

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

## **Proyecto Integrado: Plástico a Futuro - Soluciones Sustentables en 3D**

**Título Comercial:** Plástico a Futuro: Producción y Servicios de Filamento Reciclado PET para Impresión 3D

**Subtítulo:** Economía circular, tecnología educativa y emprendimiento sustentable desde las aulas.

**Resumen Ejecutivo:** "Plástico a Futuro" integra tecnología, educación, reciclaje y emprendimiento en un modelo productivo escalable que transforma botellas PET en filamento para impresoras 3D, utilizando extrusoras caseras de bajo costo, construidas con materiales reciclados. Este proyecto no solo genera un producto vendible (filamento PET reciclado) sino también un servicio asociado (extrusión a pedido, capacitación y asesoramiento técnico para la construcción de extrusoras). Es un emprendimiento educativo-tecnológico con impacto ambiental positivo, creado por estudiantes de escuelas secundarias técnicas de Chubut. Propone una solución local, accesible y replicable para reducir residuos plásticos y abastecer la creciente demanda de insumos de impresión 3D en la región.

**Objetivo General:** Transformar residuos de botellas PET en un recurso tecnológico vendible (filamento para impresión 3D), mediante la construcción y aplicación de extrusoras caseras realizadas con materiales reciclados.

### **Objetivos Específicos:**

- Producir y comercializar filamento 3D reciclado de alta calidad.
- Ofrecer servicios de extrusión a terceros (Instituciones, ONGs, Cooperativas).
- Desarrollar kits educativos de extrusoras caseras para escuelas.
- Promover la economía circular, la conciencia ambiental y la innovación sustentable.

### **Datos sobre el consumo y aprovechamiento del PET:**

En Argentina se generan aproximadamente 49.300 toneladas de residuos sólidos urbanos por día, lo que equivale a cerca de 18 millones de toneladas anuales, con una generación per cápita de 1,15 kg diarios (LA NACION, 2024). Del total de estos residuos, alrededor del 30 % corresponde a envases, entre ellos los fabricados con tereftalato de polietileno (PET), que representan una fracción significativa del flujo de materiales reciclables (Wikipedia, 2025).

Según datos de la Cámara Argentina de la Industria del Plástico, se descartan aproximadamente 200.000 toneladas de envases PET por año, con una tasa de recuperación cercana al 30 % (CAIPLAS, s. f.). A nivel nacional, el reciclado de plásticos alcanzó en 2023 unas 294 000 toneladas, lo que implica un incremento de casi cinco veces en las últimas dos décadas (Ecoplas & CAIPLAS, 2024).

Cada botella de 600 ml pesa en promedio 25 gramos, por lo que para obtener 1 kilogramo de filamento reciclado para impresión 3D se necesitan unas 40 botellas.

El PET recuperado no solo tiene aplicaciones en la fabricación de filamentos, sino también en textiles, envases, mobiliario, materiales para la construcción y componentes automotrices, lo que lo convierte en un recurso versátil y de alto valor industrial.

Además, su reutilización ofrece un impacto ambiental significativo: producir PET reciclado genera más de un 60 % menos emisiones de CO<sub>2</sub> que producir PET virgen, contribuyendo así a reducir la huella de carbono y el consumo de recursos no renovables.

### **Producto:** Filamento 3D reciclado de PET

- Diámetro: 1.75 mm (tolerancia  $\pm 0.05$  mm)
- Presentación: bobinas de 500 g o 1 kg
- Color: natural (translúcido), opcional colores
- Embalaje: ecológico, con sílica gel y rotulado
- Aplicaciones: prototipado, piezas educativas, repuestos, arte, herramental ligero

### **Importancia del filamento reciclado como bien de consumo:**

- Permite acceso a material para impresión 3D a bajo costo.
- Genera un nuevo mercado local de insumos tecnológicos.
- Sustituye importaciones, promoviendo producción nacional.
- Aporta valor agregado al reciclaje: transforma residuos en producto industrial.
- Es demandado en escuelas técnicas, laboratorios de prototipado y pymes tecnológicas.

