

# **Influencia de la tasa de calentamiento en las propiedades mecánicas de piezas de alúmina, obtenidas por impresión 3D mediante la técnica *fused filament fabrication* con filamento compuesto**

## **Estudio de matriz apropiada para el filamento**

Camila Andrea Avila Castellanos

Presentado a

Ing. Johanna Esguerra Arce

### **Resumen**

La utilización de filamentos compuestos para la fabricación aditiva es una técnica que gracias a su accesibilidad y costo hacen que la impresión de piezas con baja capacidad de impresión por otras técnicas, sean mucho más fáciles de procesar. A continuación se muestra el procesamiento de polvo de alúmina mezclado con polvo de TPU y una homogenización con pellets de EVA, lo que se obtuvo como resultado dos tipos de filamentos; el filamento compuesto de TPU y Alúmina tuvo un comportamiento rígido que al momento de imprimir no obtuvo las suficientes propiedades de flexibilidad para poder fluir en la impresora por lo que fue necesario agregar ácido esteárico pero aun así no fue suficiente, mientras que el filamento compuesto de EVA y Alúmina al lograr la mezcla con la adición del ácido esteárico se encontró la apariencia y las características de flexibilidad, no obstante se agregó más cantidad de alúmina al obtener un filamento más elástico de lo deseado por lo que los rodillos de la impresora no lograban empujarlo.

### **Introducción**

La alúmina en la industria tiene usos muy amplios, pero una de las aplicaciones más comunes es para la fabricación de componentes cerámicos, en especial para el sector biomédico debido a la biocompatibilidad que tiene la alúmina con el cuerpo humano, lo que garantiza esto es su alta resistencia mecánica, bajos coeficientes de fricción y desgaste y su naturaleza inerte, que lo hace químicamente estable en ambientes fisiológicos. La industria utiliza el proceso Bayer para producir alúmina a partir de bauxita y el resultado es un polvo blanco de alúmina pura. Una de las nuevas técnicas para la transformación del polvo en un filamento que sea capaz de tener propiedades del material base que en este caso es la alúmina con propiedades de buena impresión que se hacen a través de la producción de filamentos compuestos por la extrusión de polvos o pellets que gracias a un tornillo sin fin viajan a una boquilla que funde el material lo compacta en una larga tira de la mezcla de estos dos materiales que es capaz de producir piezas a través de la manufactura aditiva, la cual consiste en formar la pieza final por medio de capas. En la técnica *fused filament fabrication* la impresión toma un filamento del material y hace que este comienza a fluir por medio del aumento de la temperatura en la boquilla [1]. El diseño de la pieza se hace a través del diseño asistido por computadora (CAD) con programas como: Solidworks, Fusion 360, Tinker Cad, entre otros. Para usar esta técnica de impresión hay que tener presente la fluencia del material y el comportamiento con

temperaturas de alrededor de los 200°C, de esta manera solo tratar filamento de alúmina sería imposible por su fragilidad [2]. Para el procesamiento de la alúmina se escogieron tres materiales de soporte el TPU (poliuretano termoplástico) el cual es un polímero elastomérico lineal y, por ello, termoplástico, que tiene excelente comportamiento al ser impreso, el EVA (Etileno Vinil Acetato) un copolímero del etileno y el acetato de vinilo, y el PEBD (polietileno de baja densidad) un polímero olefinico, termoplástico que entre sus características esta la resistencia térmica y química. Hay que tener en cuenta que, al ser un filamento compuesto, variables de impresión como temperatura de boquilla y cama deben ser modificadas además de la velocidad de la boquilla en comparación de la impresión del EVA y el TPU solos. Luego de tener la pieza final, se debe quitar el polímero y esto se hace de dos maneras, la primera es por medio de un solvente químico que se encarga de evaporar el polímero y retirar la mayor cantidad de la pieza y la otra forma es aumentando la temperatura, de tal manera que la degradación del polímero comience a ocurrir. En cada una de las fases de la mezcla y pieza final es importante conocer tanto la composición del material como la microestructura presente, características que son estudiadas y analizadas a través de técnicas de caracterización de materiales como SEM [4], que analiza la morfología del material en términos de porcentaje y métodos de análisis térmico como DSC y TGA, las cuales determina el cambio de las propiedades físicas de los compuestos químicos y materiales en función de la temperatura o el tiempo[7]. Además de analizar la composición del material es importante analizar las propiedades de la alúmina después de los procesos realizados para la eliminación del polímero por lo que, para medir la resistencia a la tensión y compresión, se usan pruebas destructivas en probetas que arrojen información de la resistencia del material.

