

# EXTRUSIÓN MULTIFILAMENTO PARA IMPRESIÓN 3D EN COLOR

Víctor Andueza García  
C/ Vivaldi 28, 29680 Estepona, vandueza13@gmail.com

Jesús Manuel Gómez de Gabriel  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial Málaga, jesus.gomez@uma.es

## Resumen

*En este artículo se explica el proyecto de mismo nombre donde se recoge el diseño, construcción, programación y experimentación de un extrusor multifilamento para realizar impresiones 3D en color. Se detallan de forma resumida cada uno de los procesos que ha llevado el proyecto hasta su finalización. A través de las explicaciones que se muestran en este artículo se pretende difundir el desarrollo de este elemento dentro de la tecnología de la impresión 3D, tan conocida en los últimos años.*

## 1 INTRODUCCIÓN

Las máquinas de prototipado rápido o impresoras 3D son, sin duda, una de las tecnologías más emergente en los últimos años en cuanto a fabricación de prototipos o pequeñas piezas. La impresión 3D está suponiendo toda una revolución en muchos ámbitos sociales y tecnológicos. Desde industrias de todo tipo, pasando por centros médicos de diagnóstico, hasta particulares han comenzado a popularizar la impresión 3D debido a las grandes prestaciones que presenta. El simple hecho de poder obtener un modelo similar de cualquier tipo de diseño, pieza u objeto, facilita notablemente los procesos de producción, estudio o investigación.

El funcionamiento básico de la impresión 3D es simple. Consiste en la deposición de finos filamentos de plástico (u otros materiales) formando una superficie plana con una forma determinada. La composición de muchas superficies como esa forman una figura sólida de material que reproduce el modelo introducido previamente mediante programa de CAD. La figura podrá tener detalles de diseño tan precisos como fino sea el filamento que se deposita en cada capa, lo que permite producir una gran cantidad de formas.

En la actualidad, la impresión 3D está en continua evolución ya que existe una gran comunidad de hardware y software libre y varias casas comerciales introduciendo novedades constantemente. Hay gran variedad de modelos y tipos de impresoras 3D. Existen diferentes configuraciones de movimiento de la herramienta, tales como manipuladores delta, brazos robóticos o máquinas de control numérico de tres ejes. También existen diferentes modificaciones de las principales piezas de la impresora, tales como soportes, camas calentadoras (superficie sobre la que se imprime) o extrusores.

El extrusor, una de las principales piezas de una impresora 3D, es la parte que se encarga de reducir la sección del filamento de plástico calentándolo y obligándolo a pasar por una boquilla de fina sección. Existe gran variedad de extrusores con novedades constantes en cuanto a la mejora de su funcionamiento. También existen extrusores de doble cabezal, para imprimir en dos materiales diferentes, lo que permite realizar piezas de dos colores o piezas con soportes de material soluble para realización de formas complicadas. Aunque menos avanzado en su desarrollo, existen también algunos prototipos de extrusores de mezcla de filamentos de colores para impresión en color, sin demasiado éxito hasta el momento [11] [12].

El presente artículo trata de explicar resumidamente el proyecto de mismo nombre [1] donde se desarrolla el diseño, fabricación y obtención de resultados de interés de un extrusor de mezcla de filamentos con el objetivo de ser implantado en la impresión 3D.

### 1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Tanto en el proceso de diseño de un producto, como en la realización de un prototipo, como en la fabricación de un objeto existe una variable fundamental en cuando al resultado esperado, que condiciona tanto impresiones o gustos, como resultados. Esta variable es el color que tiene el diseño, el prototipo o el producto fabricado en su superficie. En un proceso de estas características es

tan importante la forma que tenga el producto como el color o los colores que tenga.

Todas las tecnologías que tienen cierta relación con la visión del sujeto, tales como impresión, reproducción de imágenes o escritura, se han visto en la necesidad de implantar el color en algún momento de su historia. La necesidad de mejorar la percepción de la imagen o de detallar partes de la misma, va ligada a la implantación del color en esa tecnología. Del mismo modo que en un momento de la historia de la impresión en papel se empezaron a introducir colores para mejorar la visión de las imágenes, la impresión 3D necesita del color para completar las formas e introducir detalles.

