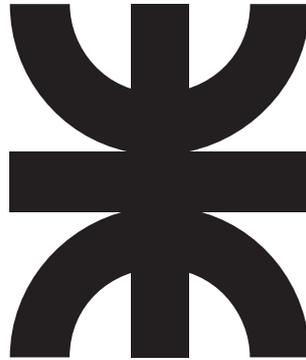


**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL  
FACULTAD REGIONAL CORDOBA**



**TESIS DOCTORAL  
DOCTORADO EN INGENIERIA - MENCIÓN MATERIALES**

**MATERIAL COMPUESTO DE PLÁSTICO RECICLADO EN  
LA PRODUCCIÓN DE PERFILERÍA PARA ABERTURAS**

**CEVE - CINTEMAC  
ARQ. JULIAN GONZALEZ LARIA  
2020**





**MATERIAL COMPUESTO DE PLASTICO  
RECICLADO EN LA PRODUCCIÓN DE  
PERFILERÍA PARA ABERTURAS**

Aplicación a un proceso productivo para una tecnología social



A mis directores por su gran ayuda, a mi familia, mi compañera  
y a mis compañeros, amigas y amigos del CEVE muchas gracias

## **AGRADECIMIENTOS**

Quisiera extender un profundo agradecimiento a quienes han hecho posible la realización de esta tesis, a los directores Dra. Rosana Gaggino, Dr. Jerónimo Kreiker y Dra. María Positieri e investigadores del CEVE y CINTEMAC por su ayuda y apoyo. En general al personal, técnicos y becarios de ambas instituciones quienes han participado activamente. También muy especialmente a quienes han hecho posible la estancia en Brasil, con la cual pudo aportarse al trabajo de forma central, el Dr. Alexandre Bertini de la UFC Fortaleza y al Ing. José Maria Neto y el personal del TECOMAT de Recife, por su ayuda desinteresada. Al Consejo Nacional de Investigación Científica y Tecnológica por la financiación durante la realización de esta tesis.

Por otra parte, a mi compañera Gabi y a mi familia, por su apoyo y cariño además de tantas y largas charlas con consejos acerca del trabajo. A todos y todas quienes me ayudaron en este camino, muchas gracias.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL**

**FACULTAD REGIONAL CORDOBA**

**TESIS DOCTORAL**

Doctorado en Ingeniería mención Materiales

**“MATERIAL COMPUESTO DE PLÁSTICO RECICLADO EN LA PRODUCCIÓN DE PERFILERÍA  
PARA ABERTURAS”**

Doctorando: Arq. Julián González Laría

Directora: Dra. Rosana Gaggino

Codirectores: Dra. María Josefina Positieri - Dr. Jerónimo Kreiker



# UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

Tesis para la obtención del título de Doctor en Ingeniería con mención Materiales Tribunal y créditos académicos aprobados el 18 de febrero de 2020, mediante Resolución del Consejo Superior 274/2020

Córdoba, 16 de abril del 2020 - Doctorando Arq. Julián Gonzalez Laría

Miembros del jurado

-----  
Arq. Aurelio Ferrero

-----  
Dr. Arturo Maristany

-----  
Dra. Bárbara Belén Raggiotti



# Índice

1. Introducción	p.03
1.1. Marco teórico	p.10
1.2. El problema de los residuos plásticos	p.23
1.3. Los primeros desarrollos en la temática	p.30
1.4. Estado del arte	p.37
Bibliografía Capitulo 1	
2. Metodología de investigación	
2.1. Problema de investigación	p.42
2.2. Objetivos	p.43
2.3. Hipótesis	p.44
2.4. Metodología general	p.47
2.5. Desarrollo de materiales	p.48
Bibliografía Capitulo 2	p.48
3. Etapa exploratoria	p.50
Bibliografía Capitulo 3	p.60
4. Resultados en Material Compuesto	p.63
4.1. Resistencia a compresión	p.67
4.2. Resistencia a tracción	p.70
4.3. Resistencia a flexión	p.76
4.4. Resistencia al fuego	p.82
4.5. Comportamiento térmico	p.93
Bibliografía Capitulo 4	
5. Resultados de prototipos	p.97
5.1. Fabricación	p.102
5.2. Aspectos constructivos	p.105
5.3. Desempeño de prototipo	p.107
Estanqueidad	p.108
Resistencia mecánica	p.110
Manejo y maltrato	
5.4. Conclusiones	p.114
Bibliografía Capitulo 5	
6. Tecnologías de fabricación de aberturas	p.116
6.1. Carpintería tradicional y actual	p.117
6.2. Ventanas de hormigón	p.121
Bibliografía Capitulo 6	p.135
7. Análisis de ciclo de vida (ACV)	
7.1. Introducción	p.138
7.2. Análisis de inventario	p.142
7.3. Consumo energético de fabricación	p.143
7.4. Análisis de datos	p.147
7.5. Conclusiones	p.149
Bibliografía Capitulo 7	p.150

8. Conclusiones	p.155
8.1. Conclusiones de investigación	p.153
8.2. Líneas de investigación futuras	p.154
9. Anexo fotográfico	p.160

# Índice de figuras

1. Introducción	
1.1. El hombre alimentado por las máquinas en “Tiempos modernos”.	p.04
1.2. Escalas de la pirámide del manejo de residuos	p.11
1.3. “How long until it’s gone”	p.11
1.4. Cantidad de residuos plásticos (kg por habitante) generados a nivel mundial por país año 2015	p.12
1.5. Composición de los residuos según niveles de ingreso por persona en promedio	p.13
1.6. Residuos plásticos (Kg) generados a nivel mundial por país año 2015	p.14
1.7. Cantidad de plásticos producidos a nivel mundial	p.15
1.8. Porcentaje en el tipo de manejo de residuos RSU a nivel mundial por países.	p.16
1.9. Diagrama de Sankey sobre producción total de plásticos a nivel mundial (1950-2015 en Mt)	p.18
1.10. Valores de referencia internacional del precio del petróleo crudo	p.19
1.11. Composición de residuos (%) en CABA y AMBA 2017	p.20
1.12. Valores de generación de RSU/habitante en provincias argentinas	p.21
1.13. Objetos antiguos producidos en baquelita	p.24
1.14. Residuo procedente de Silobolsas de PEBD y PEAD, luego de la primera etapa de procesado	p.27
1.15. Estructura molecular de polímeros PE PET y PP	p.28
1.16. Desarrollos de plásticos mezcla moldeados, Brickarp (A), Timberecco (B,C), EL Vendaval (D).	p.34
2. Metodología de investigación	---
3. Etapa exploratoria	
3.1. Mezcla plástica molida previa a la extrusión (izquierda) Mezcla extruida (derecha)	p.51
3.2. Mezcla plástica extruida 220 °C (izquierda) y 240 °C (derecha)	p.52
3.3. Probetas prismáticas ensayadas de formulación F1 a F5 (izquierda a derecha)	p.53
3.4. Resistencia comparada Paralela y Perpendicular al sentido de inyección mezcla PET/PE	p.54
3.5. Tensión vs. Deformación paralela a las fibras de formulación F1 y F5	p.54
3.6. Porcentajes de vacíos en probetas, análisis por imagen digital	p.55
3.7. Valores de densidad de probetas Serie 1 (rectangulares) y 2 (cilíndricas)	p.55
3.8. Resistencia y deformación a flexión de probetas rectangulares	p.56
3.9. Ensayos de termo moldeo (1 Barras de 40 x 40 x 150 mm, 2 Teja en molde de aluminio, 3 Placas de 300 x 300 x 10 mm)	p.57

4. Resultados en Material Compuesto	
4.1. Valores de resistencia a compresión de series 50/50 y 65/35 (negro y rojo respectivamente)	p.64
4.2. Variabilidad de la resistencia a compresión según la temperatura de extrusión	p.66
4.3. Detalle de probeta ensayos a tracción ISO 527-1	p.68
4.4. Detalle de probeta ensayos a tracción barras extruidas de sección cuadrada (A) tipo norma ISO 527-1 (B)	p.68
4.5. Resistencia a tracción de series ensayadas promedio y valor de desviación estándar	p.69
4.6. Detalle de ensayo a flexión de probetas prismáticas	p.70
4.7. Resistencia a tracción comparada de MC desarrollado y diferentes polímeros	p.72
4.8. Resistencia a compresión comparada de MC desarrollado y diferentes polímeros	p.72
4.9. Resistencia a flexión comparada de MC desarrollado y diferentes polímeros	p.73
4.10. Imágenes de microscopía SEM con detección de elementos O y C en layers combinados	p.74
4.11. Imágenes de microscopía SEM con detección de elementos O y C en capas individuales	p.74
4.12. Imágenes de morfología interna del material en probetas ensayadas	p.75
4.13. Esquema del ensayo UL94 Vertical	p.76
4.14. Pasos de la ignición por el método norma UL94	p.78
4.15. Pasos del ensayo por el método del Filamento incandescente	p.80
4.16. Esquema de medición de datos	p.84
4.17. Estudio experimental de la conductividad térmica.	p.84
4.18. Imágenes de microscopía SEM en la superficie interna del material ensayado a compresión	p.85
4.19. Extrusión modificada; Calentamiento (1) Boquilla extrusión (2) Molde de enfriamiento (3)	p.85
4.20. Diseño prototipo de ventana con DVH, vista y corte detalle	p.87
4.21. Valores de densidad vs conductividad térmica del material	p.88
4.22. Corte (A) y pruebas de atornillado de perfilería (B)	p.91
5. Resultados de prototipos	
5.1. Corte constructivo de los perfiles diseñados,(A) en moldes y (B) aserrados con bota-agua y contra vidrios	p.98
5.2. Moldes de inyección indirecta; (1) boca de inyección, (2) cara superior de molde, (3) cara inferior de molde de chapa plegada	p.98
5.3. Sistema de extrusión con molde guía; Final de extrusora (A) Molde guía (B) Pieza de soporte interior (C)	p.98

5.4.	Molde de chapa para inyección de perfiles plásticos	p.99
5.5.	Sectores de la sección tomados para muestra de densidad (A) y vacíos en porcentaje (B) corresponde al promedio de tres secciones en cada pieza	p.100
5.6.	Aserrado longitudinal de perfiles para colocación de vidrio.	p.101
5.7.	Fusión de perfiles en uniones (A-B) y marco completo de ventana con vidrio (debajo).	p.103
5.8.	Diseño de prototipo de ventana para ensayos de desempeño de vidrio simple	p.106
5.9.	Prototipo instalado previo a ensayos	p.107
5.10.	Prototipo del componente de ventana en ensayo de maniobra	p.108
5.11.	Escurrimiento inferior sobre el plano interno de la cámara de ensayo	p.111
6.	Técnicas de fabricación de aberturas	
6.1.	Modelos de ventanas comerciales de abrir de PVC (A), Madera compensada (B) y Aluminio (C)	p.118
6.2.	Comparativa de los tipos de materiales usados y etapas automatizadas o manuales en cada tipo de tecnología	p.120
6.3.	Ventana de hormigón en prototipo BENO – CEVE (1986) Fuente: Web <a href="http://www.ceve.org.ar">www.ceve.org.ar</a> .	p.121
6.4.	Detalle en corte y planta de modulo completo. Fuente: (C.E.V.E. 2006)	p.122
6.5.	Módulos combinables para cerramiento. Fuente: (C.E.V.E. 2006)	p.123
6.6.	Sistema de placas y ventanas hormigón durante su montaje. Fuente: Web <a href="http://www.ceve.org.ar">www.ceve.org.ar</a>	p.126
6.7.	Detalles ventana modulo medio y mínimo	p.126
7.	Análisis de ciclo de vida (ACV)	
7.1.	Diagrama de procesos de la producción de ventanas	p.140
7.2.	Momentos del proceso de fabricación y montaje	p.141
7.3.	Análisis general de inventarios	p.142
7.4.	Unidad funcional componente de ventana prototipo utilizado	p.146
7.5.	Comparación de CAE con ventanas de madera	p.147
7.6.	Composición del total de CAE (Mj) del proceso productivo completo de la producción del modelo de ventana propuesta	p.148



## Notación y nomenclatura

ABNT.....	Asociación Brasileira de Normas Técnicas
ABS.....	Copolímero acrilonitrilo-butadieno-estireno
ACV.....	Análisis de ciclo de vida
BR.....	Polibutadieno
CABA.....	Ciudad Autónoma de Buenos Aires
CAC.....	Acetato de celulosa
CAE.....	Consumo acumulado de energía
CV.....	Coefficiente de variación porcentual respecto al promedio
CN.....	Nitrato de celulosa
CPE.....	Polietileno clorado
CPVC.....	Polietileno cloro-sulfonado
CyT.....	Ciencia y tecnología
DS.....	Desarrollo sostenible
EVA.....	Copolímero etileno-acetato de vinilo
IAPG.....	Instituto Argentino del Petróleo y el Gas
IRAM.....	Instituto Argentino de Racionalización de Materiales
MC.....	Material compuesto
NBR.....	Norma Brasileira de construcción
OPEP.....	Organización de Países Productores de Petróleo
PA.....	Poliamida
PC .....	Policarbonato
PE .....	Polietileno
PEAD .....	Polietileno de alta densidad
PEBD .....	Polietileno de baja densidad
PET .....	Polietilen tereftalato
PEUAD .....	Polietileno de ultra alta densidad
PP.....	Polipropileno
PR.....	Resina fenol-formaldehído

PS.....	Poliestireno
PU.....	Poliuretano
PVAC.....	Poliacetato de vinilo
PVC.....	Policloruro de vinilo
RSU.....	Residuos sólidos urbanos
SAyDS.....	Secretaria de ambiente y desarrollo sustentable
TA.....	Tecnología apropiada
TS.....	Tecnología social
UR.....	Resina ureica-formaldehído
UV.....	Ultravioleta

## Resumen

La presente investigación realiza un análisis de diferentes visiones teóricas sobre la tecnología, sus implicancias y límites, para determinar un marco teórico para el desarrollo tecnológico. En este caso aportar a la idea de las tecnologías sociales (TS) para un contexto inclusivo.

A su vez, se propone el desarrollo de un material compuesto por plásticos reciclados de los residuos sólidos urbanos (RSU) evaluando su comportamiento, hasta obtener una formulación óptima y apta para su aplicación a la producción de perfilera para aberturas de construcción. El rubro de aberturas es actualmente central en la construcción del hábitat, por el impacto que genera en el consumo energético de los edificios y su costo económico. Pero es un tema infrecuente en la investigación en materiales de construcción, siendo relegado su desarrollo a las aplicaciones de la gran industria o high tech.

El material compuesto obtenido, a partir de polímeros plásticos de residuos 100% con una técnica de extrusión/inyección de simple aplicación, evidenció valores de resistencia mecánica mayores a 30 MPa en ensayos a compresión y 20 MPa a flexión, verificando a la normativa aplicable. A su vez, con el agregado de un 10% de aditivos ignífugos y carga mineral, fue un material autoextingible en ensayos de comportamiento al fuego, verificando en el nivel máximo.

Finalmente, con el estudio del desempeño de prototipos fabricados, se obtuvieron resultados positivos de conductividad térmica, menor a perfiles comerciales comparables, y de estanqueidad al agua y al aire. También pudo verificarse, la aplicación positiva de las técnicas de carpintería tradicionales a los nuevos perfiles producidos.

Los prototipos fueron fabricados, así como la matricería utilizada en el proceso, con técnicas de fabricación sencillas, al alcance de productores del sector local, del reciclado de los plásticos y de las carpinterías de aberturas. Estas y otras decisiones técnicas que se tomaron en el proceso, son la base para el desarrollo de una TS en una futura etapa.

La presente tesis aporta el análisis de numerosas variables del desarrollo tecnológico y plantea una tecnología de código técnico abierto, que podrá complementarse en una producción a mayor escala de componentes, con los aportes futuros generados.

## **Abstract**

The present research carries out an analysis of different theoretical visions on technology, its implications and limits, to determine the guidelines from which objectives for technological development are proposed. In this case, contribute to the idea of social technologies (ST) for inclusive context.

In this way, the development of a composite material of recycled plastics from urban solid waste (MSW) is proposed, evaluating its behavior, to obtain an optimal compound that can be applied to pre-profiling production for windows frames. Windows design and technology, is currently central in the construction industry, on account of its impact on building energy consumption and economic cost. But it is an infrequent subject in the construction materials research field, and its development is relegated to the applications of the great industry or high tech.

The composite material obtained, from 100% waste plastic polymers with a simple extrusion/injection technique, shows sufficient mechanical resistance values, raising 30 MPa in compression tests and 20 MPa in flexion, verifying the applicable regulations. In turn, the material achieved a self-extinguishing behavior in fire resistance tests, verifying at the normative maximum level, with the addition of 10% fire retardant and other mineral additions. Finally, positive results were obtained in the study on window prototypes performance, for thermal conductivity, lower than other commercial profiles, and for water and air tightness. The positive application, of wood carpentry techniques to the new profiles could also be verified. The windows prototypes, as well as the moulds used in the extrusion/injection process, were produced with simple techniques, also available in the local plastics recycling and windows carpentry sector. These and other technical decisions made in the process are the basis for the development of ST in a future stage.

This thesis contributes in the analysis of numerous variables in technological development and proposes an open source code, which may be complemented in future scaled production, with future provided knowledge.

## 1. Introducción

La presente tesis doctoral se inscribe en el marco del Doctorado en Ingeniería mención materiales, de modalidad cooperativa, de la Universidad Tecnológica Nacional (UTN) en su Facultad Regional Córdoba.

En este caso con la particularidad de un enfoque para las Tecnologías Apropriadas o Sociales y en forma más general desde el pensamiento de la tecnología crítica, en escala, complejidad y formas de aplicación pensadas para la inclusión social.

Se trata de un trabajo interdisciplinario, con objetivos múltiples; de sustentabilidad, con el aporte de una tecnología de aprovechamiento de materiales de residuos y en un análisis de ciclo de vida, de menor consumo de energía en su proceso; desde la Tecnología Social, para un desarrollo inclusivo, participativo y receptivo de modificaciones locales y con la Ingeniería de materiales, del desarrollo y estudio de un material plástico mezcla, con propiedades físicas y mecánicas aptas para un material de construcción.

De esta manera se propone el desarrollo de un material y también un sistema de fabricación para la producción de aberturas, con las técnicas de carpintería de madera, utilizando perfilería plástica de polímeros plásticos reciclados, de residuos sólidos urbanos y agroindustriales.

## 1.1 MARCO TEÓRICO

Todo desarrollo tecnológico puede ser comprendido como el reflejo o la consecuencia de aquellos posicionamientos, explícitos o no, que le precedieron en el diseño de la misma. En ese sentido, nos interesa abordar aquellas reflexiones teórico-conceptuales que nos permitan abrirnos a las reflexiones sobre aquellas implicancias y significados contenidos en los procesos de producción de tecnología.

Las tecnologías para el desarrollo de un determinado objetivo no son meros sistemas de producción ingenuos. Todo desarrollo tecnológico está fuertemente asociado a una visión filosófica y política. Como ya lo han expresado numerosos autores desde el campo de la filosofía, las tecnologías no son simples medios precedentes, que luego pueden ser usados de una u otra manera. Son en cambio poderosas fuerzas que también moldean nuestras formas de vida (Winner 2008).

Existe la visión instrumental tradicional de la tecnología, que sostiene la perspectiva de pretendida “neutralidad” del desarrollo tecnológico. Según esta mirada la tecnología es solo una herramienta, un instrumento, que puede utilizarse de diferentes formas en un hecho posterior. Con esta visión asociada a la racionalidad, se pone atención solo en el cómo se utiliza, es decir a la intención de una tecnología, dejando de lado el qué se produjo y en última instancia, con qué fin (Marcuse, 1964, citado en Winner 2008:60).

Probablemente la filosofía de la tecnología no tiene gran aceptación en los campos de desarrollo tecnológico, porque como sostiene una visión convencional, la relación de las personas con la tecnología es tan obvia y directa, que no merece mayor reflexión (Winner 2008). Existe esta visión engañosa, aparentemente razonable, de que la discusión se divide en las dos categorías de *hacer y usar*. Una primera donde, desde los espacios técnicos inherentes al desarrollo tecnológico (de los ingenieros, diseñadores, arquitectos, etc.) se generan desarrollos *positivos*, y se los mantiene en funcionamiento, mientras que, por el otro lado, los usuarios que correctamente han leído el manual confeccionado para tal caso, pueden poner esto en práctica, obteniendo los consecuentes beneficios.

Según esta perspectiva, la racionalización se expresa solo en la elección correcta de una estrategia técnica sobre otras, en instancia del desarrollo tecnológico, dejando de lado la trama social de intereses por la cual se eligen estas estrategias (Habermas 1986).

Pero de forma contrapuesta, ya se manifiesta desde las ideas de Marx (Marx & Engels 1935) a principios del siglo XX como la tecnología es parte e influyente en nuestra visión del mundo:

*“Los modos de producción no deben considerarse solamente en cuanto es la reproducción de la existencia física de los individuos. Es ya más bien, un determinado modo de la actividad de estos individuos, un determinado modo de manifestar su vida...”*

Con esta afirmación podemos entender que, en el contexto de Marx, una producción en serie en una línea de montaje fabril, producía objetos en serie, tipificados, sobre una sociedad de usuarios también tipificados. Y si estos medios productivos, estaban solo en manos de la burguesía industrial, la sociedad toda estaba en gran parte en sus manos también.

En los primeros años del siglo XX, nos encontramos también con producciones culturales, además de las académicas que, desde una clave crítica y humorística, revela las expresiones del modelo de producción fabril en todos los órdenes de la vida. Nos referimos a la obra cinematográfica de Chaplin, como es expuesto en la Figura 1.



Figura 1. El hombre alimentado por las máquinas en “Tiempos modernos”. Fuente: Chaplin, 1936

Así como las formas y modos de los procesos tecnológicos son, es un reflejo de cómo es nuestra sociedad. En ese sentido si la tecnología avanza por sobre nuestras vidas, y no pensamos en sus límites, de forma meramente instrumental, cualquier proceso puede adaptarse a una maquinaria.

Profundizando sobre esta visión primigenia de la producción, puede entenderse que las actividades que las personas realizamos todos los días, son un avance y una renovación de estas relaciones que moldean nuestra vida, siendo la tecnología una parte esencial de ellas. A lo largo de toda la vida, las personas se reúnen cada día a renovar la red de relaciones,

transacciones y significados que mantienen su existencia común (Winner 2008). De esta forma a medida que “hacemos funcionar las cosas”, estamos impactando en cómo es la realidad, y la gran pregunta es: ¿Qué clase de mundo estamos construyendo? Incluyendo la fabricación de instrumentos y procesos físicos, pero también la producción y reproducción de condiciones psicológicas, sociales y políticas, como parte de un proceso tecnológico.

En un libro clásico de la economía ecológica “Small is beautiful” (Schumacher 1973) desde la visión de las teorías económicas, se hacen ciertos aportes que son fundamentales para otra producción de tecnología, por fuera de la lógica del mercado. Plantea el autor que existe una visión errónea, dentro de quienes trabajan en ámbitos relacionados al desarrollo de tecnología, la de que los problemas de la producción ya han sido solucionados. Los numerosos adelantos científicos y técnicos dan la idea, de que todos los problemas han sido resueltos con nuevas tecnologías. Y que en ese sentido, cualquier problema futuro podría ser superado, con el empleo de las mismas herramientas, u otras nuevas a generar.

Esto se encuentra intrínsecamente relacionado con la visión económica liberal, en esencia los medios de producción son buenos, las tecnologías se adaptan a las necesidades humanas y el mercado, como institución superior, regula sus fuerzas dentro de la oferta y demanda.

Contrariamente, la visión Marxista aporta una crítica a la disparidad que existe entre los individuos e incluye el concepto de lucha de clases. Pero más allá de eso, no critica los modos productivos y las lógicas que los gobiernan. No hace una crítica sobre la tecnología en sí misma, sino sobre en manos de quien se encuentra. En este sentido es que Schumacher afirma la falsedad de creer que los métodos de producción ya han sido resueltos, que los avances tecnológicos son tales, que todo es o será posible si se lo desarrolla.

Como describe Pigem (2007) en su trabajo sobre la obra de Schumacher, la idea que aborda el autor finalmente es que nuestra sociedad podrá avanzar a los desarrollos más increíbles, pero con una visión de la concentración de la riqueza y una ambición insaciable, que la vuelve cada vez más incapaz de resolver los problemas cotidianos más elementales.

Habiendo trabajado en comunidades budistas en Birmania, como asesor de ese país, elabora una conclusión novedosa para su época; aquella economía oriental no tenía nada que aprender de la economía occidental. Comparó el sistema occidental moderno, que describió como orientado a la producción sin límites y a la acumulación monetaria y lo que él llama la

Economía Budista<sup>1</sup>, basada en la subsistencia y en una vida austera en el intermedio entre los excesos de la supervivencia o la opulencia. Esta teoría de la economía estaba orientada a maximizar el bienestar humano, que no está relacionado al consumo constante, por sobre la acumulación material y monetaria.

Llevando esta idea general a una visión sobre el desarrollo y la tecnología posteriormente Schumacher acuña el término que es utilizado luego por numerosos teóricos para aplicar a tecnologías de la construcción del hábitat. La conceptualización de lo que era, una necesaria nueva Tecnología Intermedia o Tecnología Apropriada (TA), es la de:

“métodos y aparatos suficientemente baratos para estar al alcance de todo el mundo, apropiados para ser utilizados a pequeña escala y compatibles con las necesidades creativas de los seres humanos”.

En una perspectiva opuesta, la expansión de las necesidades de consumo de recursos de cualquier tipo, sin límite, tiende a hacernos dependientes de fuerzas externas de las que no tenemos control. Muchas tecnologías para satisfacer esas necesidades son necesarias, pero (y aquí se ve un fin último de estas) nos hacen más dependientes en vez de hacernos más libres.

Entendemos que esta es la tecnología que buscamos, además de la que necesitamos para satisfacer de una manera sostenible las necesidades de nuestra sociedad. Una tecnología que no está constituida por procesos o productos acabados (Massuh, 2005) ya que, según nos muestran las experiencias de la tecnología *apropiada*, las mismas son un medio para lograr un objetivo, nunca un fin en sí mismo.

Si producimos tecnología como un fin, generamos meros *artefactos* de los que conocemos su función, pero no como se concibieron o con qué objetivo. Son desarrollados en el continuo de un avance infinito de la alta tecnología *high tech* (Dagnino 2004). Entonces podemos comprender que en esa visión más compleja es que no conocemos su lógica, lo que no conocemos genera ignorancia y a causa de esta, dependencia. En este caso aplicado a las tecnologías constructivas, Massuh arriba a una conclusión similar a la expuesta por Schumacher.

---

1 Como explica el propio autor, “economía budista” no incluye una visión religiosa, es un término simplificado para definir una economía más sostenible, que antepone “valores humanos de felicidad” ante las abstracciones de la economía de mercado.

Desde una mirada de las Tecnologías Sociales (TS) Dagnino (2016) aporta en un sentido similar, otras reflexiones desde el contexto Latinoamericano. Realiza una crítica a las TA ya desarrolladas (Faria, Dagnino & Novaes 2008), en donde describe lo que es a su criterio, un *determinismo tecnológico* incluido en los desarrollos de este tipo. De esa forma sostiene que, si bien los tecnólogos de TA realizan un aporte, su visión sigue sosteniendo una salvación a partir de la tecnología, aunque esta sea distinta. En ese sentido, si bien hay una tecnología pensada para generar y mantener la dependencia, una nueva tecnología no podría producir liberación en sí misma. Esto es lo que Dagnino sostiene, es una visión equivocada de los teóricos de las TA.

De todas formas, aporta de manera seguida que, ya existe un consenso ya sobre los que podría ser una tecnología social, muy diferente de aquella con la que operan las empresas en el sector formal.