### **Servicios Complementarios:**

1. **Extrusión a pedido:** el usuario entrega PET limpio y se le devuelve filamento para impresoras 3D.
2. **Capacitación:** talleres de reciclado y tecnología 3D en escuelas.
3. **Venta de kits DIY:** diseño y venta de kits para construir extrusoras.
4. **Consultoría técnica:** asesoramiento personalizado para instituciones.

### **Diagrama de flujo del proceso productivo:**

El proceso comienza con la recolección de botellas PET: Estas pueden provenir de campañas escolares, donaciones de la comunidad o acuerdos con cooperativas y centros de reciclado, como se puede visualizar en la **Figura 1**.

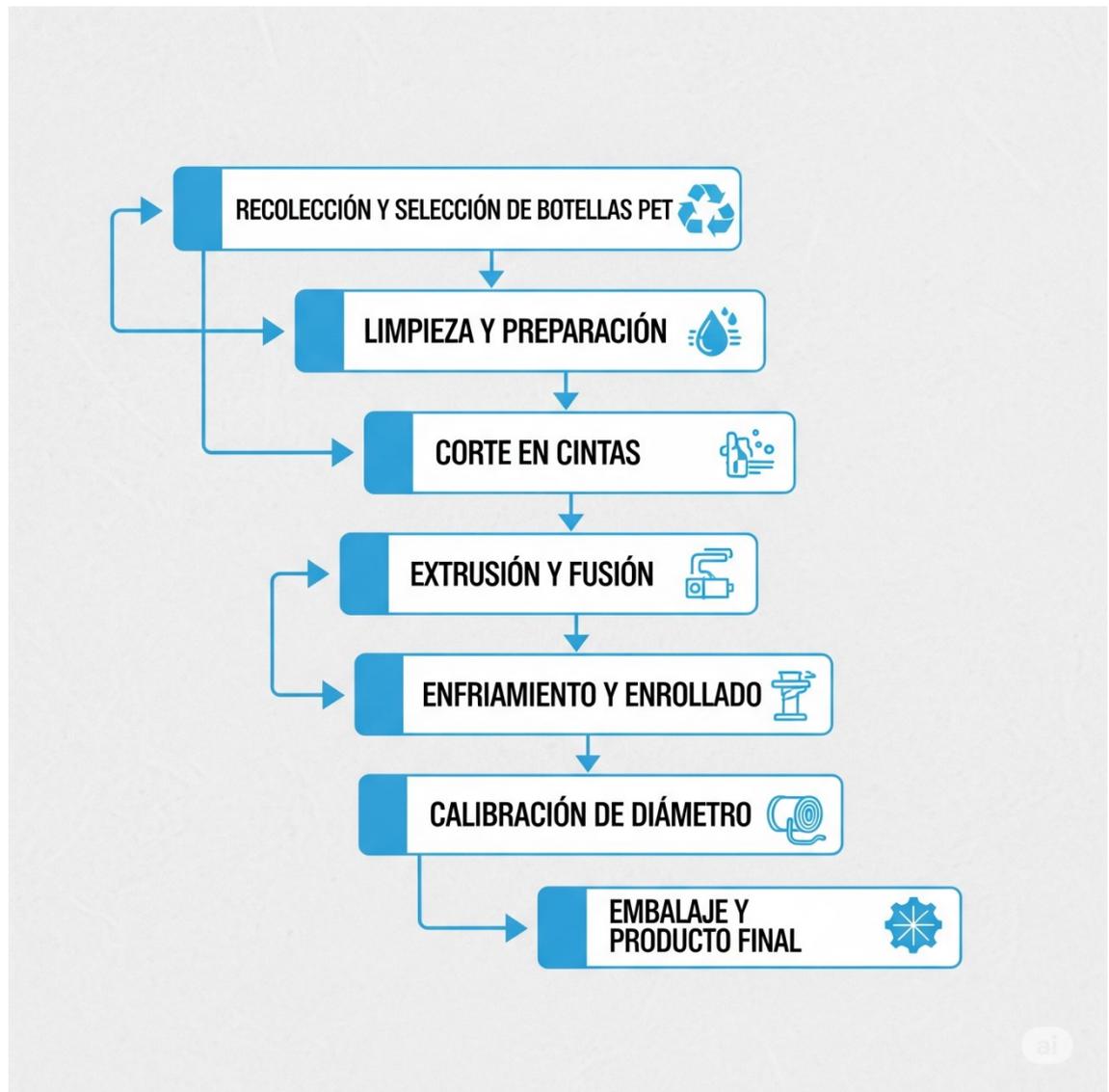
Una vez reunidas, las botellas pasan a la etapa de limpieza: Primero se retiran etiquetas y tapas (que suelen ser de otros plásticos como PP o PE), y luego se lavan con agua y detergente para eliminar restos de bebidas o suciedad. Esta fase es clave, porque un PET limpio asegura un filamento de mejor calidad y menos impurezas durante la extrusión.