El proceso de extrusión en las impresoras 3D permite realizar finos filamentos de una amplia gama de materiales con distintas propiedades o de distintos colores. Es posible realizar piezas de cualquier color, mediante la extrusión de un filamento que sea de ese color. El principal inconveniente es que el color con el que se alimenta el material es el color que tendrá la pieza.

Puesto que comienza a surgir la necesidad de reproducir detalles, letras o diferentes colores dentro de la impresión 3D, empieza a surgir también la necesidad de realizar cambios de color, degradados o composiciones de diferentes colores según el espacio. Mediante la extrusión unifilar es imposible realizar este tipo de acciones, por lo tanto parece necesario comenzar una línea de desarrollo de impresión en color que permita en un futuro realizar piezas con diferentes colores, con detalles en la superficie e incluso realismo en la impresión del prototipo deseado.

En el proyecto realizado se abordó el comienzo de la extrusión multifilamento, planteando una base para el desarrollo futuro de la impresión en color. El objetivo de dicho proyecto no era realizar una impresión en color completamente funcional, sino plantear los primeros diseños, construcciones y pruebas que permitan encauzar correctamente el camino a seguir.

## 1.2 OBJETIVOS

El objetivo principal que se propone en este proyecto es el diseño, la fabricación y la realización de pruebas de un extrusor multifilamento para una posible futura implantación en impresión 3D que permita realizar mezclas y cambios de color mediante una única salida de material.

Para cumplir dicho objetivo principal, se requiere de diferentes objetivos secundarios o fases que se detallan a continuación:

Diseñar y construir un sistema de extrusión capaz de realizar composiciones de color según diferentes sistemas cromáticos. Para ello, el sistema de extrusión sigue unas solicitaciones mecánicas, de temperatura y de forma determinadas.

Planificar e implantar el sistema electrónico de control y el software de control, que en conjunto realizan las tareas de alimentación de material al sistema, control de temperatura, codificación cromática e interacción con el usuario.

Realizar una serie de experimentos de los cuales se obtienen muestras de color de las impresiones realizadas, mediciones de color de dichas muestras y otros datos de utilidad.

## 2 DISEÑO DEL SISTEMA CROMÁTICO

Para el desarrollo del diseño del extrusor multifilamento objeto de estudio es necesario prever uno o varios sistemas cromáticos que gobiernen el funcionamiento del mismo. Por lo tanto, es esencial analizar las formas posibles de impresión en cuanto al color se refiere, ya que las decisiones de diseño y control van en función de las conclusiones que en este apartado se obtienen.

A partir de una interfaz de usuario, utilizada para el desarrollo experimental del proyecto, se solicitan consignas de color en diferentes sistemas cromáticos. Partiendo de una síntesis aditiva, como es el modelo RGB, se realiza una transformación software a los distintos sistemas cromáticos de estudio y experimentación: Escala de Grises, CMY, CMYK y CMYKW [9], como se muestra en la Figura 1.



Figura 1: Esquema de selección de color

Por otra parte, al tratarse de una deposición de filamentos sólidos sobre una superficie que no aporta cualidades cromáticas alguna, es necesario tener en cuenta un control de la saturación del color. Del mismo modo que una superficie de impresión convencional, como puede ser el papel, añade una variable que acerca o aleja un color en concreto del blanco, en la impresión 3D en color hay que tener en cuenta una variable, en este caso el color blanco, que produzca el mismo efecto.

Tanto el sistema Escala de Grises, como el CMY, como el CMYK son comúnmente utilizados en la impresión convencional. El primero de ellos realiza una mezcla entre el blanco y negro (en el caso de la impresión 3D, con dos variables, tal como se comentó anteriormente) para obtener cualquier color del espacio de esta escala. Tanto el CMY como el CMYK son sistemas basados en los mismos principios de obtención de colores del espacio entre tres colores primarios (cian, magenta y amarillo), siendo un sistema de síntesis sustractiva, complementario al RGB de síntesis aditiva. La salvedad que existe entre el CMY y el CMYK es la obtención de distintos valores de brillo para un matiz en concreto. Debido a distintas propiedades de la composición de los tintes, la obtención del negro puro es casi imposible de obtener mediante la composición de las variables CMY, por lo tanto se añade una cuarta variable que actúa en proporción para modificar la variable de brillo de la mezcla.