En este estudio se estudiaron distintos materiales para elegir el apropiado como matriz del filamento de alúmina para impresión por *fused filament fabrication*.

## **Marco teórico**

### *Fabricación aditiva*

La fabricación aditiva es uno de los pilares de la cuarta revolución industrial, Industria 4.0. Esta tecnología permite convertir modelos digitales en objetos sólidos 3D sin necesidad de moldes o herramientas de ningún tipo. A diferencia de los procesos en los que se extrae material de la pieza, la fabricación aditiva no genera desperdicios por lo que es mucho más eficiente y no contamina el medio ambiente, además de beneficios en términos de velocidad, precisión y, en ocasiones, ahorro de costos.

Esta técnica consiste en la adición de capas de materiales, ya sean de plástico, metal o material cerámico. Si bien el uso actual de la fabricación aditiva ha revolucionado muchas áreas diferentes, su potencial futuro en ciertos sectores, como la industria de la salud, en la fabricación de bioelementos que son capaces de interactuar con el cuerpo humano [9].

Hay varias tecnologías de impresión 3D disponibles y se diferencian principalmente en la forma en que se utilizan las diferentes capas para crear las piezas. Algunos utilizan métodos para fundir materiales y formar capas, como SLS (Sinterización selectiva por láser) o FDM (Modelado por deposición fundida), mientras que otros depositan materiales líquidos que se solidifican utilizando diferentes técnicas [8]. Entre los métodos más utilizados, cabe destacar los siguientes:

Impresión por inyección: En este método, la impresora crea un modelo de capa extendiendo una capa de la sección de la pieza. Este proceso se repite hasta que se han impreso todas las capas y es el único que permite imprimir un prototipo a color.

Modelado por deposición fundida (FDM): Este método deposita material fundido sobre una estructura capa por capa, que luego se ensambla con láser para solidificar. Este método también incluye síntesis láser de metales o DMLS.

Estereolitografía (SLA): El grabado o SLA es una técnica que utiliza resinas de fotopolímero líquidas para endurecerse mediante la luz emitida por un láser ultravioleta. De esta forma, se crean capas de plástico duro hasta que se le da forma al objeto.

Tratamiento UV: En este caso, la fotosíntesis generadora de luz ultravioleta, o SGC, utiliza un recipiente de polímero líquido que se ilumina con la luz de un proyector en determinadas condiciones. De esta manera, el polímero se solidifica a medida que la placa de montaje se mueve poco a poco para formar diferentes capas a medida que el polímero se solidifica.

Sinterización por láser selectiva (SLS): En este método, los objetos 3D se crean utilizando bloques de gel y láseres. Es decir, el gel se congela en las áreas donde se enfoca con el láser debido al proceso no lineal excitado ópticamente. Después de eso, el gel restante se limpia.[10]

Ya que en este trabajo evaluarán materiales para filamento para la técnica con filamento fundido, a continuación, se ahondará en ella.

#### *Fabricación con filamento fundido (FFF Fused Filament Fabrication)*

El Modelado por Deposición Fundida (FDM), o *Fused Filament Fabrication* (FFF) es un proceso de fabricación aditiva que deposita termoplásticos capa por capa para la fabricación de piezas generalmente con una geometría que es difícil de realizar por los métodos convencionales. La tecnología FFF produce objetos fuertes, duraderos y dimensionalmente estables con una precisión incomparable. Esto lo realiza a través de un filamento de un material que es suministrado por una bobina y cuando este llega a la terminal el filamento es calentado hasta fundirse y comenzar a solidificar y enfriar la pieza. [11]

Entre las muchas tecnologías de impresión 3D en el mercado, FFF es la más popular por varias razones. El *hardware* y el equipo son asequibles y requieren una baja inversión inicial, la amplia disponibilidad de materiales hace que la tecnología sea adecuada para una amplia gama de aplicaciones y mercados y los parámetros de diseño necesarios y el funcionamiento del dispositivo son muy sencillos, especialmente en comparación con otras tecnologías de impresión 3D, por lo que no se requiere un operador especializado ni una formación compleja.[12]

Algunos de los parámetros que caracterizan la impresión 3D con filamento son:

Relleno: El relleno se mide de 0% a 100%, 0% completamente vacío y 100% completamente lleno. La idea es reducir el tiempo y los materiales haciendo la impresión mucho más eficiente, manteniendo las propiedades mecánicas. A medida que aumenta la relación, también aumenta la resistencia del diseño.