Una tecnología tradicional (o del capital) se expresa en su fin de extraer más valor, del trabajo de quienes producen los bienes y servicios y a su vez generar el mayor lucro posible para quien es propietario de los bienes de producción. Haciendo así un análisis de diferencia de clases, que reconocemos de origen marxista y en el que vemos una profundización en ese sentido.

El aporte metodológico y conceptual que realiza se basa en que, para nuestro contexto “gana fuerza la idea de que es necesario, para reducir la miseria, desarrollar una tecnología muy diferente de la convencional” (p. 15 en Faria et al. 2008). Diferente de la que una empresa utiliza para intentar disminuir su costo laboral, que en nuestro caso es un valor y de superar a otras empresas e intentar incluso desaparecerlas, lo que nos sitúa por fuera de la economía de libre competencia.

Podríamos pensar que en palabras de Salas (1992) apuntamos a tecnologías apropiadas de la construcción o situadas, en otros términos, en su contexto. Para la visión de Dagnino una tecnología social. Sin embargo, aunque es complicado definir como sería específicamente esa tecnología, de qué forma desarrollarla, como hacer un avance en la reducción de los problemas sociales o “miserias” y de qué forma evaluarla, podemos intentar delinear criterios de ese desarrollo tecnológico.

En ese sentido y citando a Dagnino y otros (2009), incorporar y acercarse a la idea de una ciencia y tecnología (CyT) construida socialmente. Así recuperando definiciones que nos permitan arribar a variables con las que contrastar nuestro trabajo de tesis como criterios del desarrollo tecnológico de este tipo.

Entonces podemos listar que tomamos como parámetros de esta tecnología que:

- Utilizan materiales de disponibilidad cercana y sostenible
- Compuesta por un código técnico abierto y de fácil aprendizaje
- Capaz de viabilizarse en emprendimientos autogestionados horizontalmente
- Permite adaptaciones locales
- Valoriza la demanda mano de obra, su conocimiento práctico y necesidad creativa

Una tecnología que, si bien no es el único camino, aporta y se complementa con otras a la idea de la inclusión social.

Existe también otra visión dentro del desarrollo tecnológico que es la de su dimensión política. Según esta, dentro del proceso de avance de la CyT los artefactos encarnan y además son parte, de expresiones políticas sobre el poder y la autoridad. Refiriéndonos por política, en un sentido amplio, a la manera en que se relacionan distintas formas de poder dentro de una sociedad.

La idea que dentro de los desarrollos tecnológicos existe una dimensión política, fue desarrollada en sus inicios por Mumford (1960, citado en Winner 2008) que inicia una tesis para su clasificación en dos grandes categorías. Las tecnologías autoritarias, basadas en el sistema imperante, muy poderosa, pero también inestable. Por otro lado, una tecnología democrática, centrada en el hombre, mucho más débil pero inventiva y por lo tanto más durable. Es en este último caso donde podemos ver una fortaleza en los procesos abiertos y que incorporan el conjunto de actores amplio al desarrollo tecnológico.

Desde esta visión, se sustenta la crítica de los sectores defensores del medio natural, sobre la producción de energía. Específicamente una generación de energía de gran escala y gran impacto, que implica grandes espacios de generación y luego líneas de conducción de la energía a largas distancias a los centros urbanos, solo puede ser sostenida desde la creencia extrema del autoritarismo de un desarrollo hacia un sector exclusivamente. Sin embargo, la generación eléctrica distribuida y del tipo solar (o también otros tipos), es más compatible con visiones democráticas. En ese sentido se puede arribar a la conclusión de que la *escala* de un desarrollo, tiene también injerencia en el poder que tienen en la toma de decisiones en todo el conjunto social, los que producen y utilizan esos sistemas.

Todas estas perspectivas en las que intentamos posicionarnos, son un punto de vista bien definido para guiarnos en el desarrollo de los métodos de producción, de CyT para la

construcción. No como una condición restrictiva, sino como una invitación a encontrar dificultades reales de nuestro campo de acción y sortearlas con nuevas propuestas creativas, sin apelar a las mismas respuestas de las tecnologías hegemónicas ya existentes.

Con la visión de que, en nuestro ámbito de estudio y en las condiciones normales más frecuentes, tenemos la tendencia al desarrollo de CyT con la visión tradicional o *capitalista* (Dagnino, citando a Feenberg, 2002). En otras palabras, también más autoritarias. Por lo tanto, planteamos que el papel de los investigadores y su visión de la sociedad es central, para tratar de cambiar esa perspectiva.

Es necesario para avanzar en una ciencia de desarrollo de TS cambiar nuestra forma de trabajo como investigadores, porque el problema no es de organización en el proceso de trabajo o de la autogestión en los desarrollos realizados, como se plantea en sectores de la economía social, sino de la investigación en CyT *per se*. En los mecanismos para pensar una investigación y desarrollo tecnológico, están los obstáculos a sortear y los objetivos a donde se dirige el avance, para la viabilidad y aplicación de esta TS.

En nuestro caso es importante aportar, desde un primer desarrollo inicial, a tecnologías con esta visión novedosa antes detallada y apropiada para nuestro medio. Que no generen dependencia de un sector científico de desarrollo de esa tecnología, sino que sean sistemas abiertos constituidos para conformar, con los aportes locales y en proceso, formas de trabajo y producción más adecuadas.

## 1.2 EL PROBLEMA DE LOS RESIDUOS PLASTICOS

La contaminación ambiental por residuos es un problema alarmante y creciente, que desde todas las disciplinas está acaparando gran atención y discusión en los últimos años. Lo que hasta ahora ha sido una continua producción de productos plásticos a nivel mundial, como envases u otros embalajes para alimentación e industria, se ha venido incrementando y las predicciones indican que seguirán haciéndolo en los próximos años (Wilson et al. 2015).

Desde los inicios de una sociedad de consumo masivo a principios del siglo XX, el consumo de recursos y por consiguiente la generación de residuos, han aumentado vertiginosamente. De esa forma lo que antes no era un tema de estudio ni una preocupación académica como el ambiente, comienza a suscitar interés en ese sentido.

Desde el año 1972, las primeras resoluciones de naciones unidas referidas al consumo de recursos, ya pone atención a las cuestiones ambientales, pero es el pedido de un análisis sobre el estado del ambiente en el año 1983, lo que demuestra un interés por lo que era esta situación globalmente. De esa manera surge el informe Burntland (Burntland & Mansour 1987), ideado y escrito por una comisión de especialistas donde se demuestra, lo que ya era ampliamente conocido, en poco tiempo los efectos sobre el ambiente de la producción humana podrían volverse irreversibles. Allí se utiliza por primera vez la idea de desarrollo sostenible.

Seguidamente en el año 1994, se delinear algunos puntos sobre las acciones a tener en cuenta para revertir una situación ya complicada, dentro de estos la disminución de la generación de residuo y la idea de reciclar los residuos producidos, son dos de las más destacadas, pensando en lo que Wilson (Wilson et al. 2015) describe una escala de lo más deseable en la Figura 2.

Por supuesto que dentro de esto la composición y características de cada residuo, hacen muy distinto el problema de manejo entre un residuo orgánico natural o por ejemplo un polímero plástico. Entre ambos puede existir un tiempo de *degradación* de meses a 450 (es el caso de las botellas PET) como puede verse en información recolectada por el diario The Guardian<sup>2</sup> que se observa en la Figura 3.

---

<sup>2</sup> The guardian, imagen extraída de <https://i.pinimg.com/originals/ac/01/e2/ac01e25d5b7dd2a881f7bc2175391bd5.jpg>



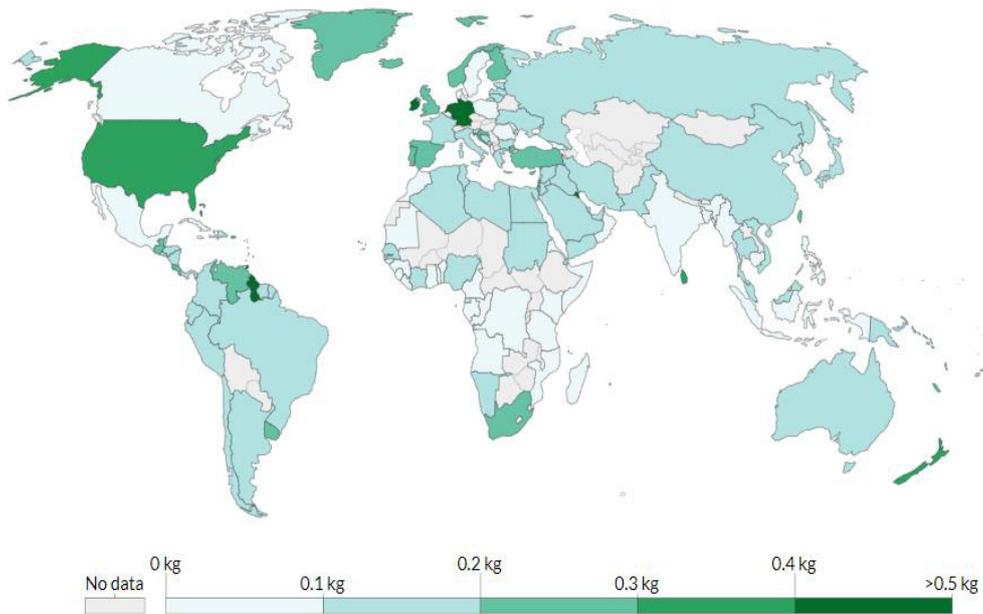


Figura 4. Cantidad de residuos plásticos (kg por habitante) generados a nivel mundial por país año 2015.  
Fuente: Jambeck et.al, 2015.

Se observa esta variación de la generación de Residuos Sólidos Urbanos plásticos (RSU), los valores en países como Estados Unidos o Alemania son  $>0,5\text{kg/día}$ , mientras que en Argentina o Brasil  $0,2\text{ kg/día}$  y Bolivia o los países de África central  $<0,1\text{ kg/día}$ .

Aunque estos datos no representan cuanto de esos residuos es reciclado, tratado de otra forma o dispuesto en enterramientos, podríamos pensar que muestra una relación existente entre el consumo (o el no consumo) y la generación de residuos que eso implica.

Podemos analizar que no muestran la situación ambiental de cada país, estos mapas muestran en que países es posible consumir para su población y aceptar la generación de basura que esto con lleva. Argentina se encuentra dentro de los países que producen una cantidad relativamente baja de residuos de  $1,02\text{ kg/día}$  por habitante (SAyDS 2017).

Pero la generación de residuos, que vemos en Estados Unidos o la Unión Europea duplican o triplican a los países de Latinoamérica, es un aspecto que comienza a demostrar las condiciones sociales que esta problemática trae asociadas. En ese sentido es que podemos ver que la composición de estos a nivel mundial, tiene una gran variación si la segmentamos según los ingresos por habitante en dólares (Figura 5). En ese caso vemos como la composición de los orgánicos puede ser del 53% en ingresos bajos, pero reducirse a un 46% en los medios/altos. Siendo en ese caso reemplazados por un mayor valor de plásticos, hasta el 12 % y papel 19 %, como vemos la posibilidad de consumir es lo que influye en este sentido.

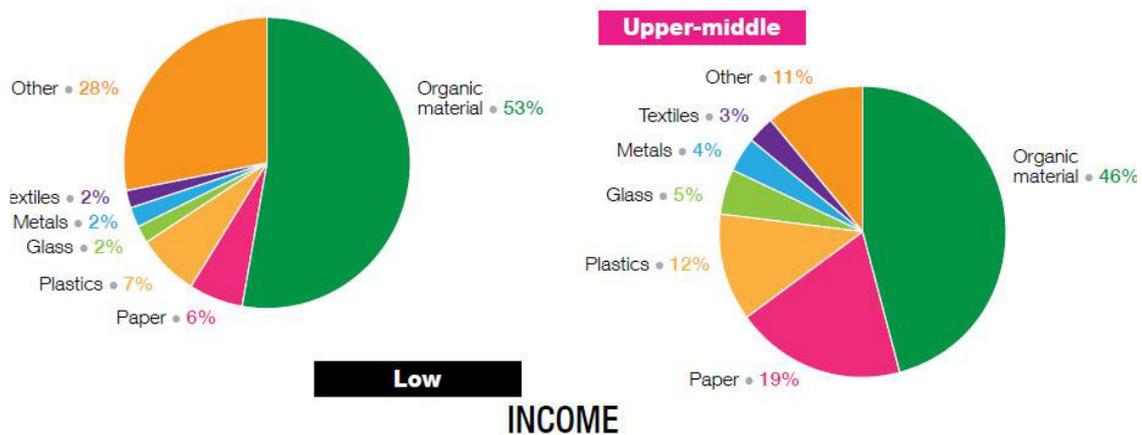


Figura 5. Composición de los residuos según niveles de ingreso por persona en promedio.  
Fuente: ISWA, 2015.

Comparativamente entre los valores de generación de residuos por habitante, con las tasas de generación totales, se puede determinar que si bien hay países que generan residuos por persona en valores altos, su poca población no impacta en la generación total, observado en la **Figura 6**. Este es el caso típico de los países de Europa occidental, que en la mayoría de los casos sus tasas de generación de RSU se encuentran por sobre la media, pero no así la generación total de los mismos.

En el caso de los Estados Unidos de Norteamérica, el mayor generador de residuos de la actualidad, su alta tasa de generación de RSU por persona produce el gran impacto, aunque sea el tercer país más populoso. En otro sentido China, produce un gran volumen por su gran población, aunque esta tenga una tasa de generación por habitante mucho más baja.

Así la diferencia que existe de cantidades de generación de residuos, también pone de manifiesto cuestiones culturales. Como se dijo los países pueden “darse el lujo” de consumir recursos admitiendo la contaminación que esto implica o pagando los costos de su remediación. Otros deciden reducir su consumo debido a este efecto ambiental o incluso en países en desarrollo (China o India), parecen no dar tanta importancia al problema ambiental como a mejorar el confort de sus sociedades.

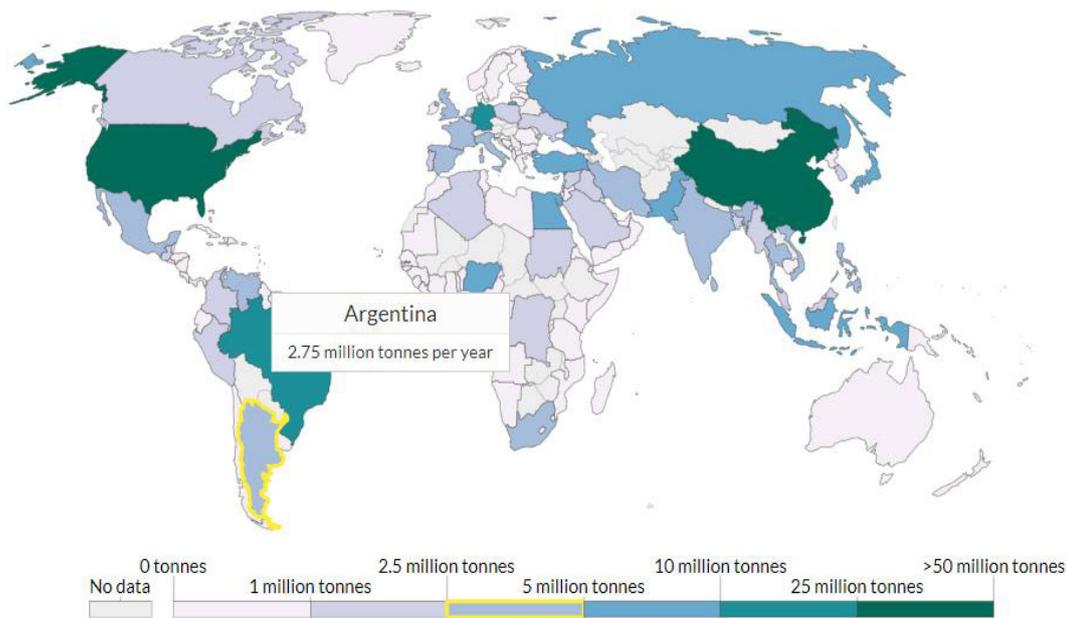


Figura 6. Residuos plásticos (Kg) generados a nivel mundial por país año 2015.

Fuente: Jambeck et.al, 2015.

En ese segundo caso se representa una problemática nueva, que además es una muestra de lo que sucede en otros países. Es el caso de los países en desarrollo con niveles de generación de residuos totales en diferentes niveles, pero en donde sus, hasta ahora bajas, tasas de generación por persona se encuentran en aumento exponencialmente. Son los países en los que se espera que sus grandes ciudades (megalópolis) incrementen en un 100% sus residuos municipales para el año 2030 (Wilson et al. 2015). Este efecto impactaría en una producción total de RSU a nivel mundial aumentándola drásticamente. Según el estudio de Geyer y otros (2017) llegarían a sumar 12.000 Mt los plásticos en enterramientos sanitarios en todo el mundo para el 2050.

Son justamente estos países los que hoy en día ya enfrentan un grave problema ambiental, de alta generación de residuos, sin los recursos económicos para procesarlos. Lo que podría asumirse esta por detrás de este efecto es; por un lado, un proceso de urbanización de su población, sumado con el acceso al consumo de ciertos productos, a poblaciones hasta este momento relegadas en ese sentido. En notas periodísticas se ven los datos impactantes de generación de residuos plásticos, que vienen aumentando desde 2015 en, por ejemplo, los productos de comida rápida a domicilio que están proliferando en las ciudades Chinas<sup>3</sup>

<sup>3</sup> El País, España. Ver online:  
[https://elpais.com/sociedad/2018/11/09/actualidad/1541783721\\_513709.html](https://elpais.com/sociedad/2018/11/09/actualidad/1541783721_513709.html)

Aunque las razones de ese consumo con gran generación de residuos son de origen cultural y además muy complejas, se hace evidente en que países podría abordarse la problemática desde la idea de reducción de generación de RSU y desde cuales, este no sería un problema. En otros casos, como se sucede en nuestro país, lo preocupante son las bajas tasas de reciclado y los altos porcentajes de residuos en enterramientos sanitarios, ya que sabemos que incluso gran cantidad de estos terminan en basurales a cielo abierto.

Los datos que arrojaban una producción incipiente de plásticos en el año 1960 de pocas toneladas, ha alcanzado las 288 Mt en el año 2017, pasando así de representar el 1% del total de los residuos a nivel mundial a ser más del 10% en peso en la actualidad, un 3% y 30% en volumen respectivamente por su baja densidad.

Si bien desde los años 50 hasta la actualidad se han producidos bajas puntuales en la producción mundial de plásticos, la tendencia es la de aumento y forma progresiva, acelerándose esta manera como se ve en la Figura 7.

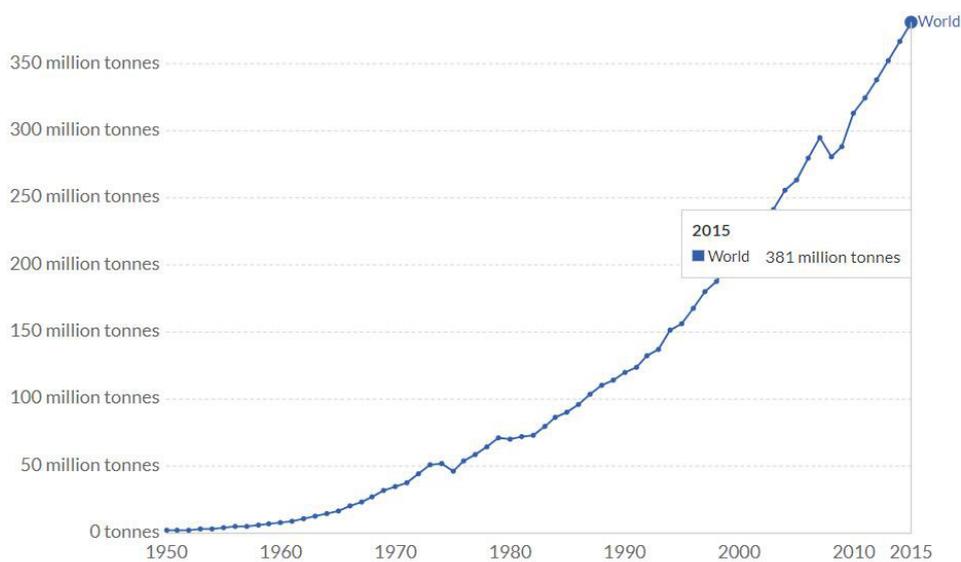


Figura 7. Cantidad de plásticos producidos a nivel mundial. Fuente: Geyer et.al, 2017.

El reciclado es una variante muy válida, como ya ha sido estudiado anteriormente (Arena, 2013; Ritchie, 2018) el consumo energético de esta tecnología sigue siendo el menor, en comparación con otras como la valoración energética (incineración) o el enterramiento. Por otra parte sabemos que por sus propiedades los polímeros así lo permiten. Sin embargo, esta opción sigue sin alcanzar el 20% en peso de los desechos plásticos generados mundialmente, debido a múltiples razones en las que intentaremos profundizar (Geyer et.al 2017).

Como puede notarse en una compilación realizada a los fines de este trabajo según los datos encontrados en bibliografía oficial, las tasas de reciclado de los residuos varía notablemente según los países a los que nos refiramos pero sin alcanzar más de un 50% en ningún caso. Esto es particularmente bajo en países de Latinoamérica, donde si bien las tasas de generación por habitante son relativamente bajas, una “cultura del reciclado” aún no está conformada. Un gráfico comparando esta situación a nivel mundial puede verse en la Figura 8.

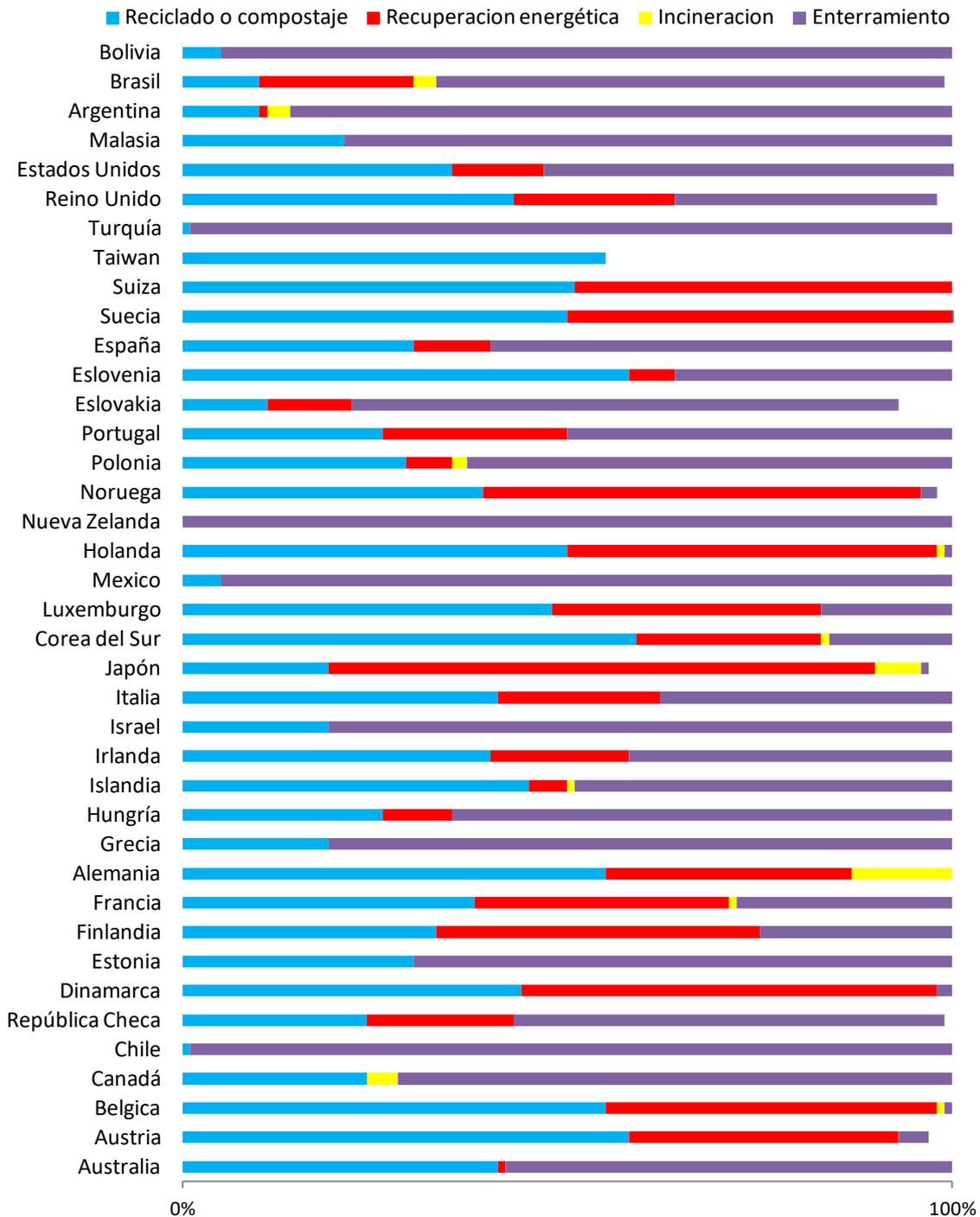


Figura 8. Porcentaje en el tipo de manejo de residuos RSU a nivel mundial por países. Fuente: compilación propia con datos de Brooks et.al 2018, para Argentina SAYDS 2017.

Si bien vemos que el consumo de productos es exportado a todas las condiciones y situaciones sociales del mundo, son los de menores ingresos (y dentro de esos países las poblaciones más vulnerables) las que sufren las consecuencias de esa acumulación de basura sin los recursos de los primeros para afrontar la gestión correctamente. Sumado a eso los países de mayores tasas de esta actividad como lo son Alemania o Austria, también tienen altos valores de incineración.

En este sentido la incineración resulta una opción mucho más simple y de fácil aplicación, debido a que los residuos incinerados no requieren de separación o limpieza en la planta de tratamiento. Es por esto que los datos oficiales muestran valores que, podemos concluir que, incluso son un poco mayores por datos aportados por instituciones no gubernamentales.

Como vemos la opción más sustentable no es normalmente la más utilizada, ya que la incineración, con recuperación energética o no, es más simple. Pero aquí inciden dos factores a tener en cuenta, la escala y la manipulación de los residuos. En el volumen que se genera en una ciudad de la actualidad, como por ejemplo el área metropolitana de Córdoba 1,5 Mt anuales, haciendo la disposición en un sistema único y en un solo punto de enterramiento y con las complejidades de la inanidad del manejo de residuos y sus altos costos, allí es que la incineración toma la delantera como opción “sustentable”. Si bien ya son numerosos los trabajos que apuntan la cantidad de contaminantes que las emanaciones tóxicas del proceso contienen y que normalmente son de difícil contención con filtrados u otros procesos industriales (Eriksson, 2009) (Nagy y Kuti, 2016).

Pensando en las tecnologías ya desarrolladas, por una parte, el reciclado de plásticos genera nuevos insumos para la industria de fabricación, pero suele hacerlo con costos económicos mayores a los de los plásticos vírgenes. Esta realidad que no parece ser así en el sentido práctico, es debido a los altos costos de manejo, transporte y acondicionamiento para su reutilización, que requiere el plástico reciclado. De esta forma en la mayoría de los casos, para alcanzar prestaciones de buena performance, los plásticos reciclados no son aptos o son económicamente inviables.

Si observamos lo estudiado por Geyer y Jambeck (2018) del total de plásticos producidos en la historia desde 1950 al 2015 la cantidad reciclada es cercana al 6%. Incluso de ese total la mayoría de lo reciclado, ha sido incluido en un nuevo proceso productivo pero luego definitivamente desechado o incinerado, ver en Figura 9.