Después, las botellas limpias se llevan a la fase de corte. Se utilizan herramientas manuales para transformarlas en cintas o tiras de plástico. Este paso no solo reduce el volumen del material, sino que también lo deja en el formato adecuado para que la extrusora pueda alimentarlo de forma continua y uniforme.

Las cintas de PET pasan a la extrusora. Allí, el material se introduce en una cámara de calentamiento controlada por termistores y resistencias eléctricas. El PET se funde a temperaturas cercanas a los 250–260 °C, y luego se empuja a través de una boquilla calibrada que le da el diámetro final: 1,75 mm, con una tolerancia muy baja para garantizar que funcione correctamente en cualquier impresora 3D.

Mientras el filamento caliente sale de la boquilla, se enfría de forma gradual con ventiladores para que mantenga su forma. Finalmente, se enrolla en bobinas, se pesa y se embala con un empaque ecológico que incluye bolsitas de sílica gel para absorber la humedad.

El resultado final es un filamento listo para usar, aquí cabe destacar que al menos 40 botellas ya no terminarán contaminando el ambiente, y que ahora se transforman en piezas útiles, prototipos o proyectos educativos.



**Figura 1: Diagrama de flujo del proceso productivo “Plástico a Futuro”**

#### **Factibilidad Comercial:**

#### **Oferta Actual:**

- No existe producción local de filamento reciclado PET en Chubut.
- Escuelas, pymes y asociaciones dependen de PLA/ABS importado.

#### **Demanda:**

- Creciente uso de impresoras 3D en escuelas y programas estatales.
- Interés comunitario en proyectos con impacto ambiental.

- Necesidad de insumos más accesibles y sustentables.

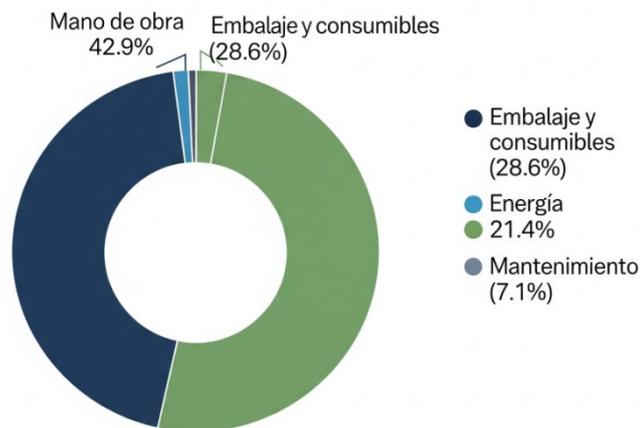
### **Análisis de Costos y Beneficios (por kg de filamento, precios tomados en pesos Argentinos):**

El costo total de producción de un kilogramo de filamento es de **\$700 pesos argentinos**. El siguiente gráfico de torta (**Figura 2**), se puede observar el costo del peso de cada rubro en el proceso productivo.

El rubro que más impacta en el costo total es la mano de obra, que representa casi la mitad del gasto. El embalaje y los consumibles también tienen una participación significativa, seguidos por la energía necesaria para la extrusora. Por último, el mantenimiento de los equipos es el rubro con el menor porcentaje del costo.