A diferencia de los sistemas cromáticos cuyo diseño es específico para impresión convencional, un sistema de impresión sólida como este ha de contar con una variable saturación, tal como anteriormente se comentó. El sistema CMYKW se basa en la representación no cartesiana del espacio RGB, el espacio HSV (H: matiz, S: saturación, V: valor o brillo), con el cual se puede realizar un control y una transformación intuitivos. Así pues la composición de las variables CMY forman cualquier color del círculo cromático, la variable K desplaza el matiz en brillo y la variable W en saturación. En la Figura 2 y 3 se representa lo anteriormente descrito.

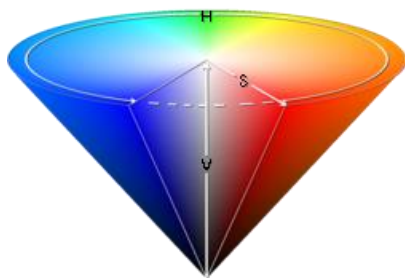


Figura 2: Cono de representación HSV

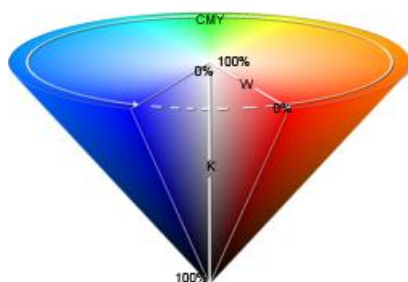


Figura 3: Cono de representación CMYKW

### 3 DISEÑO DEL EXTRUSOR MULTIFILAMENTO

Un extrusor de impresora 3D convencional contiene dos partes diferenciadas compuestas por varias piezas que tienen objetivos concretos (Figura 4). Existe una zona superior o zona fría, donde se realiza la alimentación del filamento mediante un sistema de empuje situado en una plataforma. La zona fría se conecta a la zona caliente a través de un tubo aislante que conduce el filamento en estado sólido. La zona inferior o zona caliente, se encarga de fundir el material y reducir su sección. Esta zona está compuesta por el bloque calentador y la boquilla.

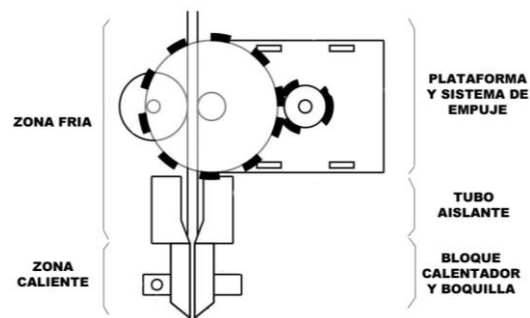


Figura 4: Partes de un extrusor de impresora 3D

El diseño del extrusor multifilamento se desarrolla en función de las conclusiones obtenidas del diseño cromático que gobierna el funcionamiento. Puesto que el sistema más restrictivo de los estudiados anteriormente es el CMYKW, se necesitan de cinco entradas de material para realizar las posibles combinaciones que este sistema necesita.

Siguiendo un esquema similar al de un extrusor convencional se diseñaron las distintas piezas que componen el sistema.

#### 3.1 ZONA FRÍA

La zona fría está compuesta por cinco plataformas motorizadas (Figura 5) compuestas por diversas piezas que realizan el empuje del material al interior de la zona caliente. La alimentación ha de ser independiente, por lo que es necesario controlar cinco motores (paso a paso, en este caso) simultáneamente.

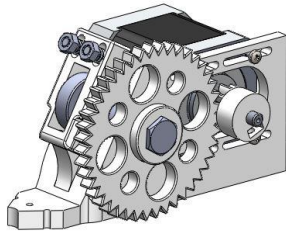


Figura 5: Plataforma y sistema de empuje

### 3.2 ZONA CALIENTE

El bloque calentador está formado por una pieza cilíndrica de latón (material adecuado para la transmisión de calor y el control de temperatura) que contiene cinco orificios de entrada de material (Figura 6). Estos orificios concluyen en el mismo punto, punto donde se realiza la mezcla de filamentos.