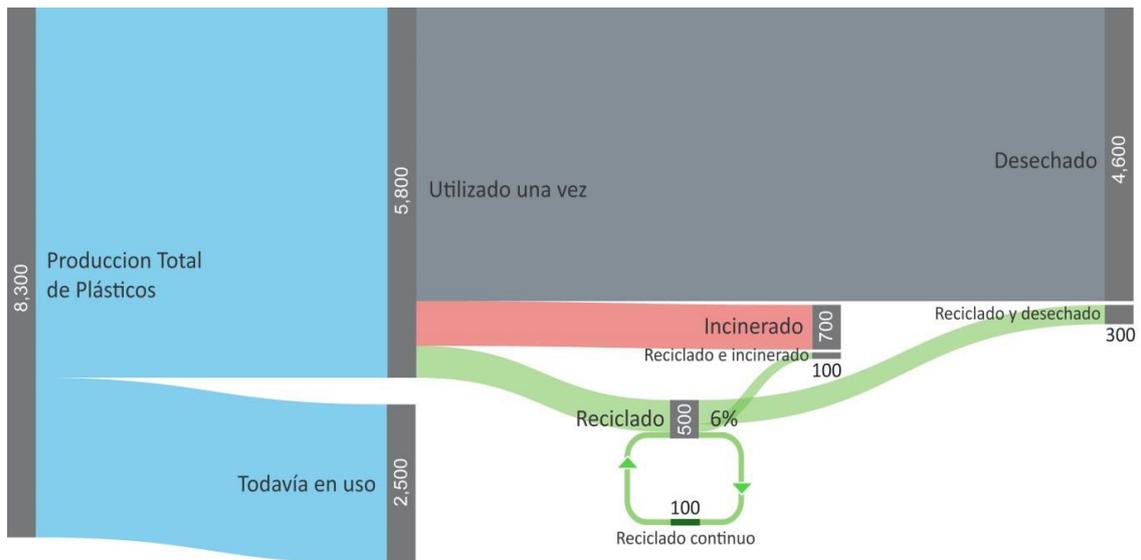


Figura 9. Diagrama de Sankey sobre producción total de plásticos a nivel mundial (1950-2015 en Mt) y su manejo. Fuente: Geyer et.al, 2017.

En una producción total de 8300 Mt solo 100 Mt se encuentran dentro del reciclado continuo o recursivo. Esto parece demostrar que, por fuera de cualquier incentivo, en el sector productivo con las condiciones actuales el reciclado no es económicamente conveniente para la producción industrial.

El caso más representativo de esto es el de las botellas de bebida de plástico PET transparentes, que a pesar de ser reciclables, su reutilización en el mismo proceso es en la mayoría de los casos inaplicable. Esto se debe a que requiere de una limpieza de alta efectividad, secado de las partículas en un grado mayor al de otros plásticos y una nueva extrusión en condiciones específicas (Awaja and Pavel 2005). Esta problemática es indicada en los matices locales de nuestro país en el Informe del estado del Ambiente (SAyDS, 2017).

Por otra parte, las variaciones en el costo del petróleo crudo es una variable económica ligada al valor de los plásticos vírgenes, por ser este la principal materia prima para su obtención, ver en Figura 10. Sumado a esto el valor de los plásticos vírgenes, determina un valor de referencia para los reciclados por ser insumos reemplazables entre sí. En la práctica los pequeños y medianos recicladores de plástico ya conocen, que relación (siempre menor) de valor de venta existe entre el mismo tipo de plástico virgen y reciclado. Este es uno de los aspectos principales por el que se hace viable o no para las industrias, la reutilización de plásticos en sus procesos de fabricación.

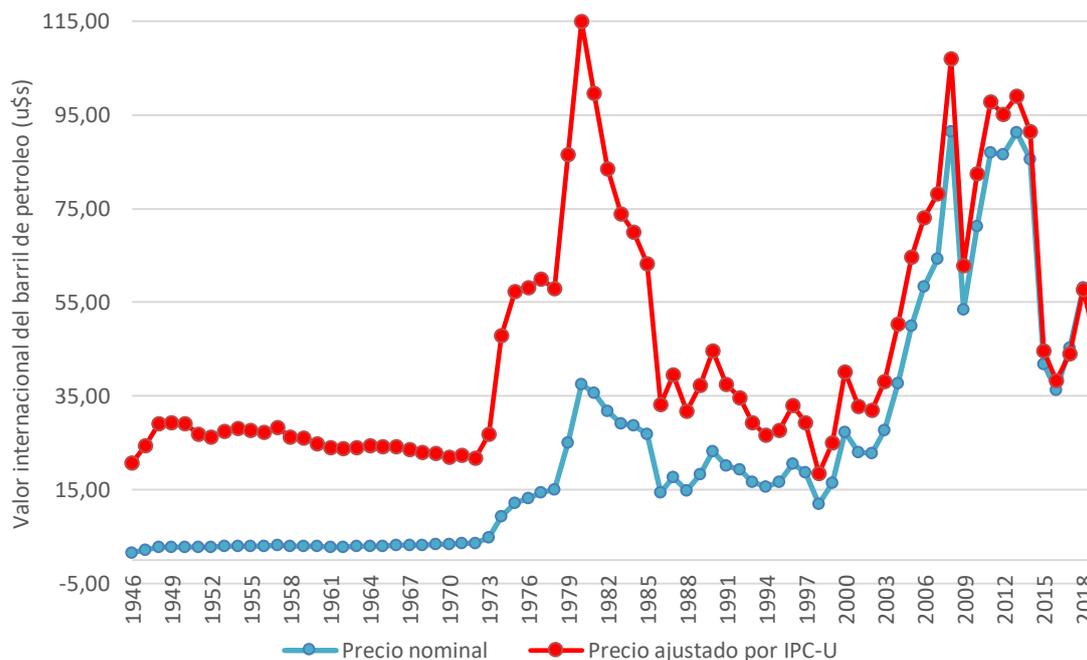


Figura 10. Valores de referencia internacional del precio del petróleo crudo. Fuente datos: IAPG<sup>4</sup>

EL petróleo crudo que tiene un valor de referencia internacional, se vuelve decisivo en este aspecto y varía su valor según condiciones internacionales tan disímiles como, la exploración de nuevos pozos petroleros de gran rendimiento y la mejora en las técnicas de explotación. O incluso, como en el período entre 2007 y 2008, por los conflictos bélicos en los países productores de la OPEP (Organización de Países Productores de Petróleo).

En nuestro país los números sobre la generación y gestión de RSU no son diferentes del contexto global ya presentado. Es central que, en numerosos estudios ambientales de los últimos años, se ha destacado la problemática de los residuos en Argentina, como un aspecto ambiental muy preocupante. Además, como decíamos anteriormente, esta es una realidad común que afrontan los países con menor nivel de ingreso, con sociedades que están aumentando su producción de residuos y disponen de magros presupuestos para su gestión.

Según datos aportados por la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, dependiente del Ministerio de Salud y Ambiente de la Nación, la Argentina producía 12.325.000 toneladas de basura por año (2015). Según los números de la subsecretaría actual, en 2017 este número ha aumentado a 16,5 Mt (2017), lo que representa un aumento del 34 %. En promedio, los argentinos producimos 1 kg de basura por persona por día (Diagnostico Ambiental, 2010).

4 Extraído de: [http://www.iapg.org.ar/web\\_iapg/cotizaciones-historicas](http://www.iapg.org.ar/web_iapg/cotizaciones-historicas)

Y esta tendencia se encuentra en ascenso en los últimos años, donde solo ha reducido sus desechos depositados la Capital Federal en el periodo 2015-2017<sup>5</sup>. Según los informes de CEAMSE en la ciudad de Buenos Aires, la composición de residuos está conformada por:

*“Aproximadamente el 50 % en peso de los desechos es prácticamente no bio-degradable, correspondiendo a los plásticos el 13,3 % del total (en peso), en la República Argentina. Esto equivale al 30 % del total en volumen”* (CEAMSE, 2010).

Los datos más actuales del año 2017 (SAyDS 2017) muestran valores similares de composición, lo que no ha cambiado significativamente en los últimos años. El hecho por el que este aspecto se mantenga constante es debido al no cambio en las costumbres sobre el consumo y el desecho en nuestro país. La no instalación de una nueva *cultura* ambiental más responsable y este es probablemente uno de los aspectos más difíciles a modificar. Composición de residuos en Argentina se indica en Figura 11.

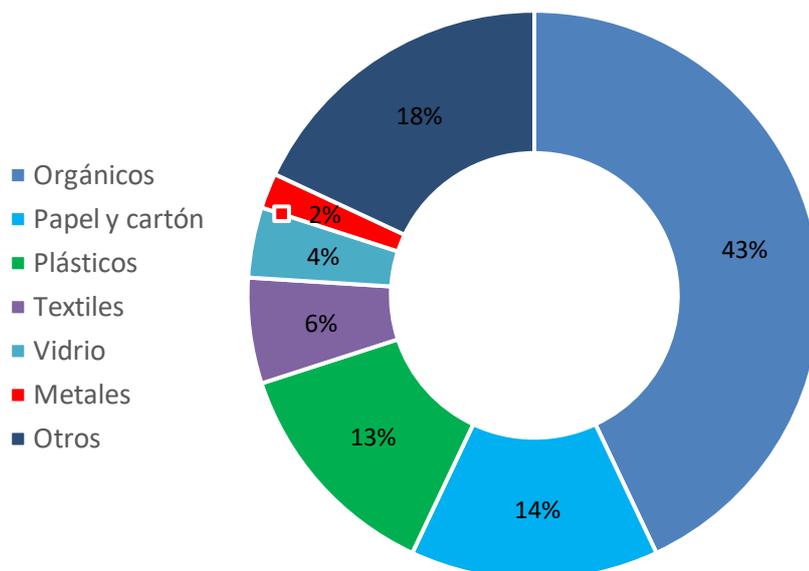


Figura 11. Composición de residuos (%) en CABA y AMBA 2017. Fuente: datos de SayDS, 2017.

El mismo informe sobre la ciudad de Buenos Aires (CABA), totaliza 2,11 Mt de generación en el año 2011, que sumado al Área Metropolitana (AMBA) llegaba a 6,12 Mt en total. En todos los casos de los departamentos de AMBA y de CABA, se muestra el aumento continuado que venían teniendo los datos de generación desde el año 1996 hasta el 2010, periodo que abarca el estudio mencionado.

---

5 Extraído de la web oficial del CEAMSE, <http://www.ceamse.gov.ar/estadisticas/>. 20 de Julio de 2016.

Los nuevos datos aportados por el Informe del Estado del Ambiente (2017) refuerzan la visión de que, en el desarrollo social por el consumo y el aumento de la urbanización de nuestra sociedad, están buena parte de las razones de las consecuencias ambientales negativas. El 90% del total de población es urbana, un 12,4 % más que en 2001. Además, el 60 % de la población se concentra en Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) y cuatro provincias agregadas (Córdoba, Santa Fe, Mendoza y Tucumán). Dicho de otra manera, en 24 distritos de CABA residen el 25 % de la población nacional.

Si vemos los valores de generación de residuos por provincias (2017) es en esas cinco regiones donde lógicamente se concentra la mayor producción de residuos, pero además, la mayor producción por habitante (Figura 12).

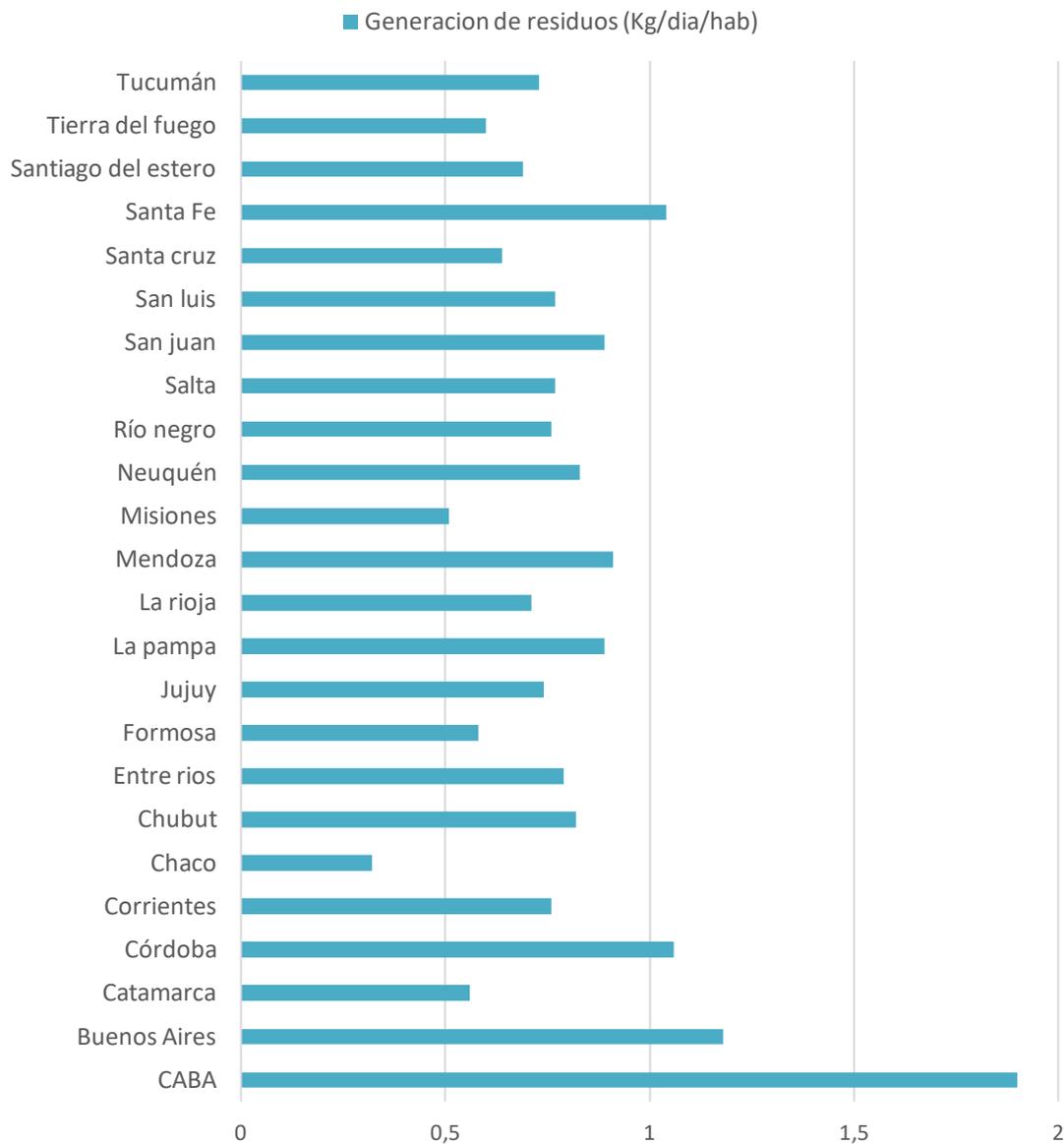


Figura 12. Valores de generación de RSU en provincias argentinas. Fuente: datos de SayDS, 2017.

En la provincia de Bs.As. hay un acelerado aumento en los desechos producidos, como ejemplo en el partido de Bs.As. de La Matanza que produjo en 2017 un 40 % más de residuos que en el año 2000.

En el mismo sentido la situación en Córdoba es similar y también representativa de esta realidad, que a su vez no es muy disímil a la de las demás provincias argentinas. *“En la provincia de Córdoba se genera alrededor de 1.300.000 toneladas de residuos sólidos urbanos anuales. Hay además un incremento del orden del 15 al 20 % anual, considerando el crecimiento vegetativo de la población.”* (Agencia Córdoba Ambiente, 2000). Estos eran los números provinciales en el año 2000, que a la fecha actual han aumentado considerablemente.

Según los datos de la misma secretaría se están reciclando actualmente alrededor del 10 % de ese total y alrededor del 43% está siendo llevado a enterramientos sanitarios. El resto tiene como destino habitual el enterramiento en basurales no controlados, o bien la acumulación o quemado con consecuencias graves para el medio ambiente. El resto de las provincias de nuestro país, con algunas raras excepciones, no escapa a esta situación.

Durante el año 2019 se han publicado nuevos datos sobre el reciclado en nuestra ciudad, a partir del nuevo programa de recolección diferenciada que fue implementado. La Municipalidad de Córdoba informo en notas periodísticas<sup>6</sup>, que en el periodo de enero a marzo de 2019 se reciclo alrededor de un 10 % más que en el año del 2018. De todas formas este aumento, respecto a lo reciclado anteriormente, sería del orden del 1 % del total de residuos producidos en la ciudad. En ese sentido es un logro no significativo, ya que el sistema utilizado todavía se encuentra en adaptación y aun no hay datos certeros sobre su efecto.

Podemos concluir por todo lo expuesto que el problema de los residuos en su complejidad, está ligado a factores culturales o sociales, así como políticos, es un campo de estudio todavía muy válido en el que el reciclado es una opción pocas veces explorada. De esa misma forma que las respuestas positivas a este problema no vienen de recetas extrapoladas de otros contextos, sino del aporte a nuestra situación con una mirada local.

---

6 Diario La Mañana, 07 junio 2019, extraído de: <https://lmdiarario.com.ar/noticia/152241>

### 1.3 LOS PRIMEROS DESARROLLOS EN LA TEMATICA

La aparición de los primeros polímeros plásticos se da a fines del siglo XIX y principios del XX. Los primeros desarrollos se dan con la idea, de sustituir materiales naturales livianos y flexibles, por otros con similares propiedades, pero de mayor disponibilidad.

Esto ya se debía a que aplicaciones anteriores derivadas del caucho y otros polímeros naturales, mostraban una gran versatilidad por su elasticidad y buena resistencia, que permitieron los primeros avances en la industria de su tipo.

Dentro de estos primeros descubrimientos la Federación Británica del Plástico<sup>7</sup>, destaca algunos desarrollos pioneros entre los cuales están los siguientes:

- Alexander Parkes (1855) desarrolló la *Parkesina*, un material traslucido de alta dureza, pero también gran elasticidad. Es sintetizado de la nitrocelulosa, un polímero de alto poder combustible utilizado largamente en explosivos, combinado con el Alcanfor, una cera derivada de la savia de un tipo de árbol asiático, que produce la polimerización entre ambos. Fue luego conocido y patentado como Celuloide, siendo la base del desarrollo posterior de la industria cinematográfica.
- El *Policloruro de vinilo* (PVC) fue polimerizado por primera vez a fines del siglo XIX (1872). Es fabricado por varios métodos y su aplicación se difundió en la aislación de conductores eléctricos. Su principal ventaja fue su resistencia ignífuga, derivada de la emanación en forma gaseosa, de las moléculas de cloro (Cl) que lo componen.
- Un avance fundamental tuvo lugar (1907), cuando el químico belga-americano Leo Baekeland creó la *Baquelita*, el primer plástico fabricado totalmente sintético. Siendo un material de mucha resistencia y totalmente aislante eléctrico, se expandió rápidamente. Su aplicación comenzó en los componentes eléctricos de la construcción, como enchufes y llaves, pasando a las radios y los primeros teléfonos.
- La empresa 3M desarrolla la primera aplicación global y de gran impacto, en el sentido de los polímeros plásticos, con la *Scotch tape* (1930). Una combinación de plástico acrílico y una solución adhesiva, aplicado a lo que era la cinta de papel más antigua, para una versión de cinta transparente.
- Se desarrolla el primer método de moldeo de piezas por inyección (1932).

---

7 Extraído de: [https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics\\_history/Default.aspx](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics_history/Default.aspx)

- Es patentada la primera *extrusora* de plásticos (1935).
- En el mismo año Herman Staudinger, demuestra la existencia de las macromoléculas conformadas por cadenas de carbono, que se denominarían Polímeros, obteniendo el premio Nobel en química de ese año.



Figura 13. Objetos antiguos producidos en baquelita

Después de cien años de avances en el desarrollo de distintos polímeros plásticos, estos son una cotidianidad de nuestro medio. Por lo cual para algunos especialistas, como antes del hierro o el bronce, la nuestra es la Era del plástico.

En el libro “Polímeros, como materiales de ingeniería”, puede encontrarse una referencia a la descripción histórica de edades y materiales, que puede verse en la Tabla 1.

Tabla 1. Descripción de edades históricas y el uso de materiales. Fuente: Biasotto Mano (1991)

		AÑO	MATERIAL
Pre-historia	Edad de piedra	25000AC a 6500AC	Madera y Piedra
Proto-historia	Edad de los metales	6500AC a 1500AC	Cobre, Estaño, Bronce, Hierro y Cerámica
Historia	Edad antigua	4000AC a 500AC	Vidrio
	Edad Media	500 a 1500	Aleaciones metálicas
	Edad Moderna	1500 a 1800	Hormigón
	Edad Contemporánea	1800 a Actualidad	Polímeros

Es de esperar entonces que actualmente, estén presentes en numerosos productos de nuestro medio, los plásticos que intentaremos describir a continuación. De esta manera hacer un repaso sencillo por sus propiedades y aplicaciones más comunes. Primeramente, los polímeros

plásticos sintéticos son obtenidos a partir de tres procesos diferentes que determinan gran parte de sus características; la *poliadición*, *policondensación* y *la Modificación de polímeros* (Biasotto Mano 1991).

Poliadición, es el proceso de sumatoria de monómeros a una cadena de carbono más larga y es el proceso más sencillo. En estos no suelen formarse subproductos de la reacción y los polímeros obtenidos son de los más altos pesos moleculares, entre  $10^5$  -  $10^6$ . Algunos de los polímeros aquí obtenidos que tienen importancia como materiales de ingeniería, ver Tabla 2

Tabla 2. Polímeros de ingeniería obtenidos por poliadición y sus siglas

Polietileno	PE
Polipropileno	PP
Poliestireno	PS
Polibutadieno	BR
Policloruro de vinilo	PVC
Poliacetato de vinilo	PVAC
Copolimero acrilonitrilo-butadieno-estireno	ABS
Copolimero etileno-acetato de vinilo	EVA

Policondensación, es un proceso más complejo con generación de distintos subproductos, que precisan ser removidos del medio de la reacción. En este caso los polímeros obtenidos son de menor peso molecular, alrededor de  $10^4$ . Este grupo se describe con algunos ejemplos en la Tabla 3.

Tabla 3. Polímeros de ingeniería obtenidos por policondensación y sus siglas

Polietileno tereftalato	PET
Policarbonato	PC
Poliamida	PA
Resina fenol-formaldehído	PR
Resina ureica-formaldehído	UR
Poliuretano	PU

Modificación de polímeros, es el proceso realizado de alteración sobre polímeros ya existentes, naturales o sintéticos. Se utiliza en general para obtener mayor peso molecular, de

alguna molécula con propiedades positivas, mejorando su resistencia mecánica en algún aspecto o eléctrica u otras. Los productos obtenidos en este proceso se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Polímeros de ingeniería obtenidos por modificación y sus siglas

Nitrato de celulosa	CN
Acetato de celulosa	CAC
Polietileno clorado	CPE
Polietileno cloro-sulfonado	CPVC

Específicamente los polímeros utilizados en este trabajo, responden a algunos de los nombrados, que se encuentran en los residuos de RSU. También por el volumen en que se utilizan, es factible utilizarlos y por esto incorporamos una descripción de cada uno de ellos.

Polietileno-tereftalato (PET) probablemente el polímero plástico de ingeniería más utilizado de los últimos veinte años, producido por policondensación. Es procedente de botellas descartables de jugos, gaseosas, agua mineral y soda. En el caso del utilizado en este trabajo, se obtuvo de campañas de recolección diferenciada.

Se produce a partir de dos compuestos principalmente: Ácido Tereftálico y Etilenglicol, aunque también puede obtenerse utilizando Dimetiltereftalato en lugar de Ácido Tereftálico. Su moldeo principalmente se realiza por soplado, un proceso combinado donde una sección inyectada es expandida por la acción de aire a presión en su interior, en la fabricación de envases de líquidos.

$$PET = \text{Peso} / (15.000 - 42.000 / T_f) \text{ a } 240 - 270 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Densidad } 1,43 - 1,45$$

Este material tiene una baja velocidad de cristalización y puede encontrarse en estado amorfo y transparente-traslucido o cristalino y opaco. Se caracteriza por su alta resistencia y tenacidad. Su reciclado para envases de alimentos es muy complejo, por la degradación de distintos tipos que en este se producen. Por esto último, es el plástico más voluminoso en los desechos (Issn 2015)(Dean et al. 2016). Su estructura molecular se detalla en la Figura 15.

Polietileno de baja y alta densidad (PEAD o PEBD): procedente de empaquetados de botellas, bidones y caños desechados. Es un polímero basado en cadenas parafínicas del etileno, el monómero más sencillo y menos reactivo, de allí su notable resistencia a los productos químicos, incluso los solventes. Pueden obtenerse hasta moléculas de mayor peso denominadas Polietileno de Ultra Alta Densidad (PEUAD).

$$PEAD = \text{PesoM} 200.000 / T_f 130 - 135 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Densidad } 0,94 - 0,97$$

$$PEBD = \text{PesoM} 50.000 / T_f 109 - 125 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Densidad } 0,92 - 0,94$$

$$PEUAD = \text{PesoM} 3.000.000 - 6.000.000 / T_f 135 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Densidad } 0,93 - 0,94$$

Según su sintetización y procesado puede obtener una estructura parcialmente reticulada que le confiere gran resistencia mecánica, cuando mayor densidad se consigue. Es por esta razón la amplia aplicación de este polímero, derivada de su gran versatilidad. La estructura molecular del PE se detalla en la Figura 15 (1).

En el caso de este trabajo el residuo utilizado proviene de PE de Silobolsas de uso agrícola, que contienen en su doble film, tanto PEAD como PEBD. Específicamente este residuo nuevo no permite saber su impacto actual como residuos, pero si algunas estimaciones (Noticias Agropecuarias 2017). En este momento existe específicamente una planta de reciclado del material en Argentina, en la provincia de Santa Fe. La misma cuenta con una capacidad de reciclaje de 7000 t anuales, que está funcionando con alrededor de 6400 t. Sin embargo, sus directores estiman que esto se acerca al 8 o 10% del total que podría reciclarse en el país. Por otra parte cabe destacar que, dentro de los mayores productores agrícolas del mundo, Argentina es el principal productor mundial de este tipo de silos (La Nacion 2019). El residuo se muestra en la Figura 14.



Figura 14. Residuo procedente de Silobolsas de PEBD y PEAD, luego de la primera etapa de procesado<sup>8</sup> Polipropileno (PP) procedente de recipientes descartados de la industria alimenticia. Basado en las olefinas, se obtiene partiendo del propileno. Es rígido, pero de buena elasticidad y tiene un tacto agradable, no ceroso. Admite cargas reforzantes como fibras, talco o metales.

<sup>8</sup> La Nación, extraído el 5 de Septiembre de 2019: <https://www.lanacion.com.ar/comunidad/silobolsas-como-reciclar-principal-desecho-plastico-del-nid2276730>

Admite temperaturas de trabajo cercanas a los 100 °C pero su desventaja es su escasa resistencia a los rayos UV lo que produce un envejecimiento en poco tiempo.