Estos datos son clave para entender la estructura de costos del proyecto y para identificar posibles áreas de mejora en la eficiencia, como la optimización del consumo energético o la negociación de precios de materiales de embalaje.

**Costo por categoría (por kg de filamento)**



**Figura 2: Costo por producción de filamento.**

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

Podemos observar el costo de producción en la siguiente tabla:

<b>Concepto</b>	<b>Costo (en pesos Argentinos)</b>
Energía	150
Mano de obra	300
Mantenimiento	50
Embalaje y consumibles	200
<b>Costo total</b>	<b>700</b>

### Valores y análisis económico

En el relevamiento de mercado realizado en Mercado Libre Argentina (Agosto 2025) se encontraron los siguientes precios para filamentos PET y PETG de 1 kg:

<b>Tipo de Filamento</b>	<b>Precio Aproximado (en pesos argentinos)</b>
PET reciclado (B-PET, 100 % reciclado)	\$43.000 – \$46.000
PETG convencional (Gst3d)	\$15.000

### Margen de ganancia estimado

Si se comercializa el producto a distintos precios de referencia:

- Precio bajo (competitivo con PETG):** \$14.000/kg
  - o Margen: \$13.300/kg
  - o Rentabilidad: **+2043 %**
- Precio medio (mitad de precio del PET reciclado premium):** \$20.000/kg
  - o Margen: \$19.300/kg
  - o Rentabilidad: **+2757 %**
- Precio alto (equiparable al B-PET):** \$45.000/kg
  - o Margen: \$44.300/kg Rentabilidad: **+6328 %**

### Punto de equilibrio

Con un costo fijo estimado para el prototipo y puesta en marcha de **\$20.000**, el punto de equilibrio se alcanza con:

- **0,44 kg vendidos a precio alto (\$45.000/kg)**
- **1 kg vendido a precio medio (\$20.000/kg)**
- **1,33 kg vendidos a precio bajo (\$14.000/kg)**

El análisis muestra que incluso con un precio bajo, el margen es muy elevado y permite cubrir rápidamente la inversión inicial. Esto refuerza la viabilidad económica y el impacto ambiental positivo del proyecto, al ofrecer un producto reciclado de alta calidad con precios competitivos frente al mercado actual.

### Innovación y Ventajas Competitivas:

- Producto con bajo impacto ambiental.
- Precio competitivo frente a insumos importados.
- Desarrollo local con materiales reciclados.
- Modelo educativo y replicable.
- Triple impacto: social, ambiental, educativo.

### Estrategia de Escalabilidad:

- Red de escuelas productoras en la provincia.
- Creación de una marca colectiva escolar.
- Vinculación con municipios y cooperativas de reciclado.
- Comercialización en ferias, redes sociales y plataforma provincial.

### Impacto Esperado

- **Ambiental:** 40 botellas recicladas = 1 kg de filamento. Con 30 kg/mes → 1.200 botellas/mes recuperadas.
- **Económico:** reducción de costos en insumos tecnológicos y generación de ingresos.
- **Social:** empoderamiento estudiantil y formación técnica aplicable a la industria.

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

### **Conclusión:**

"Plástico a Futuro" es más que un proyecto técnico: es una propuesta real de desarrollo productivo, educativo y ambiental, con impacto positivo en la provincia del Chubut. Con bajo costo de entrada, alto impacto social y potencial de escalado, representa una solución innovadora y sustentable con un producto y un servicio que responden a una necesidad concreta: convertir un problema (el PET descartado) en una oportunidad de negocio con conciencia ecológica.

### **Bibliografía consultada**

Alice, N. V. (2023). Diseño de sistema embebido para máquina de reciclaje de PET. *Elektron: ciencia y tecnología en la electrónica de hoy*, 7(1), 34-39.