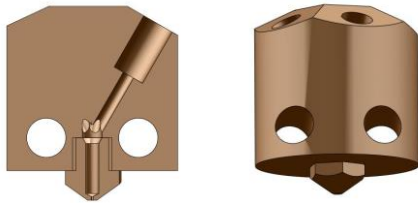


Figura 6: Bloque calentador y boquilla

Esta pieza en conjunto con una boquilla de extrusión de impresión 3D convencional forman un sistema de calentamiento, mezcla y extrusión de filamentos adecuado para las experimentaciones realizadas. La mezcla se realiza mediante la presión que los propios filamentos ejercen en el empuje.

### 3.2 CONJUNTO FABRICADO

Una vez fabricadas y montadas las piezas detalladas anteriormente, el conjunto queda tal como se ve en la Figura 7.

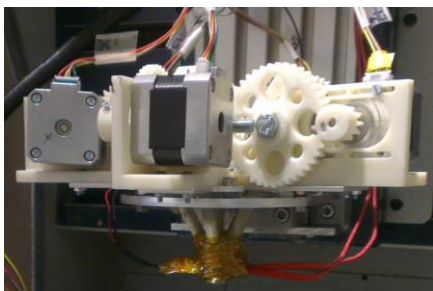


Figura 7: Conjunto fabricado

Montado sobre cualquier manipulador, impresora 3D o máquina de control numérico ejerce las funciones de herramienta del mismo modo que un mandrino o extrusor convencional.

## 4 ELECTRÓNICA Y SOFTWARE DE CONTROL

Para realizar el control de alimentación y de extrusión de la herramienta diseñada se necesita de una electrónica y un software de control acorde a las necesidades que el sistema presenta.

### 4.1 ELECTRÓNICA DE CONTROL

En la línea que se está siguiendo en el desarrollo de la impresión 3D en la comunidad RepRap [5], se ha optado por implantar una electrónica de control basada en Arduino [8]. En concreto se ha utilizado un Arduino Mega en el cual se monta una tarjeta Shield Ramps 1.4. Esta elección se basa en la facilidad de programación, montaje y control que proporcionan esta electrónica.

La electrónica de control (junto con el software de control) sigue un esquema (Figura 8) a partir del cual se controlan todos los elementos del extrusor. Por un lado se controla tanto la temperatura del extrusor, de vital importancia para una correcta impresión, como la temperatura de la cama calentadora, donde se depositan los filamentos. A su vez, se controlan independientemente cada uno de los cinco motores paso a paso que componen el sistema de empuje de material.

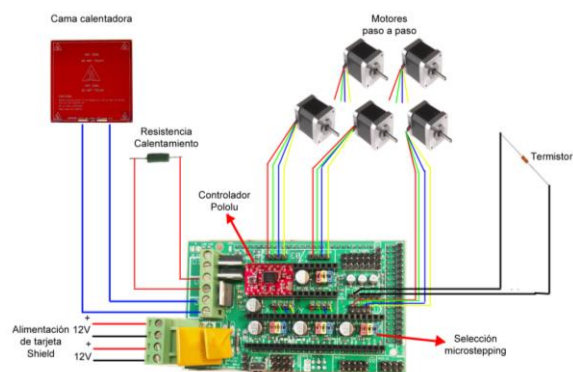


Figura 8: Esquema de la electrónica de control

### 4.2 SOFTWARE DE CONTROL

El software de control implementado en la electrónica de control anteriormente detallada controla las distintas partes del extrusor multifilamento. Por un lado ha de controlar tanto la

temperatura de extrusión como la temperatura de deposición del material y por otro lado ha de controlar el sistema de empuje de material.

Puesto que en este proyecto no se tiene en cuenta la implantación del extrusor en una impresora 3D para realizar una impresión completamente funcional se necesita de una interfaz de usuario para que se puedan mandar las órdenes y consignas al sistema. Para ello se ha diseñado una interfaz en la plataforma LabView, desde la cual se mandan y recogen las señales oportunas mediante conexión serie con la electrónica de control. La información necesaria para hacer funcionar correctamente el dispositivo comprende tanto las temperaturas del bloque calentador como de la cama calentadora, como el color seleccionado y la velocidad de cada uno de los motores del sistema de empuje de material (Figura 9). Todo en tiempo real.