Su mayor aplicación se da en pequeños elementos como cierres o tapas en envases de alimentos, por lo que forma parte de este estudio de RSU. También en la fabricación de carcasas de distinto tipo para electrodomésticos. Su estructura molecular se detalla en la Figura 15 (3).

$$PP = \text{PesoM}80.000 - 500.000 / T_f 165 - 175 \text{ } ^\circ\text{C} / \text{Densidad } 0,90 - 0,92$$

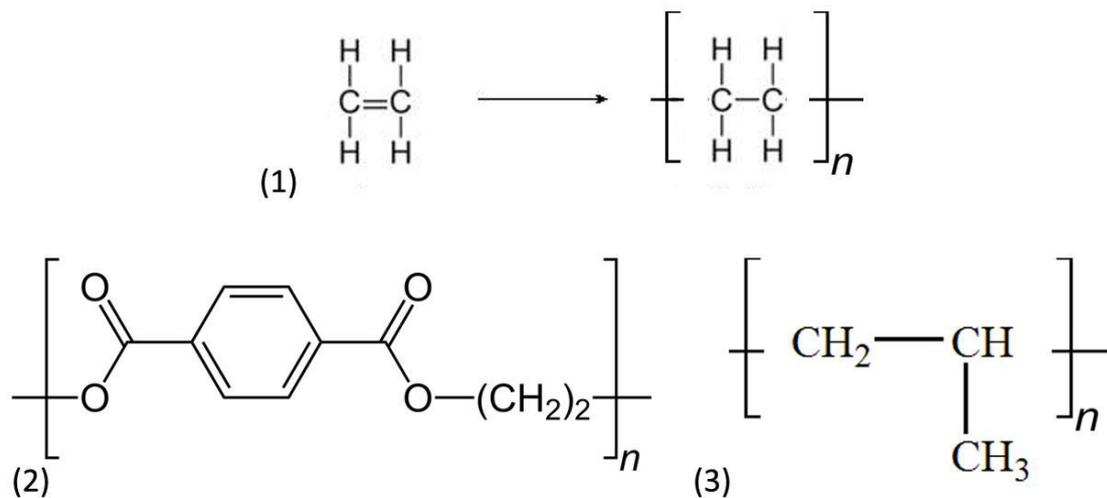


Figura 15. Estructura molecular de polímeros PE (1) PET (2) y PP (3)

Otros (plásticos varios de residuos):

Son plásticos combinados, mezclas y compuestos con el agregado de aditivos para el mejoramiento de distintas propiedades, ignífugos, partículas de refuerzo, entre otros. Su reciclado es dificultoso ya que el calentamiento o trituración producen la degradación de las mezclas y sus aditivos. En algunos casos como el ABS o PC, emanan compuestos tóxicos, según Schulmer y otros (2007). De esta misma forma es peligroso su enterramiento ya que posibilita la lixiviación al suelo.

Una descripción general de los tipos de plásticos con aplicación industrial y sus usos, se detallan en la Tabla 5, agregando la nomenclatura utilizada para designar el tipo de plástico componente en productos comerciales.

Tabla 5. Clasificación según norma internacional ASTM D 7611.

Termoplásticos	Código	Propiedades	Aplicaciones
Polietileno tereftalato (PET)		Inerte al contacto con alimentos, resistencia física y propiedades térmicas.	Bebidas y agua, envases de alimentos.
Polietileno de alta densidad (PEAD)		Poco flexible, opaco, resistente a químicos, fácil de pigmentar y moldear. Ablandamiento a los 85 °C.	Envases de químicos, jabones y detergentes, empaques rígidos.
Policloruro de vinilo (PVC)		Rígido, resistente, opaco y muy liso. No resistente a los rayos UV. Ablandamiento a los 80 °C.	Caños y artefactos de plomería, "blíster", mangueras, suelas de zapatos y recubrimiento de cables.
Polietileno de baja densidad (PEAD)		Muy flexible, suave y translucido, muy manejable, se daña fácilmente. Ablandamiento a los 70 °C.	Bolsas de basura y de mercado, películas y films.
Polipropileno (PP)		Muy poco flexible, translucido y versátil. Soporta solventes. Ablandamiento a 140 °C.	Envases de uso veterinario y farmacéutico, herramientas, cintas, cajas rígidas, utensilios en general.
Poliestireno (PS)		Claro y rígido, compacto, frágil. No resiste solventes. Propiedad espumante.	Vasos para bebidas calientes, hieleras. (expandido) Juguetes, empaques de CD, imitaciones de cristal.
Otros (Other)		Inclusión de muchas resinas y aditivos. Propiedades dependen de su combinación.	Auto partes, electrónicos, artefactos de uso general.

#### 1.4 ESTADO DEL ARTE

Existe en la actualidad numerosos desarrollos de nuevos materiales, a partir de la combinación de varios materiales homogéneos. Estos son probablemente los que caractericen a nuestro siglo, como el hierro o el acero caracterizaron al siglo XX. En este sentido los polímeros sintéticos, los cauchos sintéticos, los materiales compuestos son los más estudiados y utilizados desde fines del siglo pasado, hasta la actualidad. Esto se debe a su ligereza, su gran resistencia a la abrasión y corrosión, el buen aislamiento térmico que presentan, la facilidad para ser trabajados y moldeados, además de la gran posibilidad y ventaja ambiental de ser reciclados (Gay, Properties, 2014).

Se aplica actualmente este concepto de que es posible diseñar y crear “nuevos materiales”, pensados para situaciones y condiciones específicas. La técnica de combinación de materiales puede rastrearse en la naturaleza, siendo pocos los materiales de sustancias únicas; sino la unión de componentes diferentes que, al encontrarse unidos, tienen un desempeño mejor que individualmente (Miravete, 1995).

Los materiales compuestos son una combinación de dos o más componentes, insolubles entre sí y macroscópicamente distinguibles. Se componen de fibras o partículas de refuerzo, una fase discontinua, contenidas dentro de un compuesto homogéneo, llamado fase continua o matriz. La matriz contiene el o los componentes de distinto origen manteniéndolos unidos geoméricamente y con un funcionamiento solidario, combinando y/o mejorando las propiedades individuales de los compuestos. También presentan en la mayoría de los casos, otras propiedades específicas (Gay, 2014). Los materiales plásticos pueden combinarse en compuestos homogéneos o también como este caso en compuestos mezclas.

En ese sentido existe un valor agregado en el desarrollo de materiales reciclados, ya que la producción de piezas en el sentido material “puras”, conformadas del material original solamente (en ese proceso, seleccionado, acondicionado y vuelto a utilizar con altos costos) es muy dificultosa. Sin embargo, pensar en el reciclado sin una etapa de clasificación y en combinación con otros presentes en los productos en donde se los utilizó originalmente, lo hace mucho más factible frente a la necesidad de procesos sencillos para su implementación y de menor costo energético o ambiental en general.

Si bien las tecnologías de reciclado para los polímeros plásticos de mayor consumo como Polietilen-tereftalato (PET) o Polietileno (PE) han sido investigadas y desarrollada, en la

mayoría se utiliza la molienda y la incorporación de estos en mezclas cementicias (Ignatyev, Thielemans, and Vander Beke 2014).

Esta técnica de reciclado mecánico de plásticos se utiliza para producir fibras o áridos, con la ventaja de la incorporación del residuo en la producción, pero se ha probado que algunas propiedades técnicas de los morteros y hormigones con el agregado de plásticos se ven disminuidas. Si se aportan mejoras en una disminución del peso específico del material, con la consecuente pérdida de resistencia a compresión, y el aumento de la resistencia a flexión por la flexibilidad del plástico, que en el caso de los hormigones suele ser muy baja.

Son destacables las propiedades de los mampuestos de plástico PET desarrollados por Gaggino y otros (2017) o la mejora frente a la aparición de fisuras por dilatación con agregado de fibras de PET y PP (Choi et al. 2005) (Gu and Ozbakkaloglu 2016). También aumentando la resistencia a la heladicidad (Chandra, Aavik, and Berntsson 1982)(Won et al. 2010). En el caso del uso de plásticos como áridos de reciclaje (Siddique, Khatib, and Kaur 2008). Estos desarrollos, que en la actualidad se han seguido actualizando y superando, muestran la potencialidad de aplicación de los materiales de polímeros reciclados, en la construcción. También que esta aplicación, puede hacerse en nuestro medio con técnicas sencillas y ser utilizado por numerosas cooperativas (Gaggino 1994) o productores privados pequeños y medianos de nuestro medio. En ese sentido es que pueden aportar a procesos de inclusión social de distinto tipo.

Sin embargo, aunque son estudios más recientes, la incorporación del plástico PET en procesos de reciclado en una nueva producción de piezas termo-moldeadas, ha sido investigada (Lee et al. 2013) incluso en fabricación de nuevos envases (Itim and Philip 2015). En estos desarrollos últimos son aprovechadas todas las características técnicas del material, como facilidad en el moldeo, resistencia mecánica, impermeabilidad y posibilidad de reciclado sucesivo. Este trabajo se orienta en este mismo sentido, aunque el primer obstáculo a sortear es la idea de que los plásticos reciclados, sufren durante el proceso un detrimento en sus propiedades y ofrecen menores prestaciones.

Como sostiene Pawlak (Pawlak et al. 2000) la resistencia de los polímeros se ve disminuida en los sucesivos reciclados debido al nuevo calentamiento y la degradación de las cadenas de carbono que esto también ocurre con el PET (Nait-Ali, Colin, and Bergeret 2011). En ese caso ya probó Ávila y otros (2003) el aumento de la fragilidad, en los segundos y terceros procesos

de reciclado de los polímeros, sin embargo asociado a otro factor, el aumento de las estructuras cristalinas (Zdenek et al. 2005).

Por otra parte el trabajo realizado por Awaja (Awaja and Pavel 2005) evaluó de forma completa el reciclado por nueva extrusión y moldeo de partículas de PET, determinando el deterioro debido al procesamiento mecánico nuevo y su elevación de la temperatura. Obtuvieron resultados con reducción de la resistencia prácticamente despreciable, utilizando procesos químicos para recomposición de las cadenas del polímero con extensores de cadenas de carbono.

Algo que también evaluaron en el trabajo de investigación de Mondadori y Reis Nuñez (Mondadori et al. 2012) con el agregado de PET como matriz de un compuesto reforzado con fibras cortas de vidrio (GFs). Desarrollando un material nuevo por fusión y moldeo, incluso con resultados de resistencia mayores al PET virgen, en los casos en que el material tuvo mejor desempeño. Se utilizó PET reciclado con un porcentaje de degradación ya conocido, evaluado mediante técnicas específicas, y además un PET mejorado con un proceso nuevo de polimerizado con el agregado de aditivos agentes de polimerización de aminosilinas y epoxilinas.

Estos últimos dos trabajos corresponden al grupo de investigaciones para el desarrollo de un nuevo material con PET como matriz y el agregado de fibras de refuerzo. Una opción de desarrollo de gran interés en la temática del reciclado, pero que para esta tesis no fue incluida, no se descarta como parte de trabajos próximos hacerlo, con fibras obtenidas de reciclado.

Un efecto también destacado en estas investigaciones sobre el reciclaje de PET como material de ingeniería es el aumento de la cristalinidad, que se asocia a un aumento en el módulo de elasticidad y la resistencia a tracción. Además encontrando el mismo efecto La Mantia (La Mantia and Gardette 2002), lo ha asociado a una reducción del peso molecular que también reduce la deformación plástica en la rotura. La cristalinidad y su influencia en las propiedades de polímeros reciclado sigue siendo objeto de numerosos estudios nuevos (Pracella 2016).

Ávila y Duarte (2003) produjeron piezas moldeadas de PET y PEAD de las propias tapas de botellas, lavado y secado previamente. En este caso en un proceso muy sencillo y de más fácil aplicación.

Los valores de resistencia a compresión fueron de hasta 30 MPa y las imágenes de microscopía muestran un efecto de fibras organizadas linealmente en el material que es

microscópicamente heterogéneo. En el caso de las mezclas PET, pero agregando como polímero de mezcla PP, Friedrich (Friedrich et al. 2005) generó un material compuesto de interesantes propiedades. En su trabajo para estudiar la combinación de ambos polímeros, disuelve con solventes este segundo agregado, pudiendo observar las fibras internas del primero. Por eso esta mezcla es nombrada por el autor como un material *PP reforzado con microfibras* de PET.

El desarrollo de un polímero mezcla de PET y PE, con adición de EVA (Navarro et al. 2008) dio buenos resultados mecánicos a tracción reincorporando el plástico nuevamente a procesos de inyección o extrusión. Así se obtuvieron piezas de propiedades mecánicas similares a las de los materiales vírgenes, describiendo el mismo efecto de las fases internas en el material que lo hacen un compuesto, encontrado por otros autores anteriormente. Avanzando aún más, se ha evaluado el uso del PET y PEBD como matriz en un material reforzado con fibra de vidrio, dando resultados de resistencia mecánica que aumentan de 3 a 7 veces respecto a la matriz pura (Mao et al. 2019).

En otros trabajos recientes el uso de PET y PE con el agregado de compatibilizadores sigue siendo estudiado. Un trabajo realizado con material reciclado de contenido de PE y PET en films de empaques multicapa, en los cuales es de gran dificultad su separación (Schrijver et al. 2017)(Delva et al. 2019). Se ha estudiado la fabricación de simples filamentos o films reciclados, obteniendo propiedades de producción y de resistencia a tracción, similares a los originales, pero sin medir mayores propiedades mecánicas o de durabilidad.

Probablemente en el trabajo más reciente y de grandes resultados, publicado hasta la escritura de esta tesis, Nicolas Rorrer y su equipo obtuvieron un material plástico de mejores propiedades que el virgen original, a partir de PET reciclado. En este caso utilizando un proceso químico para la obtención de monómeros a partir del plástico de botellas, que luego combinaban con otros polímeros de origen vegetal. Finalmente, en este proceso agregan fibras de vidrio de refuerzo, similares a las utilizadas en otros trabajos (Mondadori et al. 2012) obteniendo así un compuesto.

Podemos ver entonces que es viable obtener mezclas plásticas compuestas por materiales reciclados con propiedades físicas y mecánicas aptas y algunas novedosas, el uso de compatibilizadores de material virgen y el agregado de fibras de refuerzo, es positivo mejorando notablemente las propiedades, pero de altos costos ambientales y económicos (Chen et al. 2018).

Con termoplásticos a partir de residuos sólidos urbanos, combinados con papel, cartón o viruta de madera, se fabrican los paneles desarrollados por el Centro Tecnológico Gaiker del País Vasco, España, aplicables a interiores sin la incidencia de humedad. Se basan en la reutilización de los residuos de viruta, de la industria maderera con materiales termoplásticos (GAIKER 2019). Con una fabricación muy similar, Ecosheet desarrolló paneles producidos a partir de aglomerados de plásticos reciclados, de la empresa 2K Manufacturing (2015) en Inglaterra. Están fuera de producción, pero demostraron ser una opción excelente que resiste humedad y son auto-portantes. Son similares a los aglomerados de madera.

Los paneles T- Plak producidos por la Empresa Rezagos Industriales S.A., ubicada en Pilar, Provincia de Buenos Aires, están fabricados con los residuos de tetra-bricks, compuestos de PE y PP, con el refuerzo de fibras de celulosa del cartón del mismo empaque. En general todos estos paneles muestran buenas propiedades mecánicas, similares a las placas de madera, pero de alta impermeabilidad y con la ventaja ecológica de estar elaborados con material reciclado.

Un desarrollo comercial pionero, fue el de los cerramientos de entablonados y postes de plástico reciclado fundido, desarrollados por la empresa El Vendaval de la provincia de Santa Fe (Figura 16, D). Forman parte de una tecnología de producción con maquinaria patentada. Este junto con el sistema BrickArp, son los dos ejemplos más destacados de fabricación de nuevas piezas plásticas totalmente constituidas por plástico reciclado termo-moldeado (LA Nacion 2004)(FICIDET 2020). El ultimo compuesto por mampuestos de termoplásticos fundidos y prensados, armados sobre estructuras de perfiles plásticos con uniones de piezas metálicas. Fue desarrollado en Colombia por el instituto Ficidet (Figura 16 A).



Figura 16. Desarrollos de plásticos mezcla moldeados, Brickarp (A), Timberecco (B,C), EL Vendaval (D).

En este caso ultimo con una técnica muy similar a la del presente trabajo de tesis, de extrusión/inyección de una sección maciza de plástico mezcla.

En ese mismo país existen los componentes desarrollados bajo el nombre comercial de Maderplast, también entablonados de plástico mezcla, para reemplazo de madera. Con esta técnica de entablonados se fabrican variados componentes (Maderplast 2019). A esto se agregan que son numerosos, los pequeños productores de postes plástico mezcla reciclado, para distintas aplicaciones en la actividad agrícola. El desarrollo Timberecco (Emprendoverde 2014) en Chile, se ubica dentro de este tipo de proyectos, Figura 16 C y B respectivamente.

Sin embargo, la mayoría de estas marcas comerciales destina sus desarrollos al reemplazo de la madera y no se ha profundizado en un análisis científico, de las propiedades físicas de estos materiales.

Así tampoco de su comportamiento frente al fuego o a la incidencia de los rayos UV, tema central para su durabilidad. La aplicación de estos plásticos mezcla en fabricación de piezas para la construcción, con el aprovechamiento de sus propiedades físicas como termo-plásticos, es aún un campo en que creemos es pertinente generar nuevos aportes tecnológicos.

#### *Consumo energético de edificios*

Específicamente en la industria de la construcción, se viene teniendo especial atención a otro problema ambiental, el consumo energético de edificios. Ya se ha demostrado que en el consumo energético mundial actualmente, el costo de la climatización de edificios es una gran parte y en este las ventanas o aberturas de distinto tipo, son un componente clave (Weir et al. 2016).

Este efecto es debido a la alta conductividad térmica que tienen las superficies vidriadas y a la infiltración debido al diseño y a los materiales de la perfilería utilizadas (Shakouri and Banihashemi 2016). En ese sentido los materiales plásticos presentan una gran ventaja, ya que pueden utilizarse para moldear perfilería para ventanas de manera muy sencilla y además con gran precisión. Esto es necesario para producir cerramientos de mayor estanqueidad, como es el caso de las aberturas comerciales de plástico Policloruro de vinilo (PVC).

Pero, por otra parte, la baja conductividad térmica de los polímeros plásticos, hacen de esta opción una variante muy apreciada, ya que los metales utilizados hasta este momento se encuentran entre los elementos de conductividad térmica más alta.

Con estos aspectos presentados sería de suponer que, en el caso de la tecnología social, para la construcción de un hábitat accesible a la población, sería objeto de numerosos estudios la fabricación de aberturas, pero sin embargo no es así. Las tecnologías de fabricación de aberturas, han sido relegadas y abandonadas a la producción de la gran industria, esto es campo solo de la llamada *high tec*.

Recientes estudios sobre este campo en nuestro país, demuestran que la mayoría de las aberturas comerciales que encontramos en nuestro medio, son de prestaciones de comportamiento térmico no apto. La mayoría de los valores de transmitancia térmica K, son mayores a 3 (De Gastines y Pattini 2019), aunque los manuales de los fabricantes informen valores mucho menores.

Por lo tanto, el desafío de esta Tesis doctoral fue el de desarrollar, una tecnología para la producción perfiles para aberturas con plásticos reciclados, en un proceso de menor impacto ambiental que los de mercado actuales, con ventajas técnicas (por sus prestaciones de transmitancia térmica y estanqueidad) pero aplicable a una tecnología sencilla conforme a las ideas de la tecnología social (TS).

## BIBLIOGRAFIA

- 2K Manufacturing. 2015. "Ecosheet, the recycled alternative". Extraído de la web: <http://www.ecosheet.com/>. 12 de diciembre, 2019.
- Agencia Córdoba Ambiente. (2000). Diagnostico provincial de los sistemas de gestion de residuos solidos urbanos., (págs. 5-6). Cordoba, Argentina.
- Ávila, Antonio y Marcos V. Duarte. 2003. "A Mechanical Analysis on Recycled PET/HDPE Composites." *Polymer Degradation and Stability* 80(2):373–82.
- Awaja, Firas and Pavel Dumitru. 2005. "Recycling of PET." *European Polymer Journal* 41(7):1453–77.
- Biasotto Mano, Eloisa. 1991. *Polímeros Como Materiais de Engenharia*. 2006 th ed. Edgard Blucher.
- Brooks Amy, Wang Shunli y Jambeck Jenna R. 2018. "The Chinese import ban and its impact on global plastic waste trade". *Science Advances* 4 (6), eaat0131.
- Burntland, Gro Harlem, Khalid y Mansour. 1987. *Informe de La Comisión Mundial Sobre Medio Ambiente y El Desarrollo: Nuestro Futuro Común*. ONU, Bruselas.
- Canogar, Daniel, 2010. (Imagen de tapa) "Vórtices", *Parte de la exposición vórtices*. Madrid, extraído 17 de Octubre de 2019, <http://www.danielcanogar.com/>.
- CEAMSE. 2010. Tratamiento de residuos solidos urbanos. *CEAMSE periodico*, pág. 10.
- Chandra Satish, Aavik Juhan y Berntsson Leif. 1982. "Influence of Polymer Microparticles on Freeze-Thaw Resistance of Structural Lightweight Aggregate Concrete." *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* 4(2):111–15.
- Chaplin, Charles. 1936. *Modern times*. Imagen extraída de <https://arthemira.wordpress.com/2015/04/03/charles-chaplin-la-maquina-de-comer-tiempos-modernos/>. United Artists, New York.
- Chen Shi-chang, Li-hao Zhang, Guo Zhang, Guo-cai Zhong, Jian Li, Xian-ming Zhang, and Wen-xing Chen. 2018. "An Investigation and Comparison of the Blending of LDPE and PP with Different Intrinsic Viscosities."
- Choi Yun Wang, Dae Joong Moon, Jee Seung Chung y Sun Cho. 2005. "Effects of Waste PET Bottles Aggregate on the Properties of Concrete." *Cement and Concrete Research* 35(4):776–81.
- CyTED. 2009. *Viviendas De Interés Social En Latinoamérica*. Ed. Massuh, Navilli, Bustos y O'Neill. Córdoba: AVE.
- Dagnino, Renato. 2004. "A Tecnologia Social e Seus Desafios." *Tecnologia Social: Uma Estratégia Para o Desenvolvimento*. 187–209.

- Dagnino, Renato. 2016. "Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas". EDUEPB Scielo, ed.2014. São Paulo.
- Dagnino, Renato y Baumgarten Maira. 2009. "Neutralidade Da Ciência e Determinismo Tecnológico – Um Debate Sobre a Tecnociência." *Reciis* 3(2):85–88.
- Dean, Sara, Andrea Oliveras, Elga Velásquez, Juan Fannin, and Nadia Lavroff. 2016. *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos En La Ciudad de Córdoba*. Córdoba.
- Delva Laurens, Cédric Deceur, Nicolas Van Damme y Ragaert Kim. 2019. "Compatibilization of PET-PE Blends for the Recycling of Multilayer Packaging Foils." in *AIP Conference Proceedings*. Vol. 30005.
- Emprendoverde. 2014. "Una alternativa a la madera: TimberEcco Recicla Plásticos". Extraído el 5 de noviembre 2018 de <https://www.emprendoverde.cl/>.
- Faria, Maurício Sardá de, Dagnino Renato y Novaes Henrique Tahan. 2008. "Do Fetichismo Da Organização e Da Tecnologia Ao Mimetismo Tecnológico: Os Labirintos Das Fábricas Recuperadas." *Revista Katálysis* 11(1):123–31.
- FICIDET. 2020. "Casa de Plástico-Brickarp". Ficidet: Creamos Materiales de Construcción Sostenible." Extraído de la web: <https://www.ficidet.com/brickarp/>. 7 de enero, 2020.
- Friedrich, Karl, Evstatiev Marko, Fakirov Sander, Evstatiev Orland, Ishii Misato y Harrass Michael. 2005. "Microfibrillar Reinforced Composites from PET/PP Blends: Processing, Morphology and Mechanical Properties." *Composites Science and Technology* 65(1):107–116.
- Fiuba, Universidad de Buenos Aires. 2011. *Estudio de calidad de los residuos solidos urbanos, area metropolitana de Buenos Aires*. Buenos Aires: UBA.
- Gaggino, Rosana. 1994. "Tecnología de Reciclado Para La Auto-Construcción de Viviendas." *I+a* (394):6–10.
- Gaggino, Rosana, Kreiker Jerónimo, Peisino Lucas Ernesto y Gonzales Laria Julian. 2017. "Una Casa Construida Con Ladrillos de PET." *Obras y Protagonistas* 253:31–32.
- GAIKER. 2019. "Materiales Termoplásticos." *Gaiker*.
- Gay, Daniel. 2014. *Composite materials: design and applications*. CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Gastines, Maureen de y Pattini Andrea, 2019. "PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE TECNOLOGÍAS DE VENTANAS EN ARGENTINA." *Hábitat Sustentable* 1:46–57.
- Geyer Roland, Jambeck Jenna y Lavender Kara. "Production, use, and fate of all plastics ever made". *Science Advances* 3 (7), e1700782.
- Gu, Lei y Togay Ozbakkaloglu. 2016. "Use of Recycled Plastics in Concrete: A Critical Review."

*Waste Management* 51:19–42.

- Habermas, Jürgen. 1986. *Ciencia y Técnica Como "Ideología."* 2ª. Chicago.
- Ignatyev, Igor, Thielemans Wimmar y Vander Beke Robert. 2014. "Recycling of Polymers: A Review." *ChemSusChem* 7(6):1579–93.
- Jambeck Jenna, Geyer Roland, Wilcox Chris, Siegler Theodore, Perryman Myriam, Andrady Anthony, Narayan Ramani y Lavender Kara. 2015. "Plastic waste inputs from land into the ocean". *Science*. 347(6223), 768-771.
- Luna Azul. 2015. "Caracterización De Los Residuos Sólidos Ordinarios Presentes En El Área De Interés Paisajístico Alonso Vera (Girardot, Cundinamarca) Y Sus Posibles Implicaciones Ambientales." *Luna Azul* (40):213–24.
- ISWA, 2015. Wilson David, Rodic Ljiljana, Modak Prasad, Soos Reka, y Carpintero Rogero (Editores). *Global Waste Management Outlook*. 01 ed. by D. C. Wilson. UNEP.
- Itim, Bachir y Philips Mathew. 2015. "Effect of Multiple Extrusions and Influence of PP Contamination on the Thermal Characteristics of Bottle Grade Recycled PET." *Polymer Degradation and Stability* 117:84–89.
- Lee, Joo Hyung, Ki Sub Lim, Wan Gyu Hahm y Seong Hun Kim. 2013. "Properties of Recycled and Virgin Poly(Ethylene Terephthalate) Blend Fibers." *Journal of Applied Polymer Science* 128(2):1250–56.
- Maderplast. 2019. "Encofrados Plásticos Moldeados." 2016. Retrieved <https://www.maderplast.com/>.
- Mantia, Franz la y Gardette, Joao Luis. 2002. "Improvement of the Mechanical Properties of Photo-Oxidized Films after Recycling." *Polymer Degradation and Stability* 75(1):1–7.
- Marx, Karl y Engels, Friedrich. 1932. *La ideología alemana*. Ed. David Razanov, sobre original de 1846. Instituto Marx Engels Lenin, Moscú.
- Massuh, Héctor. 2005. "Acerca de Las Tecnologías Apropriadas y Apropiables Para La Vivienda Popular". *Un techo para vivir*. CyTED 1(1):1–9., ed. Pedro Lorenzo. Barcelona.
- Mao, Yapeng, Shao Chengli, Peng Shang, Qiuying Li y Xuelian He. 2019. "Preparation of High Strength PET / PE Composites Reinforced with Continued Long Glass Fibers."
- Mondadori Norberto, Nunes Roberto, Canto Louis y Zattera Analissa. 2012. "Composites of Recycled PET Reinforced with Short Glass Fiber." *Journal of Thermoplastic Composite Materials* 25(6):747–64.
- Mumford, Lewis. 1964. "Authoritarian and Democratic Technics". *Technology and Culture*. 5. 1. 10.2307/3101118.
- La Nación. 2019. "Silobolsas, Cómo Reciclar El Principal Desecho Plástico Del Campo." *Diario La*

*Nacion*. Extraído 10 de diciembre de 2019.

La Nación. 2004. "El Invento Que Termina Con Los Residuos Plásticos." 2005 3. Extraído 18 de diciembre de 2019.

Nait-Ali, Keler Linda, Colin Xavier y Bergeret Anne. 2011. "Kinetic Analysis and Modelling of PET Macromolecular Changes during Its Mechanical Recycling by Extrusion." *Polymer Degradation and Stability* 96(2):236–46.