La velocidad de impresión es lo rápido que imprime. Esta velocidad depende del material, el tamaño de la boquilla, la altura de la capa, etc. Ésta es la clave para obtener la máxima calidad de las piezas impresas. La velocidad de impresión tiene un impacto

importante en el tiempo. Para los modelos pequeños, apenas hay una diferencia entre las velocidades de impresión lenta y rápida, pero para los modelos más grandes, hace una diferencia notable.

La temperatura a la que se produce la impresión depende del tipo de material y la cantidad de material que pasa a través de la boquilla. Cada material tiene un punto de fusión teórico, pero la impresión 3D tiene un rango de temperaturas de fusión. Debido a este factor y a la presencia de aditivos para mejorar la experiencia de impresión, la temperatura del rango es mucho más alta que el punto de fusión del material.

Cabe resaltar que la formación de los filamentos es comúnmente elaborada a partir de polvos los cuales tienen la posibilidad de ser combinados lo que da lugar a los filamentos compuestos, estos son polvos en combinación (metal, polímero o cerámicos) que después de pasar por un proceso de extrusión forma una cadena larga del material. [13]

### *Debinding químico*

Después de la impresión y con el fin de lograr la eliminación de la matriz polimérica, se lleva a cabo la degradación química a través de sustancias como solventes, ácidos, bases, reactivos, etc. La reacción química producida entre los polímeros y estas sustancias llevan a la eliminación del polímero, en algunos casos ocurre la disolución completa (como la de poliestireno en benceno), pero comúnmente el líquido tiene solubilidad limitada en el polímero (acetona en el poliestireno) y ocasiona cambios de dimensiones y propiedades designados por hinchamiento. [14],[15]

### *Sinterización*

Por otro lado, la descomposición térmica del polímero se puede realizar calentando el material. La estabilidad térmica de un material plástico depende de dos mecanismos. El primero es un proceso reversible y muestra el ablandamiento del material al aumentar la temperatura. El alcance de este proceso depende solo de la temperatura. Sin embargo, la determinación del cambio de propiedad reversible incluye un factor temporal debido a la expansión del plástico, y el segundo factor es la descomposición térmica irreversible del material, que depende de la temperatura, el tiempo y la atmósfera.[16]

La sinterización es un proceso que consiste en calentar un material a altas temperaturas con un medio ambiente controlado que es suministrado por gases como el argón o el hidrogeno, sus principales beneficios son la producción a gran escala de piezas a bajo coste y bajo impacto ambiental en comparación con otras tecnologías actuales.

### *Alúmina*

La alúmina también llamada, óxido de aluminio cuya fórmula química está dada por  $Al_2O_3$  debido a su elevado punto de fusión, dureza y demás propiedades es considerada un material cerámico que es caracterizado por ser blanco, amorfo, inerte e inodoro. Su punto de fusión es de aproximadamente  $2054^{\circ}C$ , entre sus extensas aplicaciones se encuentra la fabricación de vidrios extremadamente resistentes hasta la fabricación de prótesis biomédicas que son capaces de interactuar con los tejidos humanos sin ocasionar ningún efecto adverso. Las piezas de alúmina son fabricadas a través de métodos de prensado, extrusión, colado e inyección de la alúmina en polvo, lo que produce una gran cantidad de desperdicio de material. [17]

### *Eva*

Es un copolímero conformado por varias cadenas de etileno y acetato de vinilo, su proceso de polimerización es similar al del polietileno, se conoce como copolímero debido a que en el proceso de polimerización del etileno se va agregando el acetato de vinilo. El EVA es conocido por su excelente procesabilidad, flexibilidad y alta compatibilidad. La presencia de grupos polares en su estructura mejora significativamente su comportamiento cohesivo y la adherencia a diferentes superficies. Cuanto mayor sea el contenido de acetato de vinilo, mayor será la adherencia.[3]