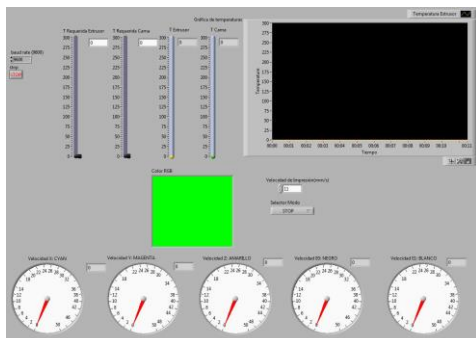


Figura 9: Interfaz de usuario

El usuario controla el movimiento de la herramienta por un lado (en este caso una máquina de control numérico convencional) y el funcionamiento del extrusor por el otro lado (Figura 10), acción que en futuras mejoras de este sistema habrá de hacerse conjunta y automáticamente.

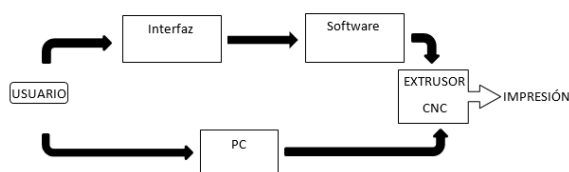


Figura 10: Interfaz de usuario

Por su parte el software de control recibe consignas tanto de temperatura como de color de impresión. Por un lado, las temperaturas recibidas se pasan a los bucles de control de temperatura donde se controlan mediante un PID con seguimiento integral [4] que ajusta la temperatura a la consigna sin afectar el windup que se produciría en un PID simple.

Por otro lado, tanto el color consigna (en RGB) como la velocidad total de extrusión se gestionan mediante un algoritmo de codificación cromática que reparte proporcionalmente a cada sistema de empuje de material de cada uno de los colores primarios la actuación necesaria. Una vez traducido en velocidad de pulsos/s, las señales se mandan a los controladores de motores paso a paso. Todo ello se muestra a continuación en a Figura 11.

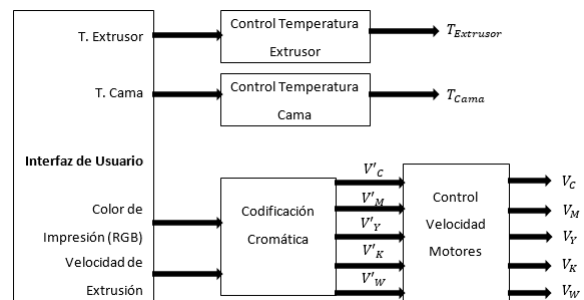


Figura 11: Esquema del software de control

## 5 EXPERIMENTOS

Una vez diseñada, construida y controlada convenientemente la herramienta objeto de estudio, se realizaron una serie de experimentos de pruebas de color y medición de transiciones entre cambios de color.

Para realizar las pruebas de impresión se adquirieron filamentos de los colores primarios necesarios (cian, magenta, amarillo, negro y blanco) de material ABS, cuyas propiedades hacen de la pieza imprimida un sólido resistente y duradero. Para comprobar el color obtenido y compararlo con la consigna enviada se utilizó un sensor de color TCS230.

En cuanto al sistema de movimiento de la herramienta se utilizó una máquina de control numérico CNC Spline Systems CPM Series, que proporcionaba las características necesarias para una herramienta pesada como la diseñada.

### 5.1 IMPRESIÓN INDEPENDIENTE DE LOS COLORES PRIMARIOS

Para realizar correctamente la obtención de colores secundarios se identificó el grado de pureza de los colores primarios disponibles. Puesto que los filamentos se adquirieron en comercios especializados en impresión 3D pueden diferir respecto del color primario puro deseado. Tal como se ve en las Figuras 12 a 15, en el caso del cian y el magenta existe una diferencia respecto del primario



mientras que el amarillo, el negro y el blanco son prácticamente colores puros.