Navarro, Ricardo, Ferrándiz Santiago, López Juan y Seguí Vicente Jesús. 2008. "The Influence of Polyethylene in the Mechanical Recycling of Polyethylene Terephthalate." *Journal of Materials Processing Technology* 195(1–3):110–16.

Noticias Agropecuarias. 2017. "Reciclado de Silobolsa y Envases Plásticos." *Página Web*.

Pawlak, Andrzej, Mirosław Pluta, Jerzy Morawiec, Galezky y Pracella Mariano. 2000. "Characterization of Scrap Poly (Ethylene Terephthalate)." *European Polymer Journal* 36:1875–84.

Pigem, Jordi. 2007. "E.F. Schumacher." *Ecología Política* 126–28.

Pracella, Mariano. 2016. *Blends and Alloys*. Elsevier Inc.

Salas Serrano, Julián. 1992. *Contra El Hambre de Vivienda*. Madrid.

SAyDS. 2017. Secretaria de Ambiente y desarrollo Sostenible, Presidencia de la Nación. *Informe Del Estado Del Ambiente*. Ed. 5ta. Buenos Aires.

Schrijver De Illian, Delva Laurens, De Tandt Ellen y Ragaert Kim. 2017. "Open-Loop Recycling of PET-PE Post-Industrial Multi-Layered Plastic Waste."

Schumacher, Enrich. 1973. "Lo Pequeño Es Hermoso." 2. Ed. UBP, Barcelona.

Shakouri Mahmoud y Banihashemi Saeed. 2016. "Data in Support of Energy Performance of Double-Glazed Windows." *Data in Brief* 7:1139–42.

Siddique Rafat, Khatib Jamal y Inderpreet Kaur. 2008. "Use of Recycled Plastic in Concrete: A Review." *Waste Management* 28(10):1835–52.

Weir Grant, Muneer Thomas, Tobergte Daniel y Curtis Stan. 2016. "Energy and Environmental Impact Analysis of Double-Glazed Windows." *Energy Conversion and Management* 39(s 3–4):243–256.

Winner Langdon. 2008. *La Ballena y El Reactor*. 2ª. edited by J. Bustamante. Barcelona, España.

Won Jong Pil, Chang Il Jang, Sang Woo Lee, Su Jin Lee y Heung Youl Kim. 2010. "Long-Term Performance of Recycled PET Fibre-Reinforced Cement Composites." *Construction and Building Materials* 24(5):660–65.

Zdenek Horak, Fortelny Ivan, Kolarik Jan, Hlavata Drahomira y Sikora Antonin. 2005. "Polymer Blends." *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* 2(1):10–23.

## 2. Metodología de investigación

## 2.1 PROBLEMA DE INVESTIGACION

La problemática de los residuos sólidos urbanos (RSU) es la parte central del problema de investigación. Pero por sobre la idea de “disminuir los residuos”, se posiciona la de aprovechar los materiales con las mejores propiedades, como los polímeros, introduciéndolos en el inicio de un nuevo proceso productivo complementario.

Sin embargo, otros de los aspectos del problema se centran en la implementación de un proceso de desarrollo tecnológico y de producción, para su aplicación, basado en la idea de las tecnologías sociales (TS). Que determina la idea de generar procesos de desarrollo que favorezca un método sencillo de fabricación, con el aporte de las adaptaciones locales que pudieran surgir en su aplicación e implementando un código técnico abierto.

Es en el espacio de las TS, donde podría decirse que surge la problemática principal. Reflexionando sobre como son las tecnologías actuales para producción de ventanas, de la High Tech y que aportes de los usuarios o los fabricantes reciben. Sin descartar las ventajas técnicas de sus productos, es posible incorporarlos en procesos de trabajo repensados desde otros puntos de vista. Así se plantearon algunas preguntas de investigación, como guías de referencia.

### *Preguntas de investigación*

¿Con que procedimiento podrían incorporarse los plásticos varios de RSU, en un nuevo material como forma de aprovechar sus propiedades técnicas beneficiosas?

¿Qué propiedades tendría un nuevo material compuesto (MC) por polímeros plásticos reciclados por técnicas de extrusión simples?

¿Con que técnicas de producción podría utilizarse este material?

¿Serían aptos estos materiales para la producción de perfiles de aberturas, que respondan a requisitos mínimos de desempeño? ¿Qué desempeño tendrían esos componentes prototipos?  
¿Sería posible pensar en este desarrollo como parte de un proceso productivo que aporte a las ideas de las TS?

¿Cuál sería el costo energético de este proceso productivo, incluyendo todas las etapas en un análisis de ciclo de vida (ACV) y comparativamente con otras tecnologías existentes en el medio?

## 2.2 OBJETIVOS

### *Objetivo general*

Desarrollar un nuevo material compuesto constituido por materiales reciclados de residuos de polímeros plásticos PET, PEAD y PEBD, incluyendo otros plásticos, aplicable a la producción de perfilería para aberturas, con las lógicas inherentes a las TS.

### *Objetivos específicos*

- Estudiar y analizar la composición de residuos plásticos existentes en el medio en Argentina con volumen suficiente para su utilización en un proceso de fabricación.
- Analizar comparativamente las propiedades de diferentes materiales compuestos, por plásticos compatibles de PET, PEAD, PEBD y desarrollar una formulación de propiedades suficientes.
- Desarrollar la técnica de extrusión/inyección para la producción de perfilería apta para construcción, favoreciendo los criterios de las TS.
- Estudiar las técnicas de fabricación aplicables al proceso de producción de aberturas con los perfiles desarrollados, con las técnicas de carpintería de madera.
- Evaluar el desempeño y realizar el Análisis de Ciclo de Vida, de los prototipos de ventanas fabricadas.

## 2.3 HIPOTESIS

Un nuevo material compuesto, basado en la combinación de distintos polímeros plásticos PET, PEAD, PEBD por fusión y extrusión simple, tiene resistencia mecánica suficiente para producir componentes de cerramiento auto-portantes, muy baja absorción de agua, hinchamiento nulo bajo la acción del agua y sin riesgos de fisuras por retracción o dilatación debido a su elasticidad, pudiendo ser utilizado en la producción de perfilería para aberturas de construcción de desempeño suficiente a la normativa aplicada.

A su vez por ser una tecnología de utilización solo de materiales reciclados y reciclables, es un proceso de bajo impacto ambiental y reducido costo energético. Su ciclo de vida es de menor impacto comparado con otros componentes similares de mercado y por ser una tecnología de código técnico abierto, responde a criterios de las tecnologías sociales.

## 2.4 METODOLOGIA

Se utilizó en una primera etapa una metodología Cuantitativa de alcance Exploratorio y Descriptivo para especificar las propiedades y características de los materiales de reciclado y planificar los compuestos a desarrollar (Sampieri & Fernandez, 2010).

A posterior, la metodología experimental fue *Hipotética-deductiva*, para el desarrollo de un material compuesto basado en residuos plásticos reciclados y para estudiar la viabilidad de su aplicación en componentes constructivos. Planteando hipótesis de trabajo y verificándolas o refutándolas y ajustando los modelos planteados a los datos de ensayo obtenidos.

Sin embargo con el agregado de un análisis Cualitativo, a través de la entrevista al carpintero que realizó la fabricación de piezas y prototipos, volcando su conocimiento empírico, se aporta una mirada desde la construcción colectiva del conocimiento (Dagnino, 2016).

Específicamente y partiendo del problema de la reutilización de los residuos de polímeros plásticos, se amplió el marco teórico de trabajo en su base conceptual de teorías respecto al tema. También se realizó un estudio de antecedentes, a partir de trabajos realizados dentro de la temática que es de interés para esta tesis doctoral y así se redactó una hipótesis de investigación sólida, siguiendo los lineamientos planteados por Samaja (1993).

Luego de realizada esta búsqueda, se exploró en la composición de los desechos de polímeros plásticos que se encuentran en nuestro medio y que se desperdician de forma sustancial, lo que los hace factibles de ser incorporados en una producción. Se recopilaron datos para programar formulaciones, de características acordes a los objetivos de la investigación.

En cuanto la etapa experimental, se realizaron determinaciones de propiedades técnicas sobre probetas estandarizadas de materiales compuestos con ensayos de laboratorio, en las cuales se modificaron variables de a una por vez. Se evaluaron así los materiales constitutivos de la formulación, la dosificación de estos materiales, su granulometría, procedimientos de elaboración, presión y temperatura de fusión durante la elaboración y diseño morfológico de piezas.

Con los resultados obtenidos se reformularon las variables descritas anteriormente, hasta obtener la formulación con mejores propiedades y la técnica más adecuada de producción.

Los componentes producidos y seleccionados (perfilería para aberturas) una vez conseguidos los elementos adecuados; se aplicaron en prototipos factibles de ser instalados en viviendas

existentes. Así se amplió la evaluación, a la aplicabilidad de los materiales y las técnicas utilizadas en condiciones reales de trabajo.

### **Actividades y técnicas**

Se estudió la composición de los residuos plásticos, intentando planificar compuestos de factible aplicación. Se profundizaron los datos sobre disponibilidad y generación en el País y se estudiaron las propiedades físicas, químicas, morfológicas y de compatibilización, consultando bibliografía existente.

Avanzando en el desarrollo del material compuesto, se realizaron probetas con diferentes formulaciones por la técnica de extrusión y termo-moldeo de piezas, modificando de a una por vez las variables siguientes:

- Proporción de materiales constitutivos de la matriz
- Temperatura de extrusión
- Tiempo de extrusión y condiciones de fluidez
- Aditivos aplicables según los resultados obtenidos

Se realizaron ensayos de caracterización del material compuesto:

- Resistencia a la compresión, Norma IRAM 1622 e IRAM 1546.
- Resistencia a la flexión, Norma IRAM 1622

Se seleccionaron las mejores combinaciones y distintas formulaciones del material compuesto y se propuso un diseño de elementos componentes mediante el programa AutoCAD 3D. Utilizando la misma técnica de extrusión y termo-moldeo del material compuesto, se produjo a escala experimental perfiles de aberturas para ser ensayados.

### **Resistencia mecánica**

- Resistencia a la compresión, Norma IRAM 1622 e IRAM 1546.
- Resistencia a la tracción, Norma ISO 527-1
- Resistencia a la flexión, Norma IRAM 1622

### **Aislación**

- Conductividad térmica, Norma ASTM “Método de la aguja térmica”.
- Permeabilidad al aire con permeámetro Permea Torr, con celda de pequeñas dimensiones según Norma Suiza SIA 262/1-E

### **Durabilidad**

- Resistencia al fuego de elementos constructivos verticales sin carga. Norma IRAM 11950
- Resistencia al fuego con el método “Glow wire test apparatus”

### **Sustentabilidad**

- Análisis de ciclo de vida (ACV) de la energía acumulada en su proceso (CAE)

### **Análisis de prototipos**

- Método de fabricación de perfiles y aberturas, análisis cualitativo
- Estanqueidad al agua y al aire de aberturas, norma NBR10821-3
- Resistencia a operaciones repetidas de apertura y cerramiento (manejo), norma NBR10821-3
- Resistencia al vacío de aire (presión distribuida), norma NBR10821-3

Los resultados de ensayos de laboratorio, fueron volcados en tablas para tal fin permitiendo su procesamiento un análisis comparativo. Cabe destacar aquí que los resultados obtenidos y las conclusiones de mayor valor, surgieron del trabajo en otros ensayos o pruebas no normalizadas y en su análisis posterior.

Finalmente en la realización de prototipos, se analizaron los posibles inconvenientes constructivos surgidos en condiciones reales de trabajo. Pudieron calcularse los coeficientes de transmitancia térmica de los cerramientos (K), realizar estimaciones de condiciones higrotérmicas, temperatura interna y externa.

Para el cálculo de la transmitancia térmica de los componentes se utilizó el programa CEEMA2CON desarrollado por Gonzalo (2003), con el objetivo de verificar el cumplimiento del estándar fijado en nuestro país por Norma IRAM 11605 (IRAM, 1980).

## 2.5 DESARROLLO DE MATERIALES POLIMEROS PLASTICOS

El presente trabajo de tesis se desarrolló en base a combinaciones de materiales de desechos de polímeros plásticos, en ese sentido la bibliografía nos presenta caracterizaciones sobre estos, como materiales de ingeniería, aplicables en la construcción.

Son polímeros termoplásticos, los compuestos orgánicos, o sintéticos derivados de orgánicos, formados molecularmente por cadenas de carbono entrecruzadas. Están formados por moléculas más pequeñas con los mismos enlaces de carbono, los monómeros.

Su propiedad termoplástica consiste en que pueden ser fundidos aumentando su temperatura por encima de su punto de fusión, el que varía según el polímero en cada caso. Pero además pueden deformarse, en un rango de temperatura de reblandecimiento mucho más amplio, por debajo de ese punto de fusión. Luego conservando esta deformación al descender la temperatura nuevamente. Por esta característica es que son moldeables y este proceso puede repetirse virtualmente de forma indefinida, sin perder considerablemente sus propiedades (Miravete, 1995).

Esta propiedad se debe a la existencia en este tipo de materiales de un punto de transición vítrea ( $T_v$ ), a menor temperatura que el de fusión ( $T_f$ ). Entre este punto y su punto de fusión, el polímero se comporta de forma plástica en mayor o menor grado. Esta característica de trabajo es esencial para la compresión de que, en el trabajo con polímeros plásticos, las condiciones de procesamiento son las variables más importantes a definir dentro de la investigación.

Como se retomará más adelante, es muy importante definir el tipo de materiales a analizar, pero también ajustar las variables de un proceso, que es determinante en las piezas o componentes aplicables en la construcción que obtendremos. Este criterio será retomado en el trabajo, por lo que se agrega una pequeña reseña histórica sobre los trabajos realizados en este sentido. Que aportaron al futuro desarrollo de materiales y procesos en la tecnología de los polímeros plásticos como materiales de ingeniería.

## BIBLIOGRAFIA

- Biasotto Mano, Eloisa. 1991. *Polímeros como Materiais de Engenharia* (2006th ed.). Edgard Blucher.
- Dagnino, Renato. 2016. Tecnología Social - Contribuciones metodológicas y conceptuales. In *Scielo*. <https://doi.org/10.7476/9788578793272>
- Dean Sara, Andrea Oliveras, Elga Velásquez, Juan Fannin y Nadia Lavroff. 2016. *Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos En La Ciudad de Córdoba*. Córdoba. Retrieved from <http://greendrinksba.org/informe-gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos-en-la-ciudad-de-cordoba/>
- Gonzalo, Guillermo. 2003. Manual de Arquitectura Bioclimática. 2ª Edición. Buenos Aires: CP 67.
- IRAM. 1980. Instituto Argentino de Normalización, norma 11605. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de Transmitancia térmica en cerramientos opacos. Buenos Aires, Argentina: Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- IRAM. 2002. Instituto Argentino de Normalización, norma 11601. Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Argentina.
- IRAM, 2006. Instituto Argentino de Normalización, norma 1622. Cemento portland. Determinación de resistencias mecánicas. 3ra ed. Argentina.
- IRAM. 2010. Instituto Argentino de Normalización, norma 11507-4. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4 - Requisitos complementarios. Aislación térmica. Argentina.
- IRAM. 2011. Instituto Argentino de Normalización, norma 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina: Esquema 1*. Argentina.
- IRAM, 2013. Instituto Argentino de Normalización, norma 1546. Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión. Argentina.
- Miravete, Antonio. 1995. *Los nuevos materiales en la construcción*. Zaragoza: Centro politecnico superior de Zaragoza.
- Samaja, Juan. 1993. Epistemología y metodología. In *Genesis*.
- Sampieri R. H, Ferandez c, B. P. 2010. *Metodología de la Investigación*.

### 3. Etapa exploratoria

### 3.1 ETAPA EXPLORATORIA

Se exploraron las posibilidades de la producción por extrusión, de un nuevo material con matriz mezcla de polímeros plásticos PET y PE, aplicable a perfiles para construcción. Se llevaron a cabo como actividades exploratorias, para evaluar algunas propiedades de las formulaciones a planificar, las que se detallan:

1. Se determinaron los tiempos de extrusión de una masa de mezclas plásticas PET y PE, incluyendo el agregado de fibras de refuerzo.
2. Se estudiaron la resistencia a compresión de las mezclas de polímeros plásticos obtenidas, como evaluación preliminar de su resistencia mecánica. Se produjeron probetas por extrusión y moldeo, de medidas normalizadas para ensayos a compresión de forma paralela y perpendicular al sentido de inyección.
3. Se moldearon piezas de distintas formas y con técnicas diversas, para explorar características de trabajo del material.

#### *Materiales*

PET: obtenido por trituración de botellas desechadas a tamaño 3 mm, limpias, sin retirar tapas y etiquetas. Esto constituye un residuo heterogéneo compuesto por; PET 90 %, PP 7-8 % de tapas trituradas, Polipropileno bi-orientado (PPBO) alrededor del 3 %, de etiquetas incluidas en la trituración.

PE: polietileno de baja densidad comercial, reciclado, peletizado.

Extrusora: comercial de 3 fases de calentamiento, de caudal máximo 500 cc/min.

Como primer análisis la determinación de los tiempos de extrusión de las mezclas distintas, se realizó midiendo el tiempo requerido para la extrusión de 1 kg del material. Comparando las distintas proporciones de los materiales utilizados, se obtuvo la Tabla 1.

Tabla 1. Tiempos de extrusión de formulaciones en distintas proporciones de PET/PE

Fórmula	PE (g)	PET (g)	EVA (g)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
F1	300	700	-	<b>2,02</b>	240
F2	400	600	-	<b>2,13</b>	240
F3	500	500	-	<b>1,49</b>	240
F4	600	400	-	<b>1,58</b>	240
F5	700	300	-	<b>1,48</b>	240

Según indican los tiempos de extrusión obtenidos, el plástico PET, de alta viscosidad, aumentaría el tiempo de extrusión de la mezcla. Si bien no se observan inconvenientes para la

extrusión de la mezcla en ninguna de las proporciones utilizadas, la de mayor concentración de PET muestra una alta viscosidad, por lo que mayores cantidades al 70% de este polímero no serían viables.

De esta forma la mezcla obtenida tiene un aspecto homogéneo y compacto, si bien sabemos que por ser polímeros inmiscibles el material es internamente heterogéneo. Y las primeras piezas moldeadas, aunque con superficies irregulares o rugosas, pudieron realizarse satisfactoriamente.

Un factor muy importante a determinar, fue la temperatura de extrusión que debía aplicarse en el proceso. Esta está relacionada con la correcta incorporación de los materiales en la mezcla, pero además con los procesos de degradación de los plásticos que pudieran producirse.

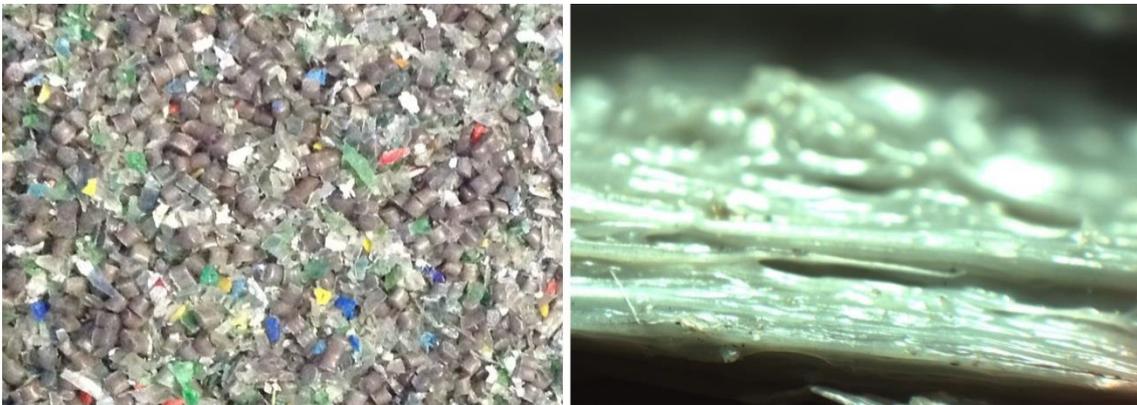


Figura 1. Mezcla plástica molida previa a la extrusión (izquierda) Mezcla extruida (derecha).

Debido a la incorporación de plástico PET y PE en este caso, cuyas temperaturas de fusión son de 140 y 260 °C respectivamente, la temperatura de extrusión máxima utilizada debía estar dentro de este rango. Además, los procesos de degradación del PET, que han sido largamente documentados, se comienzan a producir cercanos a su fusión o incluso a menor temperatura. Este efecto es mayor con la utilización de material reciclado. Por lo tanto, la temperatura determinada fue de 240 °C, intentando obtener una correcta homogeneización con la menor degradación posible.

En la práctica se observó que por debajo de los 220 °C, permanecían partículas de PET sólidas luego de la extrusión, de todas formas, esta temperatura deberá ser estudiada posteriormente. Como puede observarse en la Figura 1, el material compuesto posee sectores de plástico no totalmente fundido, dentro de los rangos de temperatura de transición vítrea. Presumiblemente el plástico mezcla obtenido posee fases de PE fundido y de PET no fundido totalmente, alrededor de 220 °C de temperatura máxima de extrusión.

Este efecto fue observado en trabajos anteriores (Navarro et al. 2008) y se constató experimentalmente que desaparece a los 240 °C. La densidad de la mezcla moldeada en forma de placas a presión de 3 t, arrojó un valor promedio de  $D = 1.11 \text{ g/cm}^3$ .

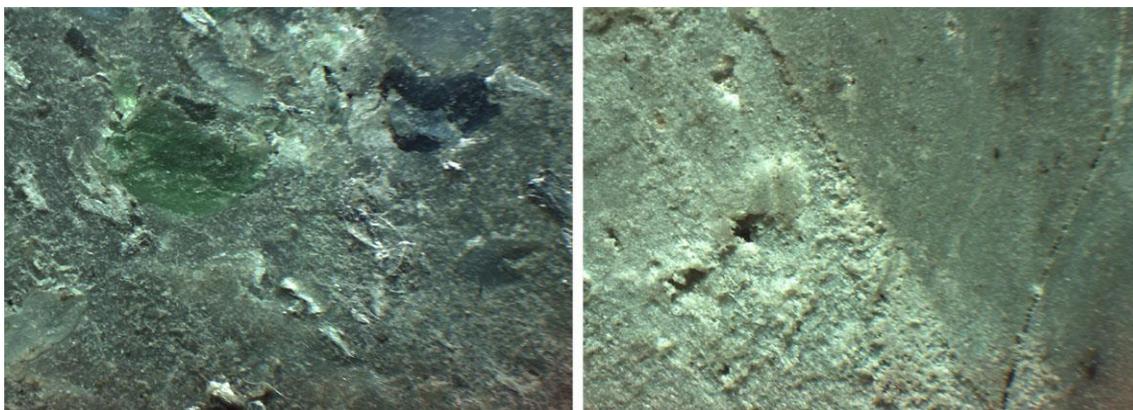


Figura 2. Mezcla plástica extruida 220 °C (izquierda) y 240 °C (derecha).

Serie 1. El estudio de la resistencia mecánica se realizó a partir de ensayos a compresión simple, sobre probetas cúbicas de 4 cm de lado. Utilizando como referencia la norma IRAM 1622 (2006), que permitió evaluar una mayor cantidad de valores de resistencia en un volumen menor de piezas moldeadas, que otras normativas similares.

La inyección se realizó con un molde rectangular de sección 40 x 40 mm y de 300 mm de largo, oponiendo resistencia con un embolo desplazable hasta conformar la pieza. Los valores informados son un promedio de 6 probetas ensayadas.

Este método de moldeo Extrusión/inyección será descrito más adelante, pero corresponde a uno empleado en el sector del reciclado de plásticos para piezas prismáticas sencillas.

Tabla 1. Valores de resistencia a compresión perpendicular al sentido de extrusión

Fórmula	PE (g)	PET (g)	Tensión (MPa)	CV %	Temperatura (°C)
F1	300	700	<b>17,1</b>	14	240
F2	400	600	<b>11,2</b>	20	240
F3	500	500	<b>8,5</b>	20	240
F4	600	400	<b>7,3</b>	18	240
F5	700	300	<b>6,0</b>	11	240
F6	350	650	<b>16,5</b>	10	240
F7	450	550	<b>9,3</b>	12	240
F8	550	450	<b>7,5</b>	9	240
F9	650	350	<b>6,9</b>	11	240

Las probetas ensayadas muestran valores de resistencia a compresión esperables según datos de referencia, entre 8 y 17 MPa. Por la forma de rotura de las mismas, se evidencia que no hay una homogeneización total de la mezcla, pero el efecto producido no generó valores bajos de

resistencia. El material se distribuye en forma de capas o fibras lineales a lo largo del molde en el sentido de inyección. Probablemente debido a que el plástico PET no se encuentra totalmente fundido.

Un mayor grado de homogeneidad podría lograrse con un aumento de temperatura, pero con un probable detrimento en la resistencia debido a la degradación de los polímeros. Este efecto de organización interna en la producción de la mezcla, permite suponer un comportamiento anisotrópico, por lo que se repiten los ensayos en forma paralela y perpendicular al sentido de inyección.

Tabla 2. Valores de resistencia a compresión paralelo al sentido de extrusión

Fórmula	PET (g)	PE (g)	Tensión (MPa)	CV %	Temperatura (°C)
F1	700	300	<b>31,2</b>	14	240
F2	600	400	<b>21,7</b>	13	240
F3	500	500	<b>19,0</b>	5	240
F4	400	600	<b>15,5</b>	7	240
F5	300	700	<b>14,9</b>	9	240
F6	350	650	<b>30,5</b>	10	240
F7	450	550	<b>19,3</b>	12	240
F8	550	450	<b>17,2</b>	9	240
F9	650	350	<b>16,8</b>	11	240

Como se observa en la anterior tabla los valores de resistencia obtenidos son similares a los encontrados en la bibliografía sobre el tema, si bien la variación porcentual (CV%) supera en muchos casos el 10%. Las probetas mostraron una resistencia, en paralelo al sentido de inyección, de 20,52 MPa y en perpendicular de 10,42 MPa en promedio.

El comportamiento del material evidencia una fase elástica amplia en la formulación F5, que va disminuyendo en el mismo sentido que aumenta la resistencia, terminando finalmente con un comportamiento frágil de la F1, representado en la Figura 3.



Figura 3. Probetas prismáticas ensayadas de formulación F1 a F5 (izquierda a derecha)

Las probetas mostraron que la resistencia fue entre un 97 % y un 80 % mayor en el sentido paralelo a la inyección que perpendicular al mismo.

Por otra parte, el aumento del porcentaje de plástico PET, produce un aumento proporcional de la resistencia a compresión, según se observa en la Figura 4. Las probetas de formulación F1 mostraron una falla frágil, por lo que la deformación plástica fue muy baja y colapsaron rápidamente. En sentido contrario las F5 sufrieron una deformación con cargas menores, con un comportamiento plástico. Al finalizar la aplicación de la carga mantuvieron deformaciones permanentes.