### *Acido Esteárico*

El ácido octadecanoico, mejor conocido como ácido esteárico, es un compuesto de color blancuzco, inoloro y sólido cuando se encuentra a temperatura ambiente. Presente en lípidos de origen animal y vegetal, este material tiene grandes ventajas en la industria ya que es caracterizado por ser tensioactivo y plastificante. El ácido esteárico se mezcla como aditivo lubricante junto al polvo metálico. La proporción de los lubricantes varía desde el 0,5% hasta el 5.0% en peso. Todo esto con el fin de mejorar las propiedades del polvo en términos de compactación. [18]

## **Materiales y métodos**

El principal material que se usó para la fabricación de los filamentos fue la alúmina en polvo, cerámico del cual se espera poder imprimir bajo la técnica de FFF. La apariencia de este es polvo de color blanco con un tamaño de partícula de 7 micrómetros y con una densidad teórica de 3,95 gramos/cm<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta que la alúmina es el material principal y el que se esperaba imprimir se usaron tres tipos de materiales como matriz, todos estos plásticos, gracias a su excelente comportamiento en la impresión FFF y propiedades reológicas. El primero que se probó fue el polvo de TPU, el cual presentaba un tamaño de partícula según el estudio de granulometría de 85.172 micrómetros con un color gris oscuro. (Ver imagen 1).

Además del uso del EVA en forma de pellets esféricos de color transparente y del polietileno de baja densidad que también venía en presentación de pellets esféricos.



*Imagen 1 Polvo de alúmina y polvo de TPU*

La relación volumétrica entre cada uno de los materiales poliméricos con la alúmina se expone en la tabla a continuación, teniendo en cuenta que las presentaciones fueron en pellets y polvo como se mencionó anteriormente.

Tabla 1 Composición de cada una de las mezclas

Polímero	Cantidad polímero (cm <sup>3</sup> )	Cantidad de alúmina (cm <sup>3</sup> )	Cantidad de ácido esteárico (cm <sup>3</sup> )
TPU	16,235	19,843	1,8039
PEBD	39,687	32,471	0
EVA (1)	17,257	21,046	3,788
EVA (2)	17,260	27,848	3,7832

El proceso de homogenización de la alúmina con cada uno de los dos materiales ensayados se dividió en dos, debido a la presentación de la materia prima de los polímeros, por un lado, el TPU se consiguió y procesó como polvo y así mismo la mezcla con la alúmina que venía en forma de granos pequeños. Para la homogenización de estos dos materiales se usó un recipiente con un motor en movimiento que permitía la mezcla de los dos materiales de una forma más rápida; la combinación de estos dos polvos tuvo una duración de aproximadamente una hora (Ver imagen 2). Por otro lado, para la homogenización del polvo de alúmina con los pellets de EVA fue necesaria la adecuación de una herramienta que permitiese la adherencia de la alúmina con el polvo, para esto se calentó a una temperatura de 120°C un recipiente de acero inoxidable que con la ayuda de un pistón giratorio permitía la integración de estos dos materiales. Al obtener la temperatura deseada se comenzó agregando el polímero y el ácido esteárico de modo que cuando este comenzara a cambiar su estado y pudiéndose mejorar la viscosidad del material. Luego de que esto sucediese se agregó la alúmina en polvo en pequeñas cantidades de modo que se observara mucho mejor la homogenización del polímero con la alúmina, hasta que se obtuvo una pasta del material que luego fue cortada en pequeños trozos en forma de pellets. (Ver imagen 3)

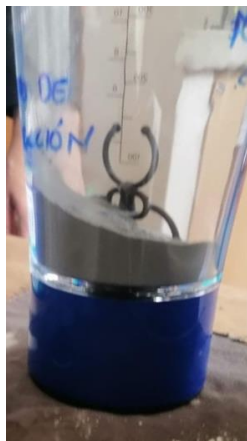


Imagen 2 Herramienta usada para la homogenización de polvos



*Imagen 3 Proceso de pelletización a partir de la herramienta fabricada*

Para los dos tipos de mezclas, tanto el polvo como los pellets, se usó una extrusora *Filament Extruder*, la cual para cada una de las dos formas de homogenización tuvo como resultado un filamento con un diámetro promedio de 1.75 mm, todo esto adecuando las variables de caída para evitar la disminución del diámetro deseado a través de un canal que permitiera la homogenización del diámetro en todo el filamento. Esta extrusora esta compuesta por un tornillo giratorio que permitía la llegada de los dos materiales a una boquilla que calentaba a un promedio de 175°C, obteniendo los dos tipos de filamentos compuestos.