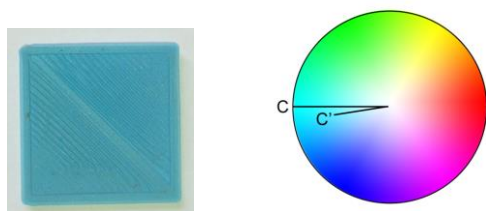


Figura 12: Impresión y comprobación del color cian

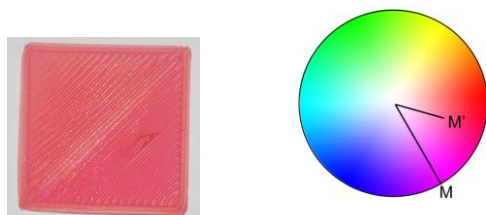


Figura 13: Impresión y comprobación del color magenta

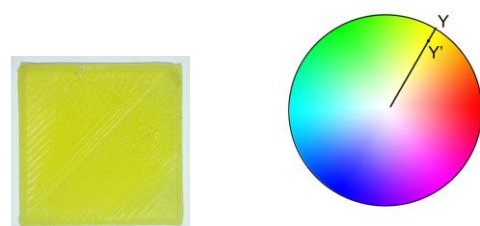


Figura 14: Impresión y comprobación del color amarillo

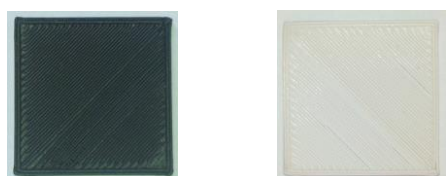


Figura 15: Impresión de los colores negro y blanco

## 5.2 IMPRESIÓN DE CADA COLOR SEGÚN LOS DIFERENTES SISTEMAS CROMÁTICOS

### 5.2.2 Escala de Grises

Primeramente, se experimentó con el sistema de Escala de Grises por ser el más sencillo (Figura 16). En este se estudiaron varias proporciones de blanco-negro en las mezcla.

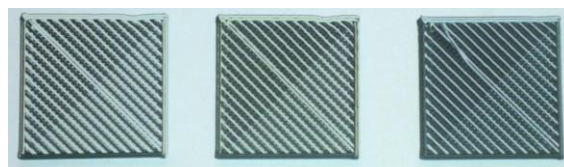


Figura 16: Impresión de las muestras de Escala de Grises

Tal como se observa en las imágenes la simultaneidad del color blanco y el color negro produce el llamado “efecto pasta de dientes”. Los dos filamentos no llegan a mezclarse y se genera un filamento con dos caras de distinto color. Después de diversas consideraciones se llegó a la conclusión de que este efecto está muy relacionado con el tinte utilizado en la confección del color negro y del color blanco, por lo que hubo que tenerlo en cuenta para los siguientes experimentos.

### 5.2.2 Sistema CMY

Puesto que los colores primarios de los cuales se dispone no son puros al 100% se realizó una comprobación de la muestra obtenida en la impresión respecto de un cálculo teórico del resultado esperado. A continuación se muestran las muestras obtenidas en las Figuras 17 a 19.

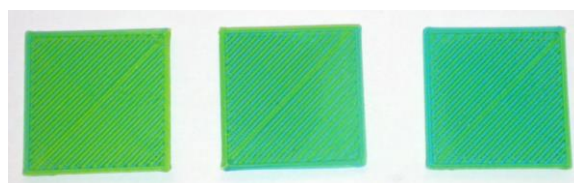


Figura 17: Impresión del color verde

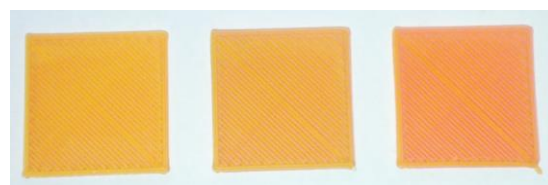


Figura 18: Impresión del color rojo

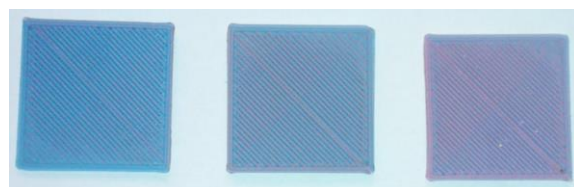


Figura 19: Impresión del color azul

Como se observa, pese a que el resultado final difiere de los colores secundarios esperados, los cálculos teóricos se acercan notablemente que se realizaron

teniendo en cuenta el desplazamiento de los colores primarios coincide con las mediciones obtenidas con el sensor de color.