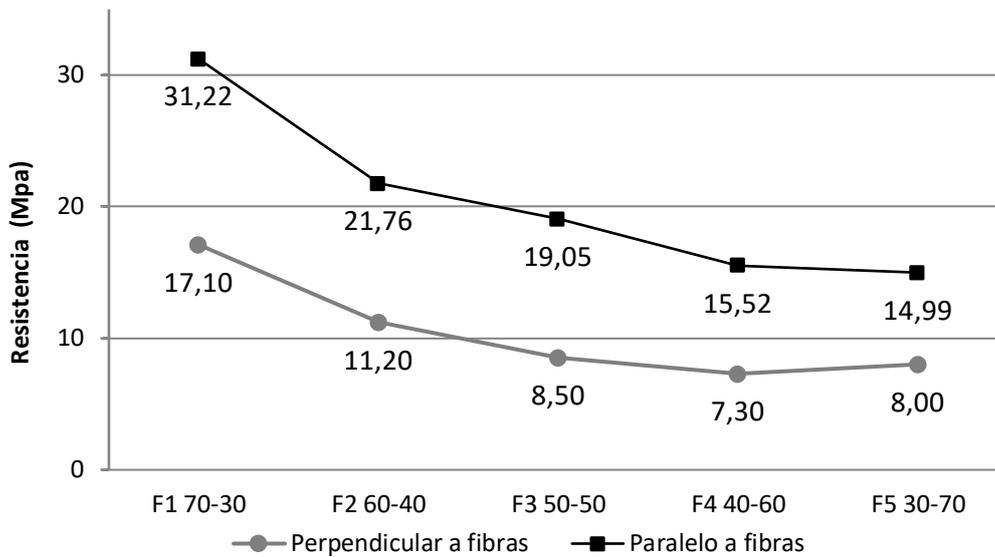


Figura 4. Resistencia comparada Paralela y Perpendicular al sentido de inyección mezcla PET/PE

Las curvas de deformación y tensión T (MPa) demuestran el efecto antes descrito en el comportamiento del material, conforme se varía la presencia de uno u otro componente en la formula plástica mezcla, esto se explica en la Figura 5.

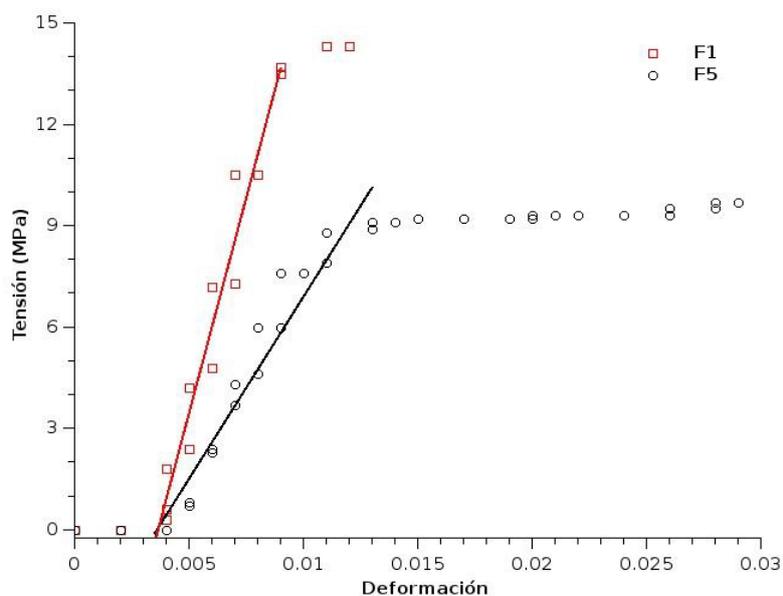


Figura 5. Tensión vs. Deformación paralela a las fibras de formulación F1 y F5

Serie 2. En una etapa siguiente se conformaron probetas cilíndricas y rectangulares para la realización de ensayos a compresión y flexión en sistema automatizado de carga continua. Las probetas cilíndricas según la normativa IRAM 1546 (2013). Seleccionando para el ensayo la formulación originalmente denominada F3, de proporción 50 % PE y 50 % PET.

Las probetas cilíndricas producidas con el mismo sistema de inyección tuvieron menor compacidad, lo cual se evidencia en los vacíos que se encuentran en su interior en la Figura 6. Los porcentajes corresponden al análisis por imagen digital. Si bien estos vacíos podrían tener efectos secundarios de resistencia, su incidencia en la conductividad térmica de los componentes podría ser beneficiosa.

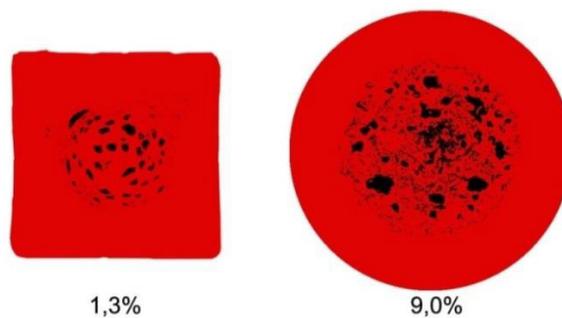


Figura 6. Porcentajes de vacíos en probetas, análisis por imagen digital

Los valores de densidad de estas probetas, de 5 cm de diámetro, también fueron inferiores a los de las rectangulares ensayadas en la serie 1, lo cual podría explicarse por el aumento del tamaño del molde realizado a la misma velocidad de inyección. Los valores de densidad se exhiben en la Figura 7, podrían estar relacionados con la presencia de vacíos. Todos los valores debajo del valor determinado originalmente en placas moldeadas de  $D = 1.11 \text{ g/cm}^3$ .

Además de la diferencia en valores de densidad, mayor en el caso de las probetas de la serie 1, se exhibe en el gráfico una gran variabilidad que deberá ser reducida con ajustes en el sistema de moldeo.

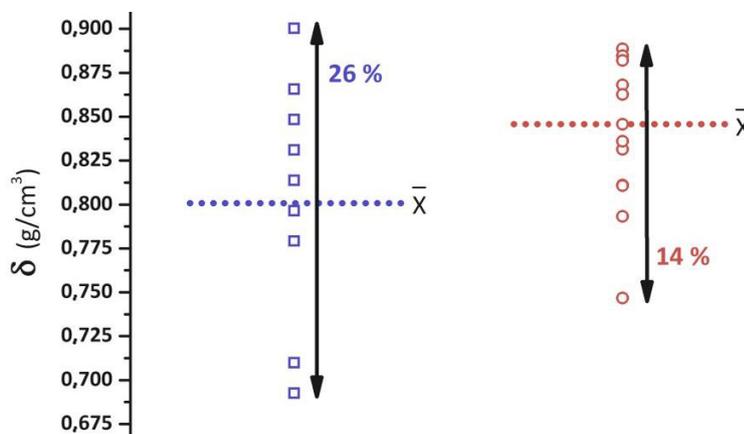


Figura 7. Valores de densidad de probetas Serie 1 (Azul) y 2 (Rojo)

Asimismo, en todas las formas con el sistema de moldeo utilizado, las piezas tienen una mayor porosidad en el centro y mayor compacidad hacia el exterior conformando capas sucesivas. Probablemente este efecto, ya descrito en trabajos citados, se aumante debido al enfriamiento gradual del molde desde el exterior al interior. Por lo que durante el proceso de inyección continúa la mezcla fluyendo a mayor temperatura por el centro del molde, hasta completarse totalmente.

En la Tabla 5 se exponen los resultados de resistencia a compresión simple de probetas cilíndricas y en Tabla 6 a flexión en probetas prismáticas. En este caso los valores se redujeron alrededor de un 50 % respecto a la serie 1, la densidad menor de las probetas podría estar asociada a la resistencia de las mismas. En la Figura 8 se detalla la deformación producida durante los ensayos a flexión.



Figura 8. Resistencia y deformación a flexión de probetas rectangulares

Tabla 5. Valores de resistencia a compresión de probetas cilíndricas

Formula	PE (g)	PET (g)	Tensión (MPa)	CV %
F3	500	500	<b>6,6</b>	4
F3	500	500	<b>7,9</b>	12
F3	500	500	<b>8,8</b>	8
F3	500	500	<b>9,7</b>	16

Tabla 6. Valores de resistencia a flexión de probetas rectangulares

Formula	PE (g)	PET (g)	Tensión (MPa)	Carga máxima (N)
F3	500	500	<b>13,7</b>	4067
F3	500	500	<b>16,0</b>	4733
F3	500	500	<b>10,7</b>	3175
F3	500	500	<b>14,9</b>	4400
F3	500	500	<b>14,5</b>	4292

Los valores de resistencia a flexión arrojaron valores preliminares positivos alrededor de los 400 Kg de resistencia. Aunque en un análisis definitivo se deberá aumentar el número de repeticiones y producirse con la morfología de los componentes a fabricarse.

El comportamiento fue elástico sin producirse fallas frágiles y siendo de sección menor a las esperadas de los componentes, muestra una tendencia favorable. La deformación máxima fue en promedio de 4 mm, un 10% de la altura de las piezas ensayadas.

Este comportamiento podría asociarse a otros materiales utilizados en la fabricación de perfilería, existentes en la construcción como la madera o el plástico PVC (Suirezs 2005). Debido a los datos obtenidos de fragilidad en la resistencia a compresión preliminar, con la variación en los componentes de la mezcla plástica, se podría esperar el mismo efecto a flexión. Esto último se incorporará en estudios posteriores.

El moldeo de piezas de diversas formas, permitió conocer características del material y posibilidades para ser utilizado. Comenzando con un termo-moldeo en moldes de aluminio de forma mayormente plana, utilizado para la producción de tejas. Así pudo determinarse que en los tiempos requeridos para este tipo de moldeo, el material no conserva la temperatura el tiempo suficiente para poder ser prensado, con un tiempo transcurrido de 1 minuto en promedio.

El moldeo de probetas para ensayos se realizó primeramente con moldes individuales con precalentamiento a 100 °C, de esta forma se obtuvieron piezas primitivas, que no tenían la regularidad ni la exactitud formal requeridas (figura 9-1). Existieron variaciones de forma y defectos de moldeo del orden de 1 cm. Por otra parte el moldeo de placas con una presión de 10 t en moldes precalentados a 100 °C dio buenos resultados de superficie y homogeneidad.

La producción de componentes es más fácilmente realizable en un moldeo o extrusión continua, aprovechando la maleabilidad del material inmediatamente siguiente a la extrusión. Lo que no permite el moldeo por compactación, como visto con el ejemplo de “teja” de la Figura 9.

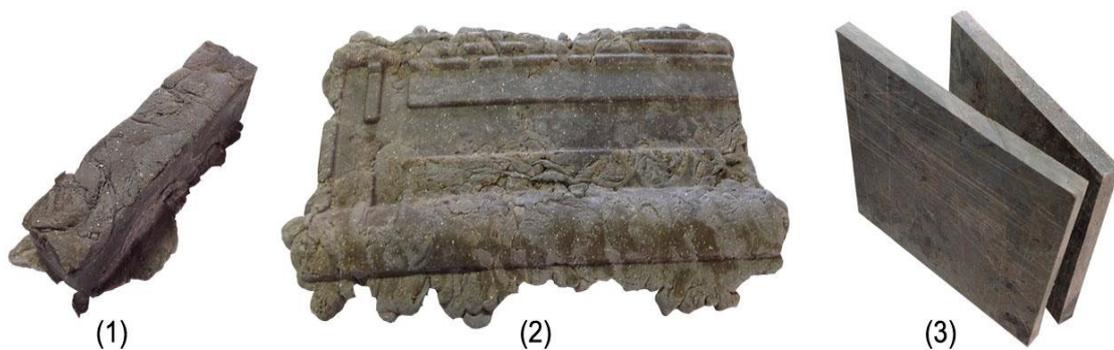


Figura 9. Ensayos de termo moldeo 1. Barras de 40 x 40 x 150 mm, 2. Teja en molde de aluminio, 3. Placas de 300 x 300 x 10 mm

Finalmente, se comenzó a ensayar la producción de perfiles en moldes de chapa plegadas, inyectado de forma lineal con un embolo desplazable. Este sistema de inyección de bajo costo es utilizado en la producción de piezas de plástico reciclado, por productores pequeños o medianos del sector.

Como estudio preliminar se tomo un modelo simple de ventana para vivienda social de fabricación manual y diseño sencillo (Berretta, 1999), según se muestra en la Figura 10, producida originalmente en perfiles de chapa plegada, con marco de hormigón. Se diseño la plantilla correspondiente a este diseño para producir los perfiles de similar forma, pudiendo reemplazar los actuales de chapa plegada.

Este sistema de ventana tiene amplia aplicación en la construcción social de viviendas, por su bajo costo y sencilla instalación. Incluso la mayor parte de este costo lo representa el marco metálico que se intenta reemplazar.

### **3.2 CONCLUSIONES**

1. La caracterización física del material arrojó resultados positivos desde el punto de vista de la compacidad y la resistencia mecánica de las mezclas. La temperatura de inyección utilizada, deberá estudiarse en relación a la variación de la resistencia mecánica y fragilidad, producida por la descomposición. En esta primera etapa la formulación designada como F6 se determinó como óptima.

2. Los resultados de resistencia mecánica en pruebas normalizadas, dieron valores alrededor de 20 MPa de resistencia a compresión y 400 Kg a flexión, superando lo esperado para un material de piezas auto-portantes. Los coeficientes de variación y la densidad de las piezas producidas son aun muy variable, se avanzará en la mejora del sistema de moldeo.

3. La fabricación de piezas por termo-moldeo es inviable en las condiciones estudiadas, el material polimérico, a diferencia de los del caucho, no posee la capacidad de mantenerse en estado plástico más de 1'. Se mostró viable la fabricación por inyección o extrusión continua del mismo. La fabricación por extrusión simple con moldes, dio buenos resultados, aunque son necesarios ajustes para tener continuidad en las piezas.

#### Método de moldeo

- El moldeo de probetas en medidas 4 x 4 x 16 cm se dificulta al utilizar mezclas plásticas a altas temperaturas que son enfriadas en su mismo molde, ya que en el espesor de 4 cm el material sufre deformaciones laterales observándose concavidades. Esto no se produce en

todas las mezclas con la misma intensidad, los materiales con presencia de partículas parecieran retraerse en menor proporción.

- Los efectos de deformación se minimizarían con el agregado de fibras de refuerzo, ya que estas impiden la retracción por calor.

- La resistencia a compresión en estas probetas moldeadas por presión estuvo en promedio en 20 MPa

#### Método de inyección

- Se intentó colocar un molde prototípico de forma cilíndrica para realizar el moldeo inmediatamente siguiente a la extrusión. El molde fue colocado mediante una boquilla adaptadora y con un embolo de madera, se opuso resistencia a la salida de la mezcla generándose un moldeo por la presión lateral que la propia extrusión produce. Este es un método *de extrusión/inyección*, combinado.

- De la misma forma con un molde de sección cuadrada 38 x 38 mm se realizaron probetas para el ensayo de resistencia a compresión simple.

- Las probetas dieron resultados positivos de densidad (cercana a 0,98 g/cm<sup>3</sup>) y una buena homogeneidad buena de la mezcla.

## BIBLIOGRAFÍA

- Berretta, Horacio. 1999. Sistema constructivo semilla. *Estudios del habitat*, 65-74.
- IRAM, 2006. Instituto Argentino de Normalización, norma 1622. Cemento portland. Determinación de resistencias mecánicas. 3ra ed. Argentina.
- IRAM, 2013. Instituto Argentino de Normalización, norma 1546. Hormigón de cemento. Método de ensayo de compresión. Argentina.
- Miravete, Antonio. 1995. *Los nuevos materiales en la construcción*. Zaragoza: Centro politecnico superior de Zaragoza.
- Navarro, Ricardo, Ferrándiz Santiago, López Juan y Seguí Vicente Jesús. 2008. "The Influence of Polyethylene in the Mechanical Recycling of Polyethylene Terephthalate." *Journal of Materials Processing Technology* 195(1–3):110–16.
- Suirezs, Teresa María. 2005. "Comportamiento de La Madera de Pinus Taeda Impregnado Con Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)." *Floresta* 35(1992):33–40.

## 4. Resultados en material compuesto

En un análisis de las propiedades físicas del material desarrollado, se sumaron a ensayos preliminares en laboratorios de CEVE y luego de seleccionar la formulación más ventajosa, otros ensayos normalizados en los Laboratorios del CINTEMAC, de la Universidad Tecnológica Nacional, Córdoba, y de la Universidad Federal do Ceará, Brasil en su sede de Fortaleza. El objetivo fue obtener datos cuantitativos del comportamiento esperable del material compuesto (MC), aplicable a la producción de aberturas.

De esta forma se incluyen, intentando hacer una descripción holística de propiedades mecánicas, Resistencia a compresión, flexión y tracción. Sumado a estas la variable más crítica para los materiales plásticos, la resistencia ignífuga.

Se utilizaron métodos de normativas de la construcción, para un estudio de su aplicabilidad en ese medio, un tipo de ensayos a los que normalmente no son sometidos los materiales de polímeros plásticos.

#### 4.1 RESISTENCIA A COMPRESION

En este análisis se decidió utilizar la normativa IRAM 1546, que se aplica normalmente a hormigón, pero sin embargo es ampliamente aceptada como método de ensayo para todo tipo de materiales en el ámbito de la construcción. Si bien en materiales plásticos suelen utilizarse otros métodos, se lo consideró un marco de referencia adecuado para avanzar en la compresión de las propiedades del MC.

Se conformaron probetas cilíndricas de relación entre diámetro de sección y longitud  $L/D=2$ , en una primera serie y segunda serie, como se especifica en la Tabla 1. En cada caso el valor corresponde al promedio de 6 probetas ensayadas.

Tabla 1. Formulaciones ensayadas en una primera serie

Fórmula	r PET/PE	$\varnothing$ (mm)	L (mm)	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )
F3	50/50	47,3	995	0,81
F3	50/50	47,3	1000	0,82
F3	50/50	47,4	1000	0,87
F3	50/50	47,3	1000	0,85
F6	65/35	47,3	1000	0,86
F6	65/35	47,3	999	0,84
F6	65/35	47,3	1000	0,88
F6	65/35	47,4	1000	0,89
F6	65/35	47,3	998	0,85

Esta primera serie ensayada corresponde a la misma de igual proporción entre los polímeros estudiados (r 50/50 p/p), formulación estudiada en la etapa exploratoria. Se realizó una comparación con los valores obtenidos en dicha etapa, ya que los de resultados definitivos del MC, fueron realizados con equipamiento de ensayos de mayor confiabilidad. Además, el cambio de método implicó un mayor tamaño de probetas, con la consecuente reducción de la densidad y el efecto ya demostrado de variación en la resistencia que esto implica.

En una serie siguiente, se incorporó la formulación de mejores resultados en ensayos de la etapa preliminar. Esta corresponde a F6 con una relación de 65/35 (p/p), entre plástico PET y PE respectivamente. De esta forma podemos obtener valores más representativos, de la relación que puede obtenerse en la combinación de ambos residuos utilizados. Los valores de resistencia a compresión de ambas series se indican en la **Figura 1**. Entre los valores arrojados de densidad ( $\rho$ ) podemos observar que, si bien existe una variabilidad de 3,09 % en el conjunto, no es considerable para la técnica de moldeo y el método sencillo hasta aquí aplicado. Previamente una determinación de densidad ya descrita en el punto 3.1, arrojó un valor promedio de 0,85 g/cm<sup>3</sup>, que es el mismo valor en promedio de este conjunto.

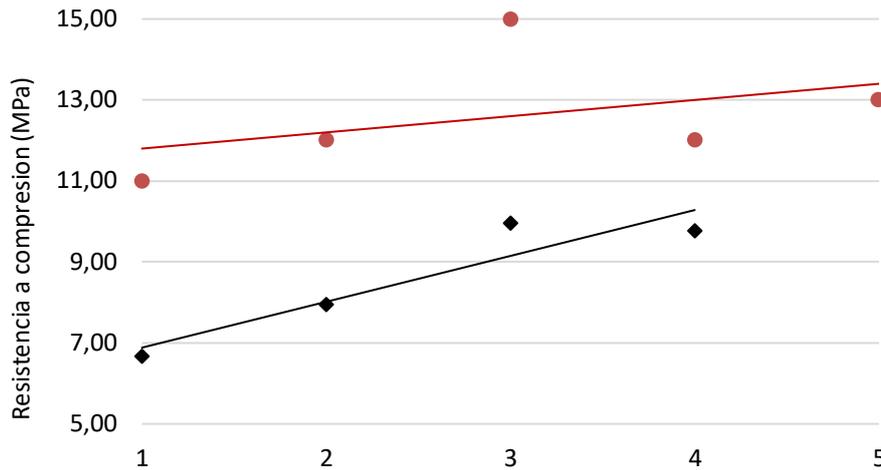


Figura 1. Valores de resistencia a compresión de series F3 y F6 (negro y rojo respectivamente)

Como podemos ver en la Figura 1 y coincidiendo con las pruebas preliminares, es significativo el aumento de resistencia mediante el agregado de plástico PET en la formulación. Asimismo, este aumento podría traer asociados un aumento de la fragilidad que ya fue descrito en la primera etapa también. Por otra parte, esta relación entre aumento del plástico PET y fragilidad es un efecto común que se asocia a este tipo de materiales.

Sin embargo, es importante destacar que estas propiedades son suficientes para su utilización en componentes no portantes. En el caso de la fabricación de aberturas, como es nuestro caso, no existe una resistencia a compresión mínima requerida del material individualmente. Y considerando que los valores se encuentran por encima, de los mínimos requeridos por el reglamento Cirsoc para mampostería portante (5 MPa) y para hormigón de estructuras portantes (20 MPa) consideramos que es una resistencia suficiente.

Será estudio de próximos capítulos que, la resistencia del material y sus uniones, se ven solicitadas a los ensayos de manejo y maltrato de aberturas. Siendo en esta etapa donde se pone a prueba la resistencia de los mismos, así como también del MC.

#### *Variabilidad en la resistencia por temperatura de extrusión*

Dentro del campo de los materiales plásticos y especialmente en los reciclados, las condiciones de extrusión de un material pueden resultar de vital importancia para las propiedades obtenidas. Así lo demuestran los estudios que asocian una disminución de resistencia al calentamiento sucesivo del material y su tiempo de permanencia en el proceso (Ávila and Duarte 2003))(De Moura Giraldi, De Jesus, and Mei 2005) .

En un avance sobre los resultados satisfactorios ya obtenidos de resistencia mecánica, se decidió analizar una propiedad de resistencia del material, a temperatura variable de extrusión utilizando la misma formulación de composición del MC.

Es importante aquí destacar que la temperatura ya determinada, que correspondía a una homogeneización del material, no imposibilita analizar si esta tiene efectos de degradación o aumento de la fragilidad en las piezas producidas. Estos efectos son normalmente encontrados en la bibliografía, como efecto del reciclado de estos polímeros o similares, dentro del rango de trabajo que ya fue implementado de 230-245 °C. Las formulaciones estudiadas se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Formulaciones estudiadas de temperatura de extrusión variable

Formula N°	PE (%)	PET (%)	Tensión (MPa)	Coefficiente Variación (%)	Temperatura (°C)
F6c1	35	65	19,19	10	220
F6c2	35	65	21,89	7	225
F6c3	35	65	23,63	3	230
F6c4	35	65	34,63	6	235
F6c5	35	65	33,25	7	240
F6c6	35	65	36,55	9	245
F6c7	35	65	23,56	12	250
F6c8	35	65	21,60	11	255
F6c9	35	65	25,30	5	260

Como puede observarse en la **Tabla 2** una variación de 5 °C, nos permite realizar un barrido de 9 variantes sobre temperaturas de extrusión Tomando como referencia que, tal cual ya fue descrito en el punto 4.a, el límite menor de 220 °C corresponde a la temperatura en que en la práctica, la homogeneización de los materiales no se produjo, por sobre 260 °C comenzaba la degradación del PET (Ávila y Duarte, 2003)(Nait-Ali, Colin y Bergeret, 2011).

Puede verse en la **Figura 2** que el aumento que se produce de temperatura entre 220 y 235 °C, mejora la resistencia en las piezas, probablemente asociado a la correcta homogeneización de las mismas. Entre 240 y 245 °C se podría asumir que los valores están dentro de un mismo rango por su variabilidad y la resistencia es la más alta de la serie alcanzando los 36 MPa. Este si bien es un valor optimo, muestra una tendencia de buenos resultados en resistencia a compresión.

Por último, sobrepasado el valor de 250 °C durante el procesado del material, aunque hasta este punto no son resultados concluyentes, es evidente el comienzo de un proceso de degradación del material, probablemente mayor en el plástico PET, con la consecuente

pérdida de resistencia. Esto que ya fue observado en algunos trabajos (Pawlak et al. 2000) es un resultado esperable dentro de un MC con presencia predominante de plástico PET reciclado (Nait-Ali, Colin, and Bergeret 2011). Todo lo descrito se evidencia con claridad en las pendientes que se grafican en la Figura 2.

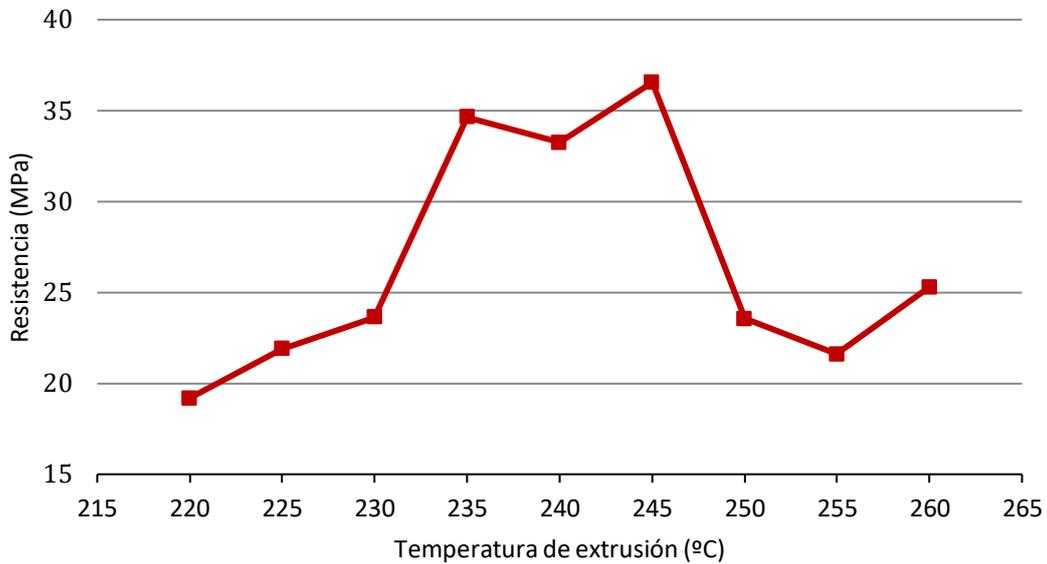


Figura 2. Variabilidad de la resistencia a compresión según la temperatura de extrusión

Por lo explicado en el Capítulo 3 y el primer ensayo realizado en el presente, es que la formulación indicada como F6 65/35 procesada a 245°C, se determinó como óptima a los efectos de continuar el trabajo experimental, modificando otras variables, sobre la base de esta. Es por esto que las formulaciones serán indicadas en sus variantes de composición, sobre la formula optima F6 de polímeros de composición básica, ya determinada.

## 4.2 RESISTENCIA A TRACCION

Se incorporó el ensayo de resistencia a tracción, por ser una de los más utilizados en el desarrollo de tecnología de polímeros plásticos. Probablemente como caracterización de MC sea un dato de gran importancia, pero no sea un gran aporte en el desarrollo de un componente de perfilería para aberturas, ya que esta tensión es difícilmente una situación real a la que se encuentra sometido el componente. De todas formas, incorpora un valor que puede ser contrastable con la mayoría de los desarrollos de materiales de esa especialidad. Por otra parte, la compresión y la flexión probablemente sean los esfuerzos más frecuentes, a los que estará sometido el componente pretendido.

En el trabajo realizado por De Moura (2005) se describe la forma comercial de realizar el reciclado de PET y algunos valores de resistencia a tracción obtenidos. Sin embargo, en ese caso con el secado que se debe realizar con alta temperatura en un proceso altamente complejo.

