.5)
 Areas of application:
 ▶ only for use in DF and SF machines
 ▶ for finishing HSS and carbide tools
 ▶ polishing coated tools and removing droplets
 ▶ smoothing and polishing carbide tools
 ▶ edge rounding of carbide tools up to a maximum of 15 – 20 µm
 ▶ removing scablar residues
 e.g. HSC 1/300, HSC 1/500

QZ W GRANULATE

Abrasive granulate in aluminum oxide, used mainly for the edge rounding of carbide tools.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
QZ 0.5 W	0.5 mm	for edge rounding up to a max. of 15 µm	low roughness
QZ 1.2 W	1.0 - 2.0 mm	for edge rounding up to a max. of 30 µm	low roughness
QZ 1.3 W	1.0 - 3.0 mm	for edge rounding over 30 µm	low roughness



WALNUT SHELL GRANULATE H 1 IMPREGNATED WITH POLISHING PASTE

This granulate is impregnated with a polishing paste so that no polishing paste needs to be added for the first 3 - 4 batches.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
H 1/30	4.0 - 6.0 mm	mirror-finish polishing of non-ferrous metals, jewelry, titanium, steel alloys	very smooth surface
H 1/50	2.4 - 4.0 mm		
H 1/100	1.7 - 2.4 mm		
H 1/200	1.3 - 1.7 mm		
H 1/300	0.8 - 1.3 mm		
H 1/400	0.4 - 0.8 mm		
H 1/500	0.2 - 0.4 mm		



WALNUT SHELL GRANULATE H 2 IMPREGNATED WITH GRINDING PASTE

This granulate is impregnated with a grinding paste so that no grinding paste needs to be added for the first 3 - 4 batches.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
H 2/30	4.0 - 6.0 mm	fine grinding, deburring of stamped parts	smooth surface
H 2/50	2.4 - 4.0 mm	removing scale, reducing orange peel effect	
H 2/100	1.7 - 2.4 mm		
H 2/200	1.3 - 1.7 mm		
H 2/300	0.8 - 1.3 mm		



WALNUT SHELL GRANULATE H 3 IMPREGNATED WITH PP 01 POLISHING POWDER

This granulate is impregnated with a special polishing paste so that no polishing additive needs to be added for the first 3 - 4 batches.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
H 3/400	0.4 - 0.8 mm	carbide, ceramics	smoothing, edge, rounding up to 10 µm, polishing tools



WALNUT SHELL GRANULATE H 4 IMPREGNATED WITH PP 02 POLISHING POWDER

This granulate is impregnated with a special polishing paste so that no polishing additive needs to be added for the first 3 - 4 batches.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
H 4/400	0.4 - 0.8 mm	carbide, ceramics	as H 3/300 but better shine, best polishing results for carbide metals, suitable for removal of pits

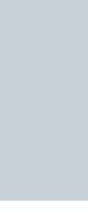


Walnut shell granulates can also be supplied unimpregnated (walnut shell granulate H 0). This granulate must be impregnated with a grinding or polishing paste before first use.
Dosage: 2 - 3 teaspoons per 5 kg of walnut shell granulate.

CORN GRANULATE M 4 IMPREGNATED WITH PP 02 POLISHING POWDER

This granulate is impregnated with a special polishing paste so that no polishing additive needs to be added for the first 3 - 4 batches.

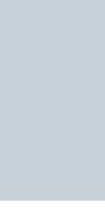
Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
M 4/300	0.8 - 1.3 mm	medical devices, e.g. implants, motor racing, e.g. cylinder surfaces	very soft polishing granulate gives very smooth, mirror-finish surfaces



CORN GRANULATE M 5 IMPREGNATED WITH PP 04 POLISHING POWDER

This granulate is impregnated with a special polishing paste so that no polishing additive needs to be added for the first 3 - 4 batches.

Type	Grain size	Typical use	Properties / surface
M 5/300	0.8 - 1.3 mm	medical devices, e.g. implants, motor racing, e.g. cylinder surfaces, watches, precision engineering	especially suitable for mirror-finish, scratch-free surfaces, absolutely the best surfaces possible



DRY GRINDING PASTE

These dry grinding pastes are mainly used in conjunction with H 21... and M 21... granulates in the dry finishing process. The rates of stock removal are considerably lower than with wet grinding media.

Type	Grinding effect	Surface	Application / material	Properties
SP 15	high rate of stock removal	very rough	steel	reducing of smaller burrs, smooth grinding to avoid orange peel effect
SP 26	medium rate of stock removal	medium tough	non-ferrous metals	

DRY POLISHING PASTE

These polishing pastes are mainly used in conjunction with H 17... and M 17... granulates in the dry finishing process. They give high quality surfaces. Since they mostly contain oil, they also give good protection against corrosion.



Type	Surface	Application / material	Properties
P 1	very smooth, very good shine	precious metals, brass	very liquid
P 2	smooth, best shine	gold, brass	
P 3	smooth, good shine	precious metals	withstands high temperature
P 6	smooth, very high shine	precious metals	odorless
P 10	smooth, best shine	silver	
P 16	smooth, good shine	steel alloys	for the pharmaceutical industry
P 28	maximum smoothness, very good shine	steel alloys, titanium	good anti-corrosive properties

POLISHING POWDER

These polishing powders are mainly used in conjunction with H 17... and M 17... granulates in the dry finishing process. They give high-quality, smooth surfaces with a very bright finish. Polishing powders are always used together with a grinding oil or grinding grease such as HL 11 or HL 7.

Type	Surface	Application / material	Properties
M 10	smooth, best shine	precious metals, brass	
M 18	very smooth, very good shine	steel, titanium	Polishing steel parts e.g. tool chucks
M 21	very smooth, very good shine	non-ferrous metals	
PP 01	smooth, good shine	ceramic, carbide metals	
PP 02	smooth, very high shine	ceramic, carbide metals, CoCr	Polishing implants
PP 04	maximum smoothness, very good shine	ceramic, carbide metal, CoCr	Polishing implants

GRINDING OILS

Adhesive oils are used in conjunction with H... and M... granulates and polishing powders. The adhesive oil creates a bond between the media substrate and the polishing powder. Adhesive oils are also suitable for recharging dried-out granulate and for binding dust particles, e.g. when using HSC granulates.

- HL 6: Biological adhesive oil
- HL 7: Biological adhesive grease. Liquid from 45°C, withstands heat better than HL 6. Specially suitable for use in drag finishing machines.
- HL 11: Mineral adhesive oil