*Imagen 4 Extrusora de filamento compuesto guiada por un tornillo sin fin*

La impresión 3D con la que se probó cada uno de los filamentos es una impresora Creality Ender 3® con tecnología de impresión FDM (Modelado por deposición fundida) la cual parte principalmente un filamento y es por esto por lo que para hacer esta mezcla de materiales se usa esta técnica, ya que es capaz de mezclar dos tipos de materiales en un filamento que gracias a los rodillos es empujado hacia la boquilla de la impresora que funde el material formando una especie de pasta que es capaz de ser moldeada según el diseño computarizado que se haya propuesto. (Ver imagen 5)



*Imagen 5 Impresora Ender*

### ***Ensayos de Caracterización***

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es una técnica usada para determinar cantidades térmicas, estudiar procesos térmicos, y caracterizar o simplemente comparar materiales, su funcionamiento se basa en la comparación de una muestra de una masa conocida o vacía, y la muestra del material a estudiar que posteriormente se la somete a calor o frío para luego analizar los cambios que se producen en su capacidad calorífica a medida que se modifica el flujo de calor. Dicha capacidad se define como el cociente entre energía calórica transferida a un cuerpo y el cambio de temperatura. El comportamiento de las curvas DSC puede ser de dos tipos: exotérmica el sistema está liberando calor y endotérmica que el sistema está absorbiendo energía.

DSC proporciona información sobre los efectos térmicos, que se caracterizan por cambios de entalpía e intervalos de temperatura al calentar o enfriar una muestra. Estos cambios incluyen: fusión, cristalización, ebullición, sublimación, transición vítrea, transición polimórfica, entalpía de fusión, capacidad calorífica, pureza, % de cristalinidad, compatibilidad de formulaciones (ingredientes activos y excipientes), etc.

TGA (termogravimetría) es una técnica de caracterización de materiales que mide la masa de una muestra mientras esta última se calienta o se enfría en una atmósfera definida, una curva TGA típica muestra los pasos de pérdida de masa relacionados con la pérdida de componentes volátiles (humedad, solventes, monómeros). Un TGA se puede utilizar para la caracterización de materiales a través del análisis de patrones de descomposición característicos. Es una técnica especialmente útil para el estudio de materiales poliméricos, incluyendo termoplásticos, termoestables, elastómeros, compuestos, películas plásticas, fibras, recubrimientos, pinturas y combustibles.

Mediante esta técnica se pueden determinar los siguientes ítems: porcentaje de pérdida de peso por descomposición, deshidratación, pérdida de solvente, pérdida de plastificante, etc. También puede determinar estabilidad térmica u oxidativa, descarboxilación, pirólisis, % de aditivos.



## Resultados y análisis

### Caracterización TPU

La estructura del TPU se compone de segmentos suaves quienes proporcionan elasticidad al material y segmentos rígidos cuyo objetivo es aportar rigidez al poliuretano.

Teniendo en cuenta los resultados de los espectros estudiados en la electroscopia de energía dispersiva se tiene que el 62,84% del material está compuesto por Carbono y el restante es oxígeno, lo que confirma que es un compuesto orgánico; analizando la ausencia de hidrogeno en los espectros estudiados se demuestra la presencia de enlaces uretanos derivados del ácido carbámico que al multiplicarse forman un poliuretano, es importante aclarar que aunque no se presenta el hidrogeno en este análisis no niega la posibilidad de su existencia en el material.

Con el objetivo de identificar el material que se está analizando y observar otros compuestos que pueden estar solapando el poliuretano se tiene la gráfica de la transmitancia que haciendo una comparación con [20] un espectro de TPU puro se verifica la presencia de carbono.