En una primera etapa el análisis de resistencia a tracción se hizo en base a la normativa ISO, correspondiente al tipo de material de Plásticos compuestos u Otros. En una segunda etapa se prosiguió con componentes de barras completas, como forma de completar una visión más amplia de esta variable. Esto fue debido a que el material puede contener una gran variabilidad de comportamiento según el sistema con que sea moldeado y dependiente de esto es también su densidad y la resistencia que a esta se asocia. Ambos casos sobre la formulación F6 (65/35) determinada como óptima en las etapas descritas en el Capítulo 3.

### *Materiales y métodos*

Se realizó el análisis mediante la probeta para la normativa ISO 527-1, la que corresponde a una sección cortada sobre una placa del material de espesor de 5 mm. Conformando una pieza alargada con una cintura central y dos extremos mayores para realizar la sujeción de la pieza al equipo de ensayo, el detalle de la misma se indica en la Figura 3.

En una segunda serie, se utilizaron barras conformadas por extrusión de 25 x 25 mm de sección, que fueron ensayadas con el mismo procedimiento y ambas piezas se detallan en la Figura 4, A y B respectivamente.

Si bien ambos métodos parecieran ser dispares, se evaluó cualitativamente el comportamiento en ambos casos, que muestra resultados similares y así mismo observaciones en las piezas ya ensayadas coincidentes.

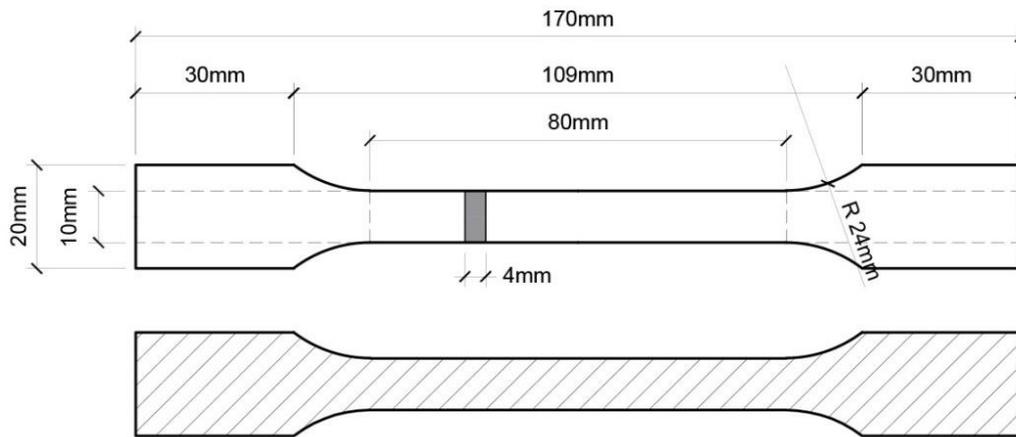


Figura 3. Detalle de probeta ensayos a tracción, según ISO 527-1



Figura 4. Detalle de probeta ensayos a tracción, barras extruidas de sección cuadrada (A) norma ISO 527-1 (B)

Puede evidenciarse con la morfología de las fallas obtenidas que en ambos casos el efecto de capas de laminación, que ya se había descrito en etapas anteriores, se sigue encontrando. En cada caso se presenta de manera distinta.

En las probetas planas acorde a normativa ISO, realizadas por corte sobre placas comprimidas, se presentan capas superpuestas que no se vinculan totalmente y sufren separaciones entre si, en un sentido perpendicular a la acción de fuerza aplicada, ver en la **Figura 4 B**. En el caso de las barras el efecto se presenta con una separación entre capas externas y el centro de la sección de las mismas. Como sabemos, que este efecto ya fue descrito anteriormente, incluso con un cambio de densidad entre ambos sectores, que es esperable encontrarlo.

Hasta este momento de investigación no presenta ningún efecto negativo, ya que la resistencia de las probetas tipo barras, fue siempre mayor que las de sección de placas. De todas formas, la generación de un centro menos denso con celdas de aire internas puede tener efectos en la conductividad térmica del material y las condiciones de proceso. Esto deberá ser estudiado a posterior de forma más amplia. De esa manera los valores de

resistencia obtenidos, tienen una diferencia entre ambos métodos, lo cual es lógico por la diferente conformación de las probetas. Los resultados se detallan en las Tabla 3 y Tabla 4.

Tabla 3. Valores de comportamiento en ensayos de tracción según norma ISO527-1

	N°	Carga Máxima (daN)	Resistencia a tracción (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
Probetas según ISO527-1	A1	32,60	11,50	4,9%	2,67
	A2	23,10	8,50	3,5%	1,75
	B1	35,90	13,30	7,3%	1,31
	B2	31,70	12,10	5,7%	2,58
	B3	29,00	11,00	2,6%	2,89

Tabla 4. Valores de comportamiento en ensayos de tracción de barras ensayadas

	N°	Carga Máxima (daN)	Resistencia a tracción (MPa)	Alargamiento a la rotura (%)	Módulo de elasticidad (MPa)
Barras de sección cuadrada 20x20mm	A1	791,70	13,00	4,5%	1,05
	B1	741,70	12,10	3,0%	1,55
	B2	984,10	16,00	5,0%	1,56
	C1	947,90	15,40	5,1%	1,24
	C2	813,40	13,20	4,4%	1,28

En valor promedio en esa segunda serie fue de 13,9 MPa con un coeficiente de variación (CV) del 4%, a diferencia de las probetas de placas donde la resistencia en promedio fue de 11 MPa y un CV 5%. Esto refuerza la idea de que la extrusión directa es el sistema más apto de moldeo ya que la organización lineal en el sentido de extrusión en capas sucesivas concéntricas mejora la respuesta del MC.

Comparativamente, en la **Figura 5** podemos observar la relación casi directa entre ambas series, con similares líneas de tendencia. Considerando lo reportado como valores esperables por trabajos anteriores (Navarro et al. 2008) de alrededor de 30 MPa, se estaría produciendo una reducción de la resistencia de un 50%. Sin embargo, en este caso el agregado de 35% de PE y la degradación durante el proceso podrían tener efectos de este tipo.

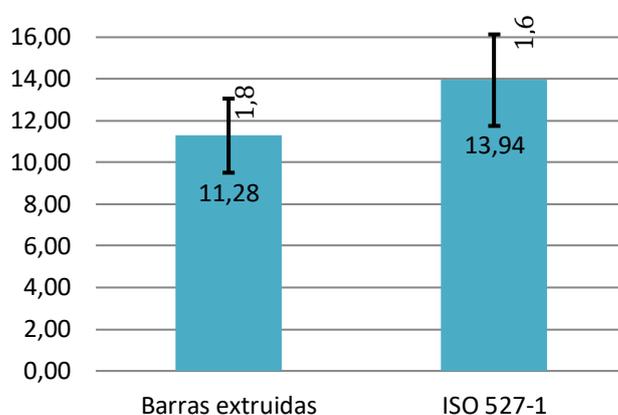


Figura 5. Resistencia a tracción de series ensayadas promedio y valor de desviación estándar

Otro aspecto importante a considerar es que en trabajos ya citados, se obtienen valores de PET reciclado de 60 MPa de resistencia a tracción (De Moura Giraldi et al. 2005). Sin embargo, en este caso como en la mayoría de los procesos industriales se realiza un secado previo, a una temperatura entre 110 y 130 °C, para evitar el efecto de hidrólisis en el plástico que puede producirse. El costo ambiental en este tipo de procesos de todas formas, es muy alto y por eso se descarta.

#### 4.3 RESISTENCIA A FLEXION

Para evaluar otro aspecto importante en un material aplicable a la construcción, se estudió la resistencia a flexión de la formulación desarrollada.

En este caso se siguió el método descrito en la norma IRAM 1622, sobre probetas prismáticas de dimensiones 40x40x160 mm, que permite la medición de la resistencia a flexión y compresión. El ensayo es realizado, en el caso de la flexión, con la probeta colocada sobre una base de apoyo que permite elevar los extremos de la misma y que en su centro, con la incidencia de la carga verticalmente, la pieza pueda flexionarse. Así, se realiza el cálculo de la resistencia a flexión según la carga máxima obtenida, por la siguiente expresión:

$$[Cargamaxima(N) * 1,5 * DistanciaD(mm)]/L^3 (mm^3)$$

El detalle de la ubicación de la probeta y la base para ensayos con este procedimiento puede verse en la **Figura 6**. Como ya fue descrito corresponde al soporte de la probeta por los extremos, quedando como luz libre un 90% de la distancia D de la misma, con suficiente espacio libre en el centro para su flexión.

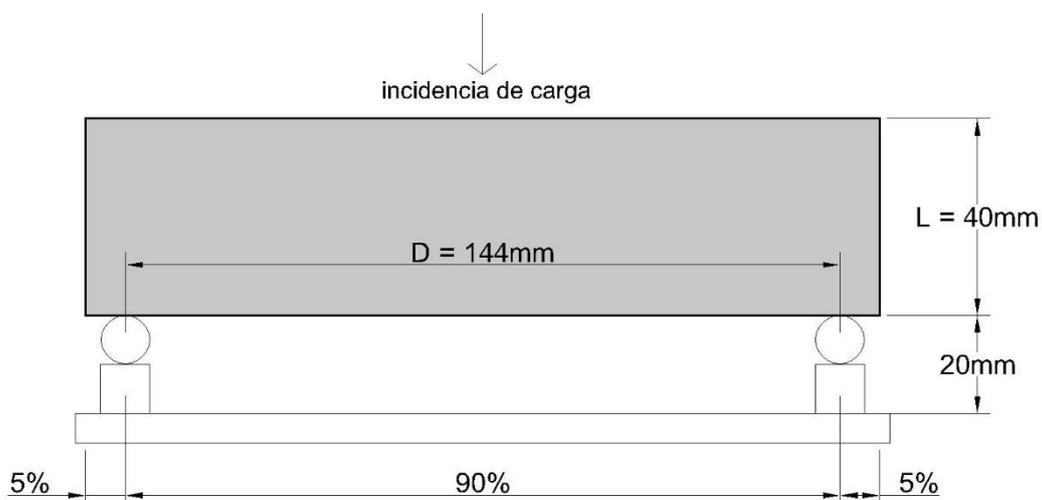


Figura 6. Detalle de ensayo a flexión de probetas prismáticas

Tabla 5. Valores de resistencia a flexión de probetas ensayadas

N°	Carga Máxima (daN)	Resistencia a flexión (MPa)	Resistencia promedio (MPa)	CV (%)
A1	446,00	20,25		
A2	444,00	20,16		
A3	449,00	20,39	20,2	1,6
A4	550,00	24,97		
A5	438,00	19,89		

En los valores obtenidos que se detallan en la **Tabla 5**, puede verse como la resistencia del MC que fue de 20 MPa en barras a flexión es suficiente y se la considera apropiada para este tipo de materiales.

Sin embargo, algunos aspectos negativos cualitativos fueron detectados durante la experiencia. En general la falla de las piezas se produjo de forma repentina, no existiendo prácticamente una deformación plástica. En ese sentido es que podemos decir que fue de características frágiles. También la rotura de las probetas fue muy neta y siempre de forma recta en el centro de las mismas.

#### *Análisis de valores comparados*

Los valores compilados en la bibliografía por Biasotto (1991), son una referencia sobre propiedades mecánicas de polímeros, de producción virgen, aplicados a materiales de ingeniería. También informados en manuales similares de otros autores (Zdenek et al. 2005). Analizando los valores combinados, elaborados en base a los valores de referencia, con el agregado de un último valor, correspondiente al MC de PET/PE desarrollado, ver en **Figura 7**.

Como puede observarse en los gráficos comparativos, la resistencia a tracción que puede alcanzar un valor de 14 MPa, puede considerarse en correlación directa y similar a la de otros polímeros de aplicación en materiales de ingeniería. Sin embargo, es muy cercana a la del PEBD y PEAD, pero por debajo de la del PET, que supera los 100 MPa, ambos componentes de la fórmula de MC, pero en polímeros vírgenes.

En ese sentido lo descripto por Pracella y otros en trabajos de la especialidad (Pracella 2016) (Pracella et al. 2002), ya es demostrativo de este efecto de degradación del polímero, incluso en mayor grado reduciendo su resistencia notablemente.

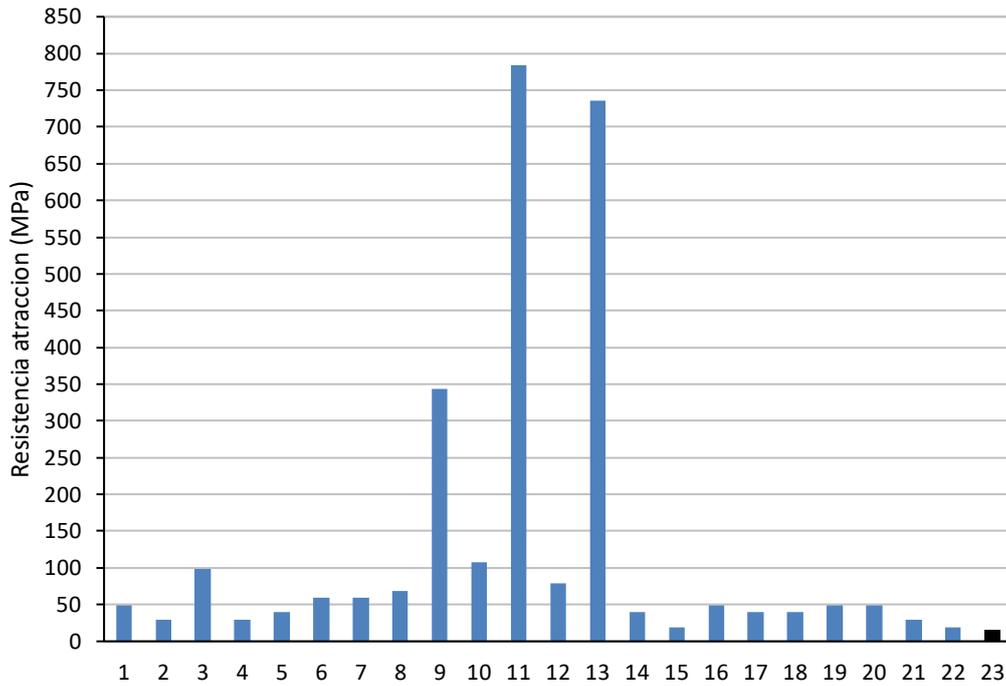


Figura 7. Referencia polímeros; 1.PEBD, 2.PEAD, 3.PP, 4.PS, 5.PVC, 6.PTFE 7.PVAC, 8.PMMA, 9.PAN, 10.ER, 11.PET, 12.PC, 13.GRP, 14.PA6, 15.PA11, 16.PA66, 17.PA610, 18.PR, 19.UR, 20.MR, 21.PU, 22.NR  
**23.MC desarrollado**

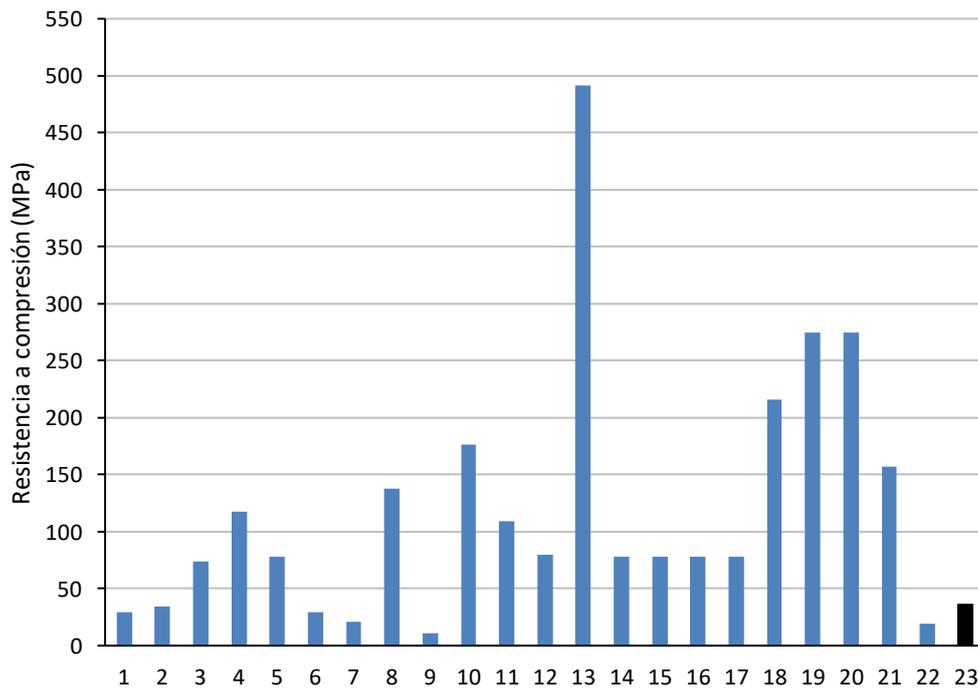


Figura 8. Referencia polímeros; 1.PEBD, 2.PEAD, 3.PP, 4.PS, 5.PVC, 6.PTFE 7.PVAC, 8.PMMA, 9.PAN, 10.ER, 11.PET, 12.PC, 13.GRP, 14.PA6, 15.PA11, 16.PA66, 17.PA610, 18.PR, 19.UR, 20.MR, 21.PU, 22.NR  
**23.MC desarrollado**

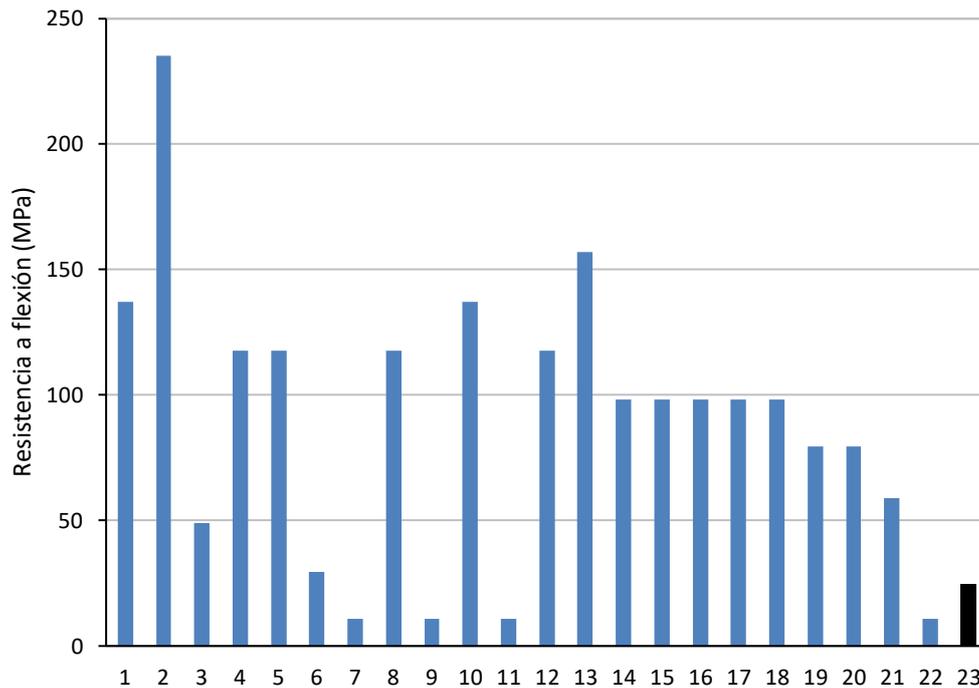


Figura 9. Referencia polímeros; 1.PEBD, 2.PEAD, 3.PP, 4.PS, 5.PVC, 6.PTFE 7.PVAC, 8.PMMA, 9.PAN, 10.ER, 11.PET, 12.PC, 13.GRP, 14.PA6, 15.PA11, 16.PA66, 17.PA610, 18.PR, 19.UR, 20.MR, 21.PU, 22.NR 23.MC desarrollado

Sin embargo, la mezcla del polímero con otros como los aquí citados, disminuye este efecto (Navarro et al. 2008)(Ávila and Duarte 2003). La mayoría de las veces asociado a la descomposición de las cadenas del polímero, en presencia de valores de humedad aunque sean muy bajos, y a un aumento repentino de la estructura cristalina del mismo material.

Por otra parte, el efecto no es trasladable a los valores de resistencia a compresión y flexión que se encuentran en las Figura 8 y Figura 9. Aquí podemos ver que los valores de resistencia se encuentran coincidentemente, intermedios entre el PET y PEBD y PEAD, componentes de su fórmula.

Es importante destacar que el efecto que es sensible en las propiedades de los materiales a la tracción, el requerimiento principal para fabricación de envases en la industria (Awaja and Pavel 2005)(Makkam and Harnnarongchai 2014), no lo es en otras propiedades. Así el material se comporta suficientemente a la compresión y flexión, los requerimientos más importantes en la producción de aberturas u otras aplicaciones en la construcción.

Puede verse en las Figuras siguientes el análisis de microscopia SEM filtrando el barrido por los elementos de Oxígeno (O) y Carbono (C) en capas combinadas en la Figura 10 o en capas individuales en Figura 11; **Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

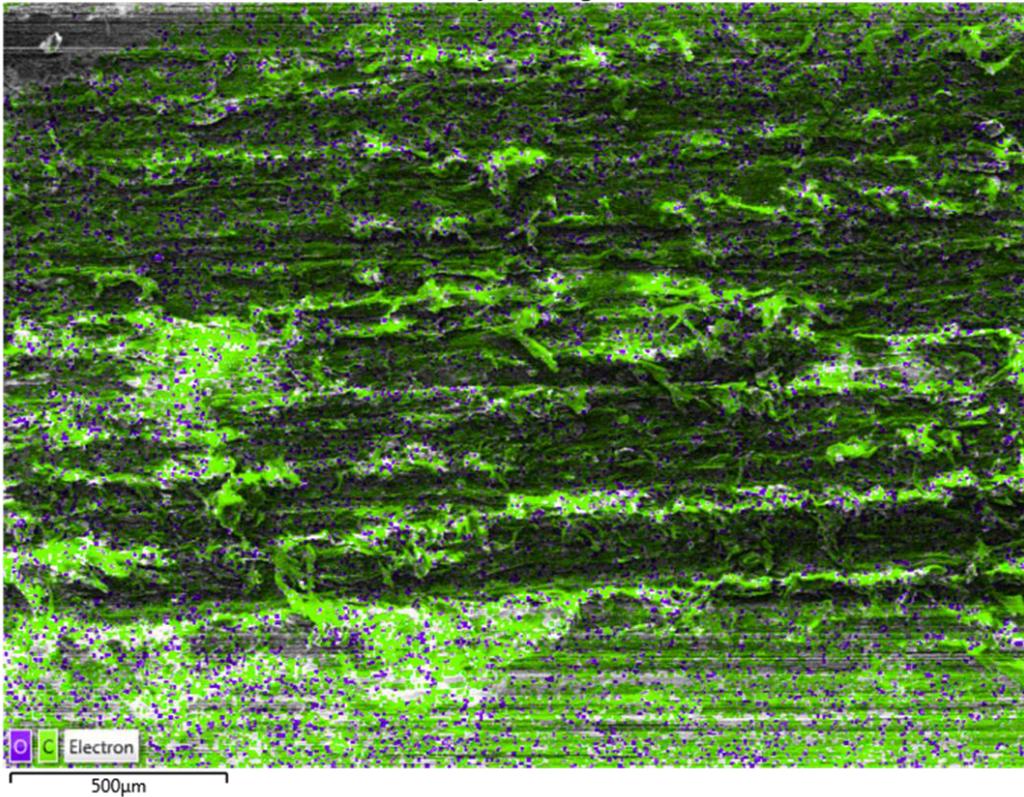


Figura 10. Imágenes de microscopía SEM con detección de elementos O y C en layers combinados

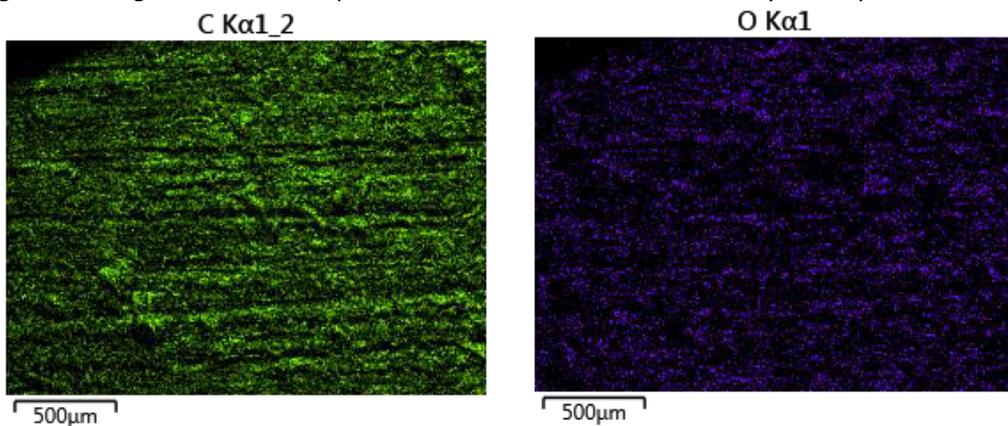


Figura 11. Imágenes de microscopía SEM con detección de elementos O y C en capas individuales

El análisis demuestra nuevamente la correcta distribución de ambos polímeros en capas sucesivas y la conformación verdadera de un MC, ya que como fue detallado, la molécula de O es parte de la estructura del plástico PET, mientras que en el caso del C lo poseen ambos materiales.

Por lo que en este caso la presencia del color violeta (O) detecta la distribución del polímero PET y el verde (C) de los restantes. Podemos entonces considerar que esto demuestra la correcta distribución que producen tanto el método de conformación del material, como el sistema de fabricación de las piezas.

Esto no es en detrimento de la estructura compuesta del material, organizada en layers o capas. Lo cual puede evidenciarse en imágenes de la morfología interna de probetas ensayadas o partes de material desgarrado, como las que se exhiben en la Figura 12.

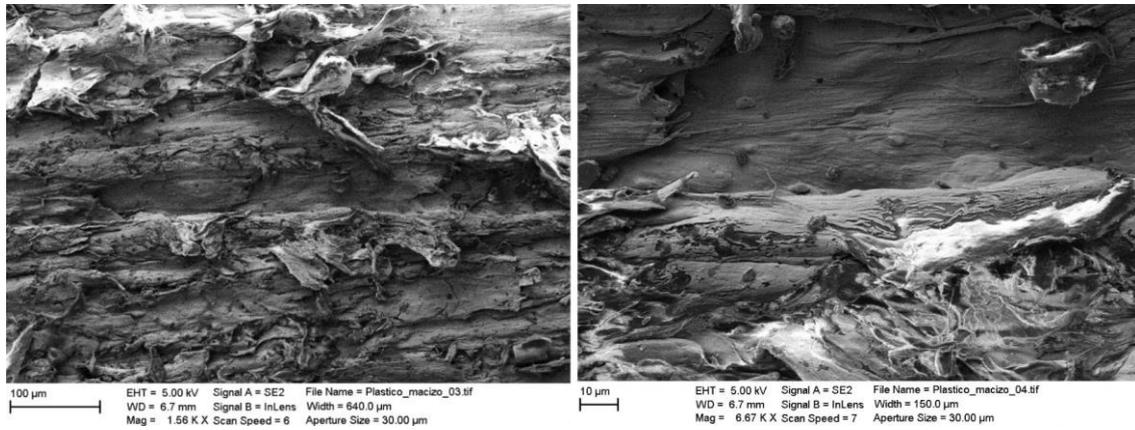


Figura 12. Imágenes de morfología interna del material en probetas ensayadas

#### 4.4 RESISTENCIA AL FUEGO

Las pruebas de resistencia al fuego de materiales plásticos, consisten principalmente en dos métodos de ensayo. Los mismos se diferencian por tratarse de pruebas, con exposición de probetas o piezas directamente a la llama o con la exposición a un filamento metálico incandescente. La diferencia entre ambos sistemas radica en que, en el caso de la llama la temperatura de exposición, con gas natural en ambiente libre, ronda los 1900 °C sin regulación. En el segundo caso en cambio podemos variar la misma entre 300 y 900 °C, estudiando así de manera más precisa el comportamiento de nuestro material. Por esto es que se ha decidido avanzar en el análisis del material propuesto con ambos métodos.