CAIPLAS. (s. f.). Situación del PET en Argentina: cantidad de descartes y reciclado. Apoidea. <https://apoidea.co/novedades/ruta-del-pl%C3%A1stico-de-envases-pet-en-argentina>

Ecoplas, & CAIPLAS. (2024, 8 de agosto). El reciclado de plástico en Argentina se multiplicó por cinco en 20 años. Swissinfo. <https://www.swissinfo.ch/spa/reciclado-de-pl%C3%A1stico-se-multiplica-por-5-en-20-a%C3%B1os-en-argentina-y-aspiran-a-impulsar-ley/86430173>

Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires. (s. f.). Plásticos de un solo uso. <https://buenosaires.gob.ar/residuos-especiales/plasticos-de-un-solo-uso>

Gómez, Laura. *Reciclaje de plásticos: teoría y práctica*. Buenos Aires: EcoEdiciones, 2018.

Holguín Chaux, J. S., & Montes Torres, Y. N. (2024). Producción sostenible de filamento PET con botellas reciclables en la Universidad de América para impresoras 3D.

LA NACION. (2024, 17 de mayo). En Argentina se generan per cápita 1,15 kg de residuos por día: qué acciones tomar para reducir este impacto. <https://www.lanacion.com.ar/lifestyle/en-argentina-se-generan-per-capita-115kg-de-residuos-por-dia-que-acciones-tomar-para-reducir-este-nid17052024>

Lopez, i. H., & villamil, j. S. M. (2024). Prototipo de una máquina extrusora de filamento para impresión 3d a partir del reciclado de botellas pet.

Moreno-Schribertschnik, F., & Martinez, F. (2024). Elaboración de filamentos para impresión 3D a partir del reciclaje de botellas plásticas. *Revista Científica de la UCSA*, 11(3), 3-23.

Recycl3DPrint. (s.f.). Recycl3DPrint. Recuperado el 5 de abril de 2025, de <https://www.recycl3dprint.com>.

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

RepRap. (s.f.). Recyclebot. <https://reprap.org/wiki/Recyclebot>. Recuperado el 3 de abril de 2025.

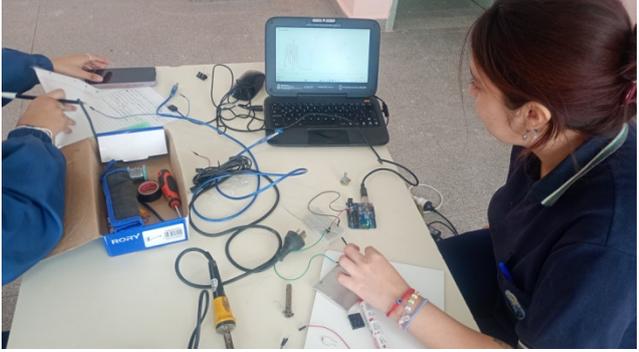
Smith, John. 3D Printing with Recycled Materials. Maker Press, 2020.

Wikipedia. (2025). Residuos sólidos urbanos en Argentina. En Wikipedia. [https://es.wikipedia.org/wiki/Residuos\\_s%C3%B3lidos\\_urbanos\\_en\\_Argentina](https://es.wikipedia.org/wiki/Residuos_s%C3%B3lidos_urbanos_en_Argentina)

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

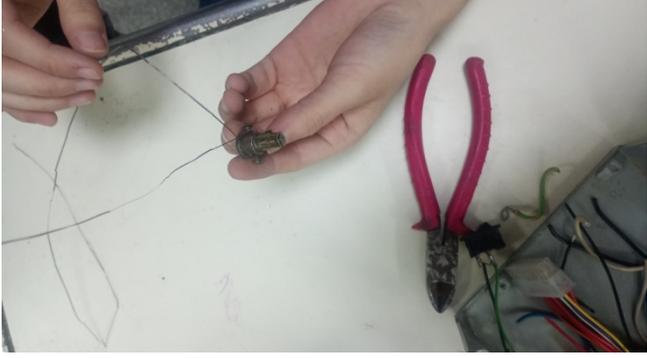
## Anexos

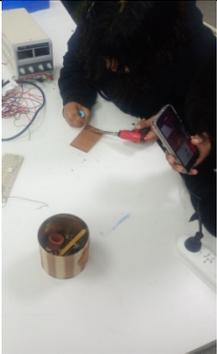
Etapas de desarrollo.