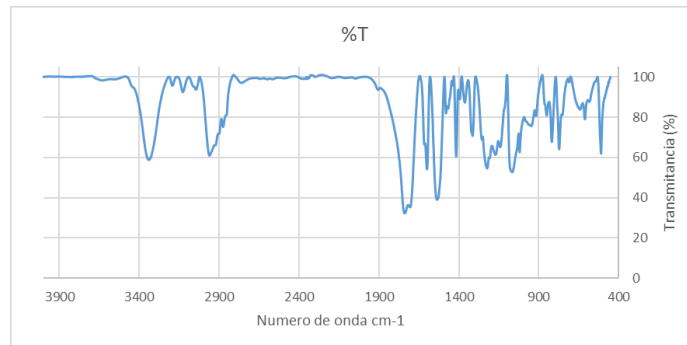


Imagen 6 Gráfica de transmitancia vs número de onda

El análisis de pérdida de peso comienza desde los 270°C aproximadamente correspondiente a la temperatura de fusión del poliuretano, en el rango de temperatura de los 300 a 500°C se observa la degradación del polímero correspondiente a la descomposición termo-oxidativa que llega al 10% del peso inicial del material en donde después de los 600°C queda este residuo que puede ser restos de materiales volátiles y una pequeña cantidad de producto carbonizado. A través el comportamiento del flujo de calor del material se observa que a los primeros 100°C ocurre la deshidratación del material, el cual luego de este suceso presenta una caída constante hasta los 350°C en donde ocurre la descomposición del material por efecto de la temperatura. En las temperaturas de 380° y 415° se observan reacciones endotérmicas que pueden presentarse por una aglomeración del material.

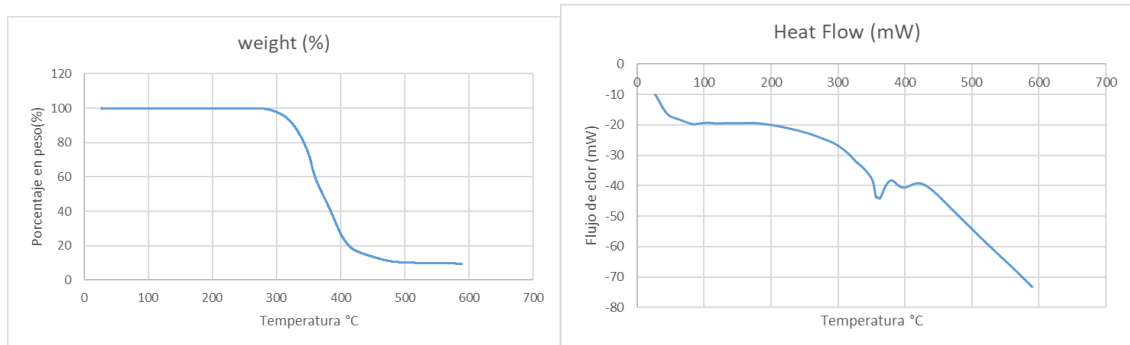


Imagen 7 Graficas de análisis térmico para el TPU

### *Mezcla TPU y Alúmina*

Teniendo en cuenta que para la mezcla del polímero TPU y alúmina se hizo a través de la homogenización mecánica de los polvos con las siguientes cantidades: 78,38 gramos de alúmina, 19,65 gramos de TPU y 1,7 gramos de ácido esteárico, la proporción que se buscaba obtener con esta composición era de aproximadamente 55%-45% de alúmina y TPU en volumen, se obtuvo un filamento con una textura bastante rígida la cual no pudo ser impresa debido a la ruptura del filamento mientras que este era halado por los cilindros que empujan el filamento hasta la boquilla de impresión. La rigidez se notaba evidentemente en la apariencia del filamento ya que este presentaba una rugosidad apreciable.

### *Mezcla de PEBD y Alúmina*

Al crear una mezcla que fuera capaz de usar el polietileno de baja densidad como material de soporte para la impresión de la alúmina se buscó la misma relación en términos de volumen que la mezcla del TPU es decir 55%-45% de alúmina y polietileno de baja densidad, respectivamente, esta combinación de materiales no permitió su homogenización por temperatura, la fluidez del polímero no se prestó para la integración con la alúmina por lo que no se pudo pelletizar.