### 5.2.3 Sistema CMYK

Una vez comprobado el error que se produce en las muestras del sistema CMY, se estudió el efecto que el negro produce en la reducción de brillo. Así pues, se hicieron distintas muestras de los colores experimentados en el sistema CMYK utilizando distintas proporciones de brillo en la consigna (Figuras 20 a 22).

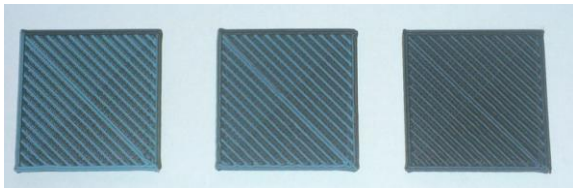


Figura 20: Impresión del color cian+negro

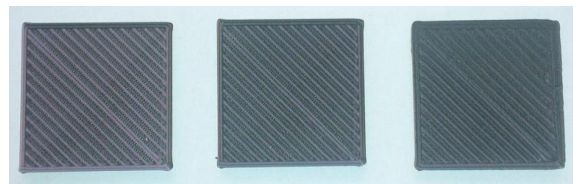


Figura 21: Impresión del color magenta+negro

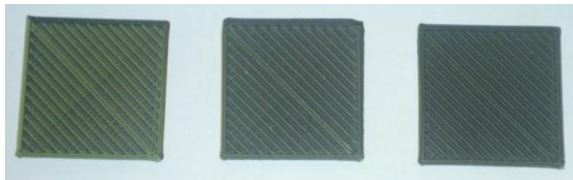


Figura 22: Impresión del color amarillo+negro

Tal como se puede observar, el color negro tiene una mayor influencia de reducción de brillo de lo esperado, lo que provoca la oscuridad de las muestras obtenidas.

### 5.2.4 Sistema CMYKW

Seguidamente se experimentó el comportamiento de la mezcla si en la consigna existían componentes de reducción de saturación sin y con simultaneidad con la reducción de brillo, tal como se muestra en las Figuras 23 y 24.

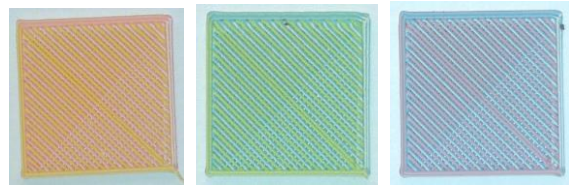


Figura 23: Impresión de los colores secundarios+blanco



Figura 24: Impresión de los colores primarios+blanco+negro

Como se observa, la simultaneidad del blanco y el negro provoca el comentado anteriormente “efecto pasta de dientes”, lo que se solucionaría con un sistema de mezcla activa en el interior de la cámara de mezclado.

## 5.3 LONGITUD DE TRANSICIÓN Y TIEMPO DE RESPUESTA EN CAMBIOS DE COLOR

Para la implantación del sistema en una impresión 3D en color completamente funcional hay que tener en cuenta las transiciones que se producen en los cambios de color. Puesto que se trata de un sistema donde se produce una acumulación de material que en un posible cambio de color hay que vaciar, se ha de tener en cuenta la longitud de dicha transición y el tiempo de respuesta, para proporcionar un control ajustado.

Para experimentar los cambios de color y tabular los resultados se ha utilizado una muestra de impresión en forma de espiral cuadrada, donde fácilmente se conoce la longitud de la transición producida.

Así pues, las longitudes mayores se produjeron en los cambios que se pasaba de negro a otro color, produciéndose una longitud de aproximadamente 2700mm y un tiempo de respuesta de 245s imprimiendo a una velocidad de 11mm/s.

## 6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

Partiendo de los resultados que se obtuvieron en los experimentos realizados se pueden concluir una serie de valoraciones que ayudarán a enfocar las líneas futuras de desarrollo de este prototipo.