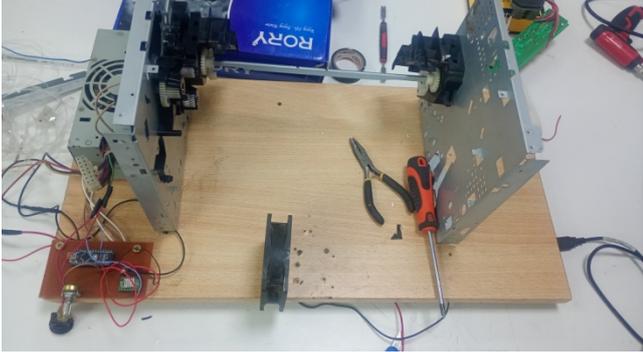
Etapas del armado	Fotos
<p>Ensayo con termistor: Pruebas de control de temperatura con cautiñ.</p>	
<p>Ensayo con cautiñ: Observaciones temperatura alcanzada 380 °C.</p>	
<p>Prueba de corte de botellas.</p>	
<p>Técnicas de corte de botellas.</p>	

<p>Búsqueda de motor de tracción con engranajes de una impresora vieja.</p>	
<p>Fijación en madera.</p>	
<p>Obtención de componentes de circuitos reciclando material.</p>	
<p>Reciclaje de resistencia de tostadora.</p>	

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

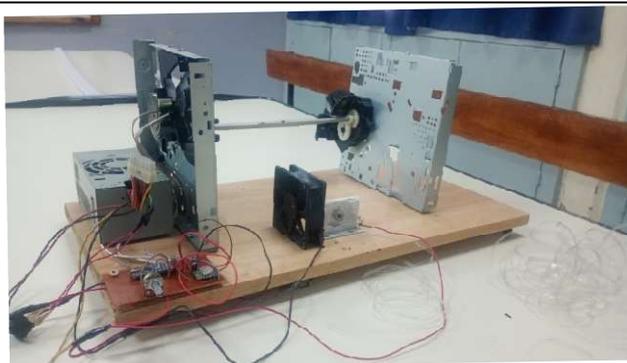
<p>Analizando como usar la resistencia de la tostadora.</p>	 A close-up photograph showing a person's hands using red-handled pliers to strip the insulation off a thin wire. The wire is held taut, and the pliers are positioned to cut through the outer layer. The background is a plain white surface.
<p>Probando resistencia calefactora de tostadora.</p>	 A photograph of a person in a dark jacket testing a resistor. They are holding the resistor with one hand and the multimeter probes with the other. On the table in front of them is a multimeter with a red display showing '199   122', a blue storage box, and other electronic components. The setting appears to be a classroom or workshop.
<p>Ensamblando partes.</p>	 A photograph showing a person using a hand saw to cut a piece of wood on a workbench. The person's hands are visible, and the saw is positioned vertically, cutting through the wood. The workbench is light-colored, and there are some tools and materials scattered around.
<p>Fijación de la estructura de tracción.</p>	 A photograph showing a person using a hand saw to cut a piece of wood on a workbench. The person's hands are visible, and the saw is positioned vertically, cutting through the wood. The workbench is light-colored, and there are some tools and materials scattered around.

<p>Elección de la boquilla.</p>	
<p>Pruebas de funcionamiento con el extrusor.</p>	
<p>Visitas a la unidad de gestión de residuos de Comodoro Rivadavia.</p>	
<p>Soldadura de componentes en placa perforada.</p>	

<p>Pruebas de continuidad entre pistas: verificando soldadura.</p>	
<p>Soldadura de Arduino nano, con componentes y driver de control A4988.</p>	
<p>Fijación de componentes en la maqueta.</p>	
<p>Armando el extrusor, modificamos el anterior, porque no funcionaba bien, a este lo bañamos en yeso para proteger del calor y del contacto con el cuerpo físico.</p>	

Escuela N° 7715 – Estudiantes Camila Panguilef, Matias Cruz, Victoria Jauregui y Dylan Castillo. Docentes Tutores – Mac Donald Guillermo Andrés y Daiana Torres.

Maqueta terminada.



Filamento extruido.