### *Primera mezcla de EVA y Alúmina*

Para la mezcla de EVA y alúmina se agregó un aglutinante para lograr una mejor adherencia debido a que la homogenización de estos dos materiales debía ocurrir por medio de temperatura y movimiento a través de la fricción entre el pistón con el recipiente de acero inoxidable que era llevado a temperaturas elevadas por medio de resistencias en la parte lateral y su posterior corte para la formación de pellets. La adición del ácido esteárico como refuerzo de estos dos materiales provocó que la composición de este filamento fuese en primera estancia de 83,13 gramos de alúmina, 16,57 gramos de EVA y 3,56 gramos de ácido esteárico, esta relación se busco gracias a un trabajo similar en donde especificaba que el porcentaje en masa del binder debería ser de 19% o más para obtener un filamento compuesto que tuviese las características optimas para realizar la impresión. Esta composición no fue efectiva ya que el filamento resultante a la hora de imprimir quedo tan flexible que la fricción que hacían los rodillos de la impresora no alcanzaban a llevarlo hasta la boquilla de impresión. [19]

### *Segunda mezcla de EVA y Alúmina*

Con el fin de modificar la relación que se llevo a cabo anteriormente se decidió agregar más alúmina en peso, para esto no se volvió a pesar las cantidades si no que se volvió a usar el filamento que inicialmente se había homogenizado por medio de la pelletización térmica efectuada por medio de elevar la temperatura a 120°C, pero con la diferencia de agregar más contenido a la mezcla, haciéndolo de la misma manera, primero se agregó el filamento cortado y luego a este se iba adicionando la alúmina en pequeñas cantidades, la composición final de esta mezcla fue de 76,18 gramos de alúmina, 11,48 gramos de EVA y 2,47 gramos de ácido esteárico. Para el calculo de la cantidad a agregar de alúmina se tuvo en cuenta la cantidad que se pelletizó por primera vez tuvo pérdidas, tanto en el proceso de homogenización como en la extrusión del material por lo que se tuvo la necesidad de volver a pesar la mezcla la cual arrojaba información de esta perdida para hacer la re-pelletización, lo que obtuvo un filamento más rígido con características mucho óptimas para su impresión. (Ver imagen 8)



*Imagen 8 Filamento compuesto de alúmina, EVA y ácido esteárico*

### **Conclusiones**

De este estudio correspondiente a la evaluación de matrices para la elaboración de filamentos para impresión 3D por *fused filament fabrication* se concluye lo siguiente:

- La fabricación de filamentos compuestos para la impresión de piezas de materiales que no tienen buenas propiedades de impresión consiste en explorar y ajustar las diferentes variables de temperatura, peso, proporción y compatibilidad en todo el proceso desde su homogenización hasta la eliminación del polímero para dejar solo el material cerámico o metálico. Para esto es importante realizar varios ensayos que al final obtengan los puntos óptimos de estas variables.
- La adición de materiales que tengan propiedades aglutinantes como lo es el ácido esteárico permite que la unión de dos materiales sea mucho más homogénea y con mejor viscosidad y estos resultados se ven en la flexibilidad que toma el material después de su adición.

- Los métodos de homogenización dependen de la materia prima que se vaya a usar por ende es importante variar la temperatura con el fin de conseguir propiedades de los materiales que a temperatura ambiente no se pueden aprovechar.
- El filamento que se debe usar para la impresión de FFF debe tener cualidades que sean optimas en cuanto a flexibilidad y rigidez, debido a que esta técnica consiste en empujar el filamento este debe ofrecer la suficiente dureza para no romperse y la elasticidad adecuada para fluir hasta la boquilla de impresión.
- La variedad de polímeros y sus características permiten que se pueda realizar una combinación con materiales que no tienen buenas propiedades de impresión por lo que la impresión 3d se vuelve mucho más amplia a la hora de producir filamentos compuestos.
- La concentración de ácido esteárico afecta en gran medida las propiedades reológicas de las materias primas termoplásticas y las propiedades de impresión de los filamentos termoplásticos, por lo que es importante variar este porcentaje de binder en la composición del filamento.