## 6.1 CONCLUSIONES

Puesto que comienza a surgir la necesidad de implantar el color como variable fundamental en el prototipado 3D, parece notable destacar el inicio de una tecnología a partir de un primer prototipo de extrusor multifilamento con un sistema cromático concreto que gobierna el funcionamiento del mismo. Así pues, la construcción de este primer prototipo introduce una herramienta de desarrollo donde se puede experimentar en un futuro otro tipo de mejoras.

Por otra parte, a la vista de los resultados experimentales se puede concluir que pese al cumplimiento de las consignas marcadas y a la obtención de muestras de color semejantes a los cálculos teóricos realizados, es primordial que colores primarios utilizados sean lo más aproximados posibles a los colores primarios puros del sistema cromático CMYKW. Cualquier diferencia en uno de ellos introduce notables errores de obtención de la consigna deseada. A pesar de ello, se han obtenido datos de referencia mucha utilidad, como la dominancia de unos colores sobre otros y longitudes de las transiciones de cambio de color.

## 6.2 LÍNEAS FUTURAS DE DESARROLLO

Puesto que este proyecto es el inicio de un desarrollo que ha de completarse con la implantación completamente funcional de un extrusor multifilamento en la impresión 3D, se proponen a continuación una serie de líneas de desarrollo y mejoras que se pueden considerar para el futuro.

Se pueden mejorar notablemente partes del diseño que en este proyecto se han comprobado que tenían deficiencias. Por ejemplo, los tubos aislantes, parte muy sensible al paso del material sólido. Así mismo, a la vista de los resultados de algunas de las muestras imprimidas en las cuales se identifica el “efecto pasta de dientes”, sería conveniente desarrollar un sistema de mezclado activo de los componentes. Es decir, en lugar de realizar la mezcla simplemente con la presión que cada filamento ejerce, forzar la mezcla con un elemento externo.

Otra de las mejoras propuestas es el desarrollo de un método de evacuación de las transiciones en cambios de color. Puesto que el color (o colores) de una pieza imprimida solo se verían en la superficie de la misma, se propone la implementación de un algoritmo de planificación de trayectorias, ocultando las transiciones en el interior de la pieza. De otra forma se podría considerar un sistema de evacuación de transiciones en una zona específicamente dedicada a ello, lo que simplificaría el proceso.

Por último se propone el desarrollo de un software y planificación en la implantación de un extrusor multifilamento para impresión 3D en color automática y completamente funcional, teniendo en cuenta las mejoras necesarias propuestas anteriormente.

## Referencias

- [1] Andueza García, V., (2014) PFC: Extrusor Multifilamento para Impresión 3D en Color, Universidad de Málaga, España.
- [2] Muralisrinivasan Natamai Subramanian: Basics of Troubleshooting in Plastics Processing: An Introductory Practical Guide. EEUU.
- [3] Morton-Jones, D.H. (1991) Chapman & Hall: Polimer Processing. Londres, Reino Unido.
- [4] Karl J. Astrom, Tore Hagglund: Control PID Avanzado. Lund, Suecia.
- [5] Comunidad RepRap, Autores varios: RepRap Wiki. (<http://reprap.org>) Consultado 01/02/2014.
- [6] Comunidad RepRap Project, Autores varios: Ramps v1.4. ([http://reprap.org/wiki/RAMPS\\_1.4/es](http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/es)) Consultado 01/02/2014.
- [7] Comunidad Makerbot, Autores varios. Wiki Makerbot. (<http://www.makerbot.com/support/archive/>) Consultado 01/02/2014.
- [8] Sitio oficial plataforma Arduino, Autores varios: Arduino Forum. (<http://www.arduino.cc>) Consultado 01/02/2014.
- [9] Instituto Tecnológico de Óptica, Color e Imagen.(2001) AIDO: CMYK Parámetros de Impresión. España.
- [10] Coloricer, Autores varios. (<http://www.coloricer.org>) Consultado 01/02/2014.
- [11] 3-way Quick-fit Extruder and Colour Blending Nozzle, RichRap. Reprap development and further adventures in DIY 3D printing (<http://richrap.blogspot.com>) Consultado 01/02/2014.
- [12] Corbett, J.(2012). Reprap Colour Mixing Project. Bath, Reino Unido.