## Bibliografía

- [1] Torres Vergel, J. F. (2018). Caracterización de la resistencia mecánica a tensión del ácido poliláctico/hidroxiapatita por manufactura aditiva mediante fabricación por filamento fundido (FFF) (N.o 1). <http://hdl.handle.net/11634/10685>
- [2] Introducción A La Tecnología FFF Y Sus Parámetros Más Importantes. (2022). 3Dprinte.pe. <https://3dprint.pe/introduccion-a-la-tecnologia-fff-y-sus-parametros-mas-importantes/>
- [3] QuimiNet.com / Marketizer.com / eIndustria.com. (2022, 1 febrero). EVA, material plástico liviano y muy poroso | QuimiNet.com. 2000–2022 QuimiNet, S.A. de C.V. <https://www.quiminet.com/articulos/eva-material-plastico-liviano-y-muy-poroso-2718563.htm>
- [4] S. Ebnesajjad, "4 Surface and Material Characterization Techniques", Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding. Elsevier, 2011.
- [5] S. Ebnesajjad, "4 Surface and Material Characterization Techniques", Surface Treatment of Materials for Adhesion Bonding. Elsevier, 2011.
- [6] M. Aparicio and G. Carvajal, "Utilidad de la difracción de rayos x en las nanociencias", Mundo Nano. México DF, 2010.
- [7] A. del Rey, "El procesado de polvos cerámicos manos particulados", boletín de la sociedad española de cerámica y vidrio, no. 38, pp. 403-414, 1999.
- [8] Adeva, R. (2021, 3 marzo). Todo lo que debes saber sobre la impresión 3D y sus utilidades. ADSLZone. <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/impresion-3d/>
- [9] Calambás Pulgarín, H. L. (2015). Materiales compuestos de alumina-zirconia para aplicaciones biomédicas. <https://doi.org/10.35537/10915/44296>
- [10] Vicente Oliva, S. (2018). La impresión 3D como tecnología de uso general en el futuro (No. ART-2018-106103).
- [11] Rojas-Lozano, J., Diaz-Rodriguez, P., Barreiro, P., López-Senraa, E., Rodríguez-Valencia, C., López-Álvarez, M., & Serra, J. (2019). Desarrollo de nuevos filamentos para impresión 3D basados en cerámicas bioinspiradas. *Materiales Compuestos*, 3(4), 65-69.
- [12] Principales parámetros en la impresión FDM. (2022, 27 enero). Blog ARQDIS. <http://www.arqdis.iberomx.com/blog/principales-parametros-fdm/>
- [13] Soto Delgado, D. J., Arruebo Gordo, M., & Prieto Fraga, M. Desarrollo de materiales biocompatibles, biodegradables y bioactivos para su aplicación en impresión FDM (modelado por deposición fundida) de implantes para cirugía maxilofacial.
- [14] Bustamante, B. P. (1994). La degradación de los plásticos. *Revista universidad EAFIT*, 30(94), 67-86.
- [15] Saldierna Resendiz, U. (2015). Degradación catalítica de un polímero para la obtención de combustibles utilizando materiales micro/mesoporosos (Master's thesis, Universidad Autónoma Metropolitana (México). Unidad Azcapotzalco. Coordinación de Servicios de Información.).
- [16] Posada Bustamante, B. (2022). La degradación de los polimeros. *Revista universidad Eafit*.
- [17] A. (2020, 29 diciembre). Alúmina-Cerámica (óxido de aluminio): Materiales cerámicos. CarboSystem. <https://carbosystem.com/alumina-ceramica-oxido-aluminio/>
- [18] A. (2022, 1 diciembre). ¿Qué es y para qué sirve el ácido esteárico? Conjunto LAR. <https://www.conjuntolar.com/index.php/blog/post/que-es-y-para-que-sirve-acido-estearico#:~:text=E1%20%C3%A1cido%20octadecanoico%2C%20mejor%20conoci,se%20encuentra%20a%20temperatura%20ambiente.>

- [19] Gorjan, L., Galusca, C., Sami, M., Sebastian, T., & Clemens, F. (2020). Effect of stearic acid on rheological properties and printability of ethylene vinyl acetate based feedstocks for fused filament fabrication of alumina. *Additive Manufacturing*, 36, 101391.
- [20] Hao-Yang Mi, Max R. Salick, Xin Jing, Brianna R. Jacques, Wendy C. Crone, Xiang-Fang Peng, Lih-Sheng Turng, Characterization of thermoplastic polyurethane/polylactic acid (TPU/PLA) tissue engineering scaffolds fabricated by microcellular injection molding, *Materials Science and Engineering: C*, Volume 33, Issue 8, 2013 <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.07.037>