En el primer caso el ensayo de fuego por norma UL 94 Vertical tiene por objetivo evaluar el comportamiento de un material polimérico frente a una llama intermitente de baja intensidad (llama de 2 cm de altura y color azul), exponiendo la pieza de forma directa.

Por otra parte, el ensayo para plásticos expuestos a conductores eléctricos de Filamento incandescente, *Glow wire apparatus*, se realiza según la norma IEC 60695-2-10. En este caso poniéndolo en contacto la probeta con un filamento metálico conductor a elevada temperatura, por circulación de corriente eléctrica.

#### Metodología

Ensayo de fuego directo UL 94 - El mismo consiste en exponer a la llama una probeta durante 10 segundos y observar si se enciende. Si esto ocurre se contabiliza el tiempo que tarda en autoextinguirse y si no se enciende se somete a la llama por 10 segundos más. Se utilizan pequeñas probetas lineales de 15,0 x 1,0 x 0,5 cm por triplicado, detallado en Figura 13.

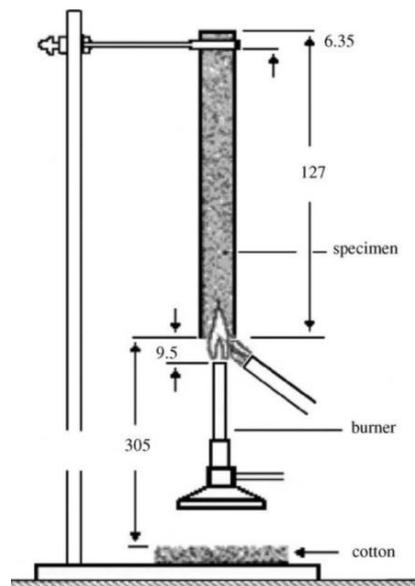


Figura 13. Esquema del ensayo UL94 Vertical

Con este se obtiene una clasificación del material como excelente (V0), bueno (V1), malo (V2) y no clasificable (NC) según el siguiente comportamiento:

**V0** - El material se enciende y se autoextingue antes de los 10 segundos. Luego de la segunda exposición el material se autoextingue antes de los 30 segundos.

**V1** - El material se enciende y se autoextingue entre 10-30 segundos. Luego de la segunda exposición el material se autoextingue entre 30-60 segundos.

**V2** - Ídem a V1, pero con el desprendimiento de gotas del material.

#### **Ensayo de alambre incandescente IEC 60695-2-11**

La prueba del hilo incandescente es llevada a cabo en productos terminados. Su finalidad es garantizar que no se encienda en caso de que una fuente de ignición (tal como un conductor sobrecalentado) entre en contacto con el material plástico.

La muestra a ensayar es preferiblemente todo el producto, si es posible. El alambre incandescente se aplica a la zona más susceptible de entrar en contacto con una fuente de ignición, o al área del producto donde el material plástico es el más delgado. El alambre de incandescencia se calienta a la temperatura requerida y luego se aplica a la muestra durante 30 segundos con una presión de 10 N. Luego se retira y se observa la muestra durante 30 segundos más. Los aspectos a observar consisten en:

1. Si se produce la ignición y en ese caso, cuánto tiempo transcurre hasta su inicio
2. El tiempo que tarda la extinción de las llamas
3. Si la muestra es completamente consumida por las llamas
4. Si el tejido debajo de la muestra se encendió por la caída de los desechos

La muestra pasa la prueba si **A** - no se enciende o **B** - las llamas se extinguen dentro de los 30 segundos siguientes a la eliminación del hilo incandescente y el tejido por debajo no se enciende.

#### **Resultados - Ensayo de fuego directo UL 94**

Las probetas fueron compuestas por la formulación de mezcla plástica ya analizada 65% PET 35% PE y el agregado de dos compuestos. Un ignífugo comercial (Ai) disperso en matriz de polímero polipropileno (PP) y una carga mineral de calcio (ACa).

La extrusión se realizó correctamente. Solo pudo observarse que las piezas se tornan de un color desparejo, más claro, cuando se supera el porcentaje de adición del 20% del ignífugo. Las formulaciones de la serie se ejemplifican en la Tabla 6.

Tabla 6. Formulaciones de la primera etapa de ensayos norma UL94

Formulación	PET (%)	PE (%)	Ai (%)	Ai (g)	ACa (%)	ACa (g)
Fp	65	35,0	-	-	-	-
Fi1	65	32,5	2.5	50	-	-
Fi2	65	30,0	5	100	-	-
Fi3	65	25,0	10	200	-	-
Fi4	65	15,0	20	400	-	-
Fi5	65	5,0	30	600	-	-
Fi6	65	32,0	-	-	5	125
Fi7	65	29,0	-	-	10	250

En el caso del primer ensayo de fuego directo las formulaciones Fi1 a Fi3 resultaron como No clasificables, debido a que las probetas se encendieron y no se auto extinguieron en los primeros 60 segundos. De todas formas, en las formulaciones Fi6 y 7 el inicio de la combustión completa de la probeta se produce más lentamente. No se observa el desprendimiento de gotas del material en general, solo en los casos de formula patrón y Fi1, pero todas sufren daños severos morfológicos.

Puede observarse de todas formas que la sección de las piezas no se enciende de forma inmediata durante la aplicación de la llama, como ya fue explicado para las probetas con aditivos de carga de calcio. Comienza con fuego en los laterales, que luego se disipa hasta tomar la sección completa, en los segundos posteriores al cese de la aplicación de la fuente de fuego, lo que se indica en la Figura 14.



Figura 14. Pasos de la ignición por el método norma UL94

Por otra parte, las formulaciones desde Fi4 y Fi5 en cambio, cumplieron con la autoextinción resultando con la clasificación V0 o V1 dependiendo del caso, estos resultados se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de formulaciones de la primera etapa ensayo norma UL94

Formulación MC				T 0 (s)	T 1 (s)	T 2 (s)	T 3 (s)	T 4 (s)	
	A-PET % (gr)	B-PE % (g)	Ai % (g)						
Fi4	65 (1300)	15 (300)	20 (400)	10	20	34	45	x	V1
Fi4	65 (1300)	15 (300)	20 (400)	10	20	42	45	x	V1
Fi4	65 (1300)	15 (300)	20 (400)	10	20	29	49	x	V1
Fi5	65 (1300)	5 (100)	30 (600)	10	20	24	34	45	V0
Fi5	65 (1300)	5 (100)	30 (600)	10	20	22	33	59	V0
Fi5	65 (1300)	5 (100)	30 (600)	10	20	25	26	53	V0

Por lo que podemos asegurar en esta primera serie que el aditivo funciona para la formula plástica propuesta con buen resultado, pero en valores entre en 20 y 30% de concentración.

El tiempo T0 corresponde al inicio de la ignición, T1 al cese de la fuente de ignición, T2 a la extinción primera del material, T3 al inicio de la segunda ignición y T4 a la extinción segunda del material si sucediera. En caso de no producirse su utilizo una letra X. De acuerdo a este comportamiento positivo, pero valores altos de agregado de aditivos, y en el caso del 30% cumplirse la auto extinción inmediata, se decide avanzar hacia otras formulaciones con valores intermedios.

Además, como resultado preliminar se observó el efecto de la carga de calcio retardando el inicio de la combustión de la probeta completa. Por esto se amplía el análisis a más formulaciones en una segunda serie. Se pretende alcanzar una formulación con la menor concentración de aditivo ignífugo posible, que verifique los ensayos de inflamabilidad. En este caso sumando los valores de ambas normativas utilizadas y evaluando de ser positivo, la combinación de ambos agregados a la mezcla.

#### **Ensayo de alambre incandescente IEC 60695-2-11**

Se comenzó con la determinación de la temperatura a utilizar para el material a evaluar. Esta puede ser determinada previamente, por lo que se comenzó ensayando probetas sin el aditivo de ignífugos y en ese caso la ignición del material comenzó a los 600 °C en todos los casos y esa fue la temperatura utilizada.

El ensayo comenzó con el contacto del hilo incandescente con la probeta plástica, que debe mantenerse por 30 segundos y retirarse, dentro de este periodo las probetas comienzan su inflamación, lo que se especifica en la Figura 2. En todos los casos se detectaron daños severos en la morfología de las piezas y un derretimiento del material. Con el agregado de la generación de una perforación al interior de la pieza.

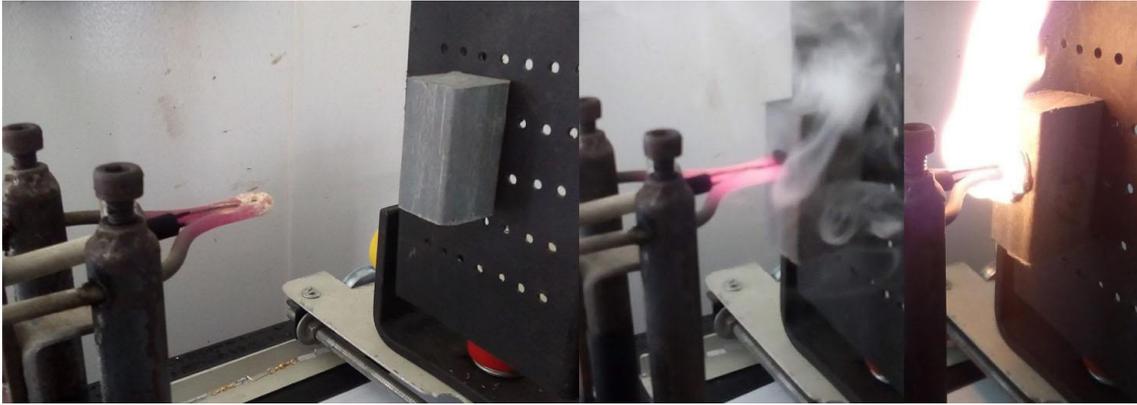


Figura 15. Pasos del ensayo por el método del Filamento incandescente

Como se evaluó en el ensayo por el método anterior, las formulaciones de Fi1 a Fi3 no generan su auto extinción, de esta forma no verifican para la norma de la misma forma que en el ensayo anterior.

Las formulaciones Fi4 y Fi5 comienzan con la auto extinción, lo cual indica su buen comportamiento y en el último caso esto es inmediato luego de pasados los primeros 30 s. Este último efecto sería un comportamiento de máximo desempeño u óptimo, sin embargo por la alta concentración del compuesto aditivo, se desestima poder viabilizar esta formulación en una producción a escala real.

Para las demás formulaciones que corresponden a la carga de aditivo mineral de calcio, se profundiza el efecto de no ignición. Esto quiere decir que, si bien la probeta no se autoextingue una vez encendida, se puede evitar la ignición inicial cuando se utiliza en aditivo en altas concentraciones. De esta forma el efecto que se produce es un gradiente de aumento de tiempo de ignición, hasta que supera los 30 s del contacto del filamento con la probeta. Todas las formulaciones estudiadas con el resultado obtenido se presentan en la Tabla 3.

Es de suponer aquí que ambos comportamientos pueden ser compatibles, por lo que es posible combinarlos y obtener así resultados que se potencien. En ese sentido es que se decide analizar una serie de formulaciones con el agregado de 15 y 20 % de aditivo ignifugo (Ai) con la combinación de calcio (ACa) en distintas concentraciones.

Tabla 8. Resultados de formulaciones de la segunda etapa por el método del Filamento incandescente

Formulación					T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	Gotas	
	A-PET % (g)	B-PE % (g)	Ai % (g)	ACa % (g)					
Fp	65 (1300)	35,0 (700)	0	0	13	30	x	si	NC
Fi1	65 (1300)	32,5 (650)	2,5 (50)	0	20	30	x	si	NC
Fi2	65 (1300)	30,0 (600)	5,0 (100)	0	20	30	x	no	NC
Fi3	65 (1300)	25,0 (500)	10,0 (200)	0	20	30	48	no	B
Fi4	65 (1300)	15,0 (300)	20,0 (400)	0	20	30	40	no	B
Fi5	65 (1300)	5,0 (100)	30,0 (600)	0	20	30	31	no	A
Fi6	65 (1300)	34,0 (680)	0	5,0 (100)	20	30	x	no	NC
Fi7	65 (1300)	33,0 (660)	0	10,0 (200)	20	30	56	si	NC
Fi8	65 (1300)	32,0 (640)	0	15,0 (300)	20	30	no	no	A
Fi9	65 (1300)	31,0 (620)	0	20,0 (400)	20	30	no	no	A

En una tercera etapa de ensayos, las formulaciones fueron preparadas con una combinación de ambos aditivos hasta aquí utilizados. Correspondiendo a una combinación de la auto extinción generada desde el aditivo ignífugo y el retardo de la ignición que aporta el componente mineral. Las formulaciones propuestas y resultados se presentan en la **Tabla 9**.

Tabla 9. Formulaciones de la tercera etapa de ensayos por el método del Filamento incandescente

Formulación					T1 (s)	T2 (s)	T3 (s)	Gotas	
	A-PET % (g)	B-PE % (g)	Ai % (g)	ACa % (g)					
Fi10	65 (1300)	20,0 (480)	10,0 (200)	5,0 (120)	24	30	55	si	
Fi11	65 (1300)	17,5 (470)	10,0 (200)	7,5 (180)	29	30	63	no	
Fi12	65 (1300)	15,0 (460)	10,0 (200)	10,0 (240)	0	30	x	no	
Fi13	65 (1300)	12,5 (450)	10,0 (200)	12,5 (300)	0	30	x	no	
Fi14	66 (1300)	10,0 (440)	10,0 (200)	15,0 (360)	0	30	x	no	

Finalmente la formulación Fi12, conteniendo un aporte del 10% de aditivo retardante de llama y un 10% de aditivo mineral de calcio, tuvo la mejor respuesta en conjunto frente al ensayo. Combinando un retardo de llama y un componente ignífugo que superó con el máximo nivel lo solicitado por la norma, sin encenderse en los 30 s de exposición a temperatura. Se la toma como la formulación seleccionada a utilizar en futuros desarrollos del material.

#### 4.5 COMPORTAMIENTO TERMICO

El comportamiento térmico es una de las variables más importantes a estudiar, dentro de lo que concierne a un desarrollo de aberturas, por el impacto de este en la transmitancia térmica del componente que finalmente se obtendrá.

Es por esto que debe hacerse la diferenciación entre la Conductividad Térmica (CT) de un material y la Transmitancia Térmica (TT) correspondiente a un cerramiento o componente complejo. La CT, correspondiendo al material homogéneo, es una propiedad física que representa su capacidad de conducir el calor y se representa con la letra Lambda ( $\lambda$ ). La unidad en que comúnmente es medida es  $\lambda = W/mK$ . Por otro lado, de TT sobre el componente de ventana, incluye todos sus componentes y representa la capacidad de transmitir el calor al interior del ambiente por  $m^2$  de superficie de ese elemento. Se representa con la letra K (U internacionalmente) y su unidad es  $K = W/m^2K$ .

Para el estudio de la Conductividad térmica del material, se decidió contrastar con el método denominado “Placa caliente con guarda”, un método ampliamente utilizado en materiales de construcción y descrito en la norma Norma IRAM 11559. Sumando además el método de la Aguja Térmica, adoptando la norma ASTM D5334 y obteniendo valores significativos de conductividad térmica específica de este material en ambos casos. Para los cálculos de TT de la ventana prototipo se utilizó el Programa desarrollado por el Centro de Estudios de Energía y Medioambiente de la UNT (Gonzalo y Nota 2003). El estudio presentado en el presente capítulo, forma parte de un trabajo publicado por el autor con otros autores, que lo hicieron posible con su significativo aporte (Gonzalez Laria et al., 2018)

#### Metodología

La medición de conductividad térmica (CT) de las muestras de material se realizó mediante la técnica de la aguja de calentamiento, siguiendo los pasos enunciados en la norma ASTM D-5334 (ASTM; 2007). Los ensayos fueron realizados en el laboratorio de la Facultad de Ciencias Exactas físicas y Naturales y los dispositivos pertenecen al I.M.P.A.S., Grupo de Investigación en Medios Porosos y Aguas Subterráneas, Universidad Nacional de Córdoba.

Se realiza la calibración del equipo con la norma, la cual presenta el procedimiento de cálculo que determina la conductividad térmica en suelos, rocas y otros materiales, estableciendo valores de conductividad térmica que luego se comparan con valores de conductividad de materiales con propiedades conocidas.

En este caso Agua destilada  $0.607 \pm 0.03$  W/mK y Glicerina líquida  $0.292 \pm 0.003$  W/mK, admitiendo una variación estándar ver en la Tabla 10.

Tabla 10. Calibración de equipos de medición de conductividad térmica.

Fluido	Conductividad Térmica $\lambda$ [ W/mK]		Error porcentual (%)
	Medida	Teórica (*)	
Agua Destilada	0,590	0,607	-2,7
Glicerina Líquida	0,295	0,292	1,0

#### *Preparación de muestras*

La muestra de material a utilizar para el análisis, es una probeta de sección circular, con 50 mm de diámetro en su sección y 100 mm de longitud. Fue producida con la técnica de extrusión, utilizando el mismo procedimiento de fabricación con el que se realizan los perfiles desarrollados. De esta manera se intenta acercarse lo más fielmente posible al comportamiento del componente, en una sección regular extruida.

En el caso de la norma IRAM, se utiliza una probeta plana de sección cuadrada, que es introducida en la cámara de ensayos, llamado de “placa caliente”. Las medidas de la misma son 200 x 200 x 25 mm y el procedimiento de producción es diferente, realizando la pieza por compactación en un molde de esa forma, de la mezcla plástica ya extruida. Por utilizarse un sistema de fabricación distinto, para producir distintas piezas, es que el comportamiento puede diferir y deciden realizarse los dos procedimientos mostrados, asumiendo que podría haber diferencias entre ambos.

#### *Medición*

El ensayo consiste en la inserción de un sensor de aguja simple marca EAST-30 de acero inoxidable de 1 mm de diámetro y 60 mm de longitud en la muestra, expuesto en Figura 1. La misma en su interior posee un hilo Evanohm que se calienta durante el ensayo, a través de la aplicación de corriente eléctrica. Tiene incorporada además una termocupla de 1 °C de precisión, que se mide repetidamente con un multímetro durante 90 segundos (período que dura el ensayo), detectando las variaciones de temperatura que sufre la aguja durante el calentamiento (ver Figura 2). Durante el ensayo se mantuvo la temperatura y la humedad ambiente controladas en 24 °C y 50 % respectivamente.

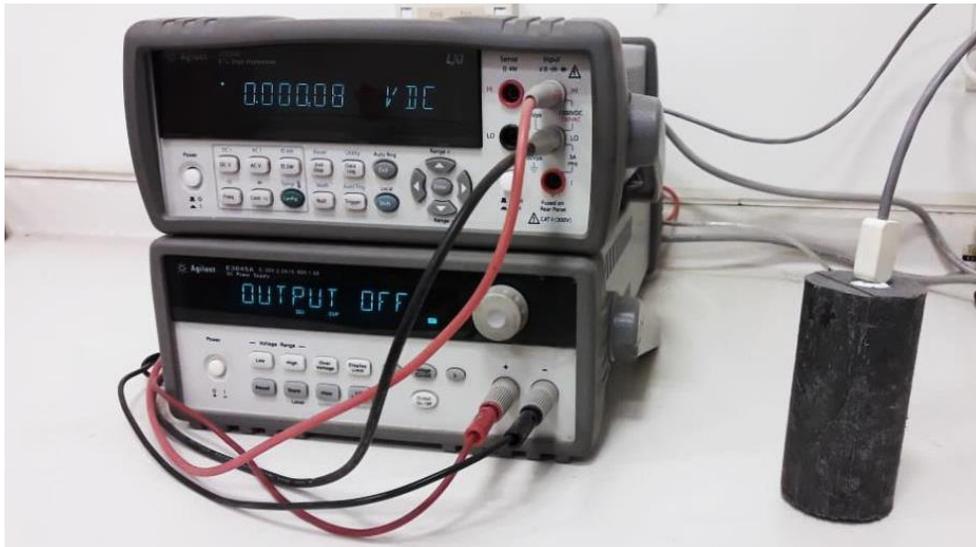


Figura 16. Esquema de medición de datos. Fuente: (Laria et al. 2018)

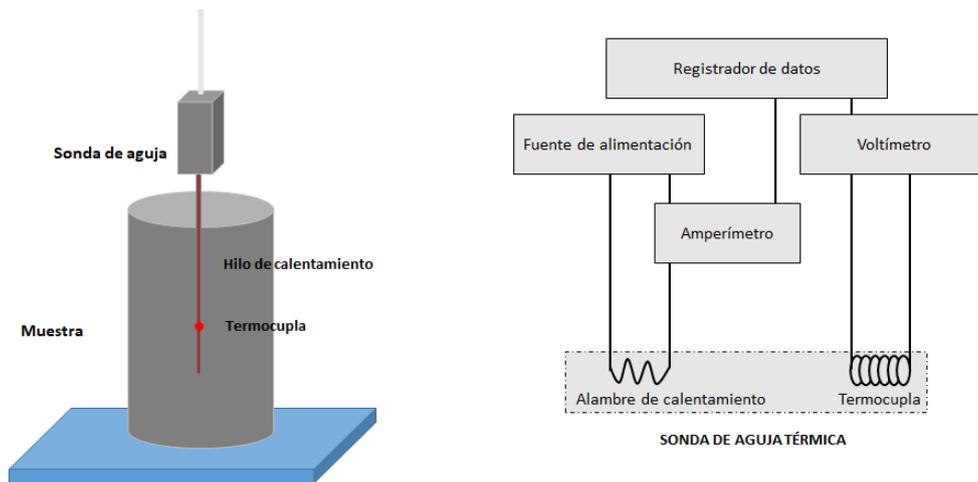


Figura 17. Estudio experimental de la conductividad térmica. Fuente: (Laria et al. 2018)

#### *Cálculo de la transmitancia térmica (K)*

Una vez obtenidos los datos de conductividad, es posible aplicar los cálculos de la Norma IRAM 11507-4 (IRAM 2010). Correspondiente a Ventanas exterior, Aislación térmica.

La verificación se hace en la Zona Bioclimática IIIa, Correspondiente a Córdoba AERO (IRAM 2011). La ventana verificada, según lo establecido en la IRAM 11601, con todos sus componentes debe presentar un valor de transmitancia térmica total menor que  $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

#### *Caracterización del material*

El material compuesto desarrollado fue caracterizado en un análisis por imágenes. De esta forma se demostró que su estructura interna no es homogénea y que el mismo se encuentra organizado en capas. Este efecto ya fue descrito por autores previamente (Navarro et al., 2008), donde se evaluó la organización de estas dependiendo la dirección de moldeo del material.

En este caso por tratarse de un material extruido, pudo observarse que las capas se organizan linealmente en el sentido de la extrusión, como se observa en la Figura 18. Probablemente debido a este efecto el material es resistente, pero con una fase elástica en su comportamiento a compresión y tracción (Ávila and Duarte 2003).

Cabe destacar que la producción de las piezas con residuos sin separación de las fracciones plásticas de otros componentes (generalmente PP o PPBO) demuestra que puede aplicarse el material a con una formulación robusta. Así mismo el método de fabricación también determina que las propiedades de las piezas sean diferentes, analizándolas en una dirección o la otra. Un comportamiento anisotrópico que podría ser perjudicial en algunos casos, para materiales industriales. Sin embargo, en el caso de la producción de aberturas, es semejante al comportamiento de la madera blanda, relacionado a su bajo peso, gran elasticidad y presencia de fibras en determinada organización generalmente lineal (Suirezs 2005).

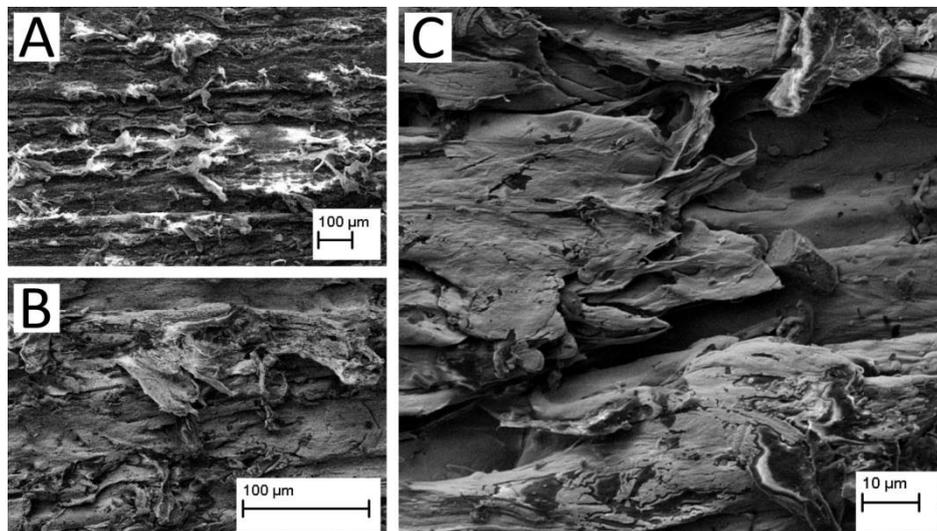


Figura 18. Imágenes de microscopia SEM en la superficie interna del material ensayado a compresión El método de extrusión adaptado es una modificación del tradicionalmente utilizado, descrito en manuales de la especialidad (Wagner Jr., Mount III, and Giles Jr. 2014), con el agregado de un molde para el enfriamiento y terminación, siguiente a la boquilla de extrusión, ver en Figura 19. De esta manera se conforma la totalidad de la geometría de la perfilería fabricada.

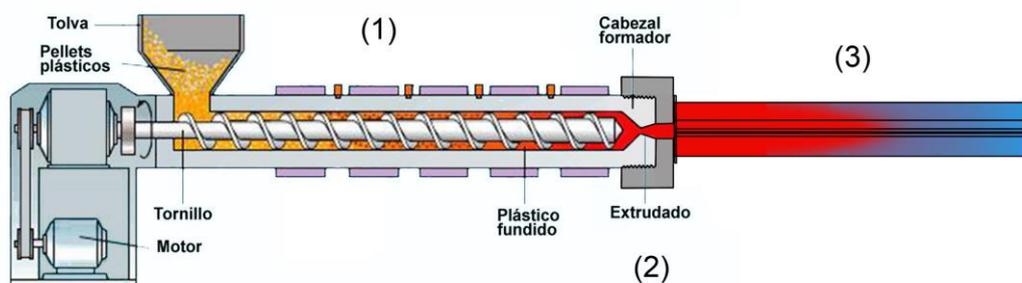


Figura 19. Extrusión modificada; Calentamiento (1) Boquilla extrusión (2) Molde de enfriamiento (3)

Este sistema sencillo de moldes, que será explicado más detalladamente en el capítulo 6, fue adaptado su geometría y optimizado en sus propiedades de producción. La formulación óptima seleccionada corresponde a una relación 65/35 p/p de PET/PEBD y PEAD. Si bien el agregado de aditivos conocidos puede mejorar sus propiedades, debido a sus costos y que los resultados alcanzados fueron satisfactorios, se descartó hasta esta etapa. Con las piezas extruidas se fabricó el prototipo según el cual se continúa el análisis de comportamiento térmico. El mismo se basa en un diseño de aberturas modulares (C.E.V.E. 2006) y aplicado ampliamente en proyectos de vivienda social.

Uno de los aspectos principales del diseño de las aberturas que se tuvo en cuenta fue el de la producción. Existen estudios demostrativos del comportamiento de las ventanas de perfiles de madera, que siguen siendo las que muestran un menor impacto ambiental en su producción y el análisis de su ciclo de vida (Llorente Diaz 2011).

Además los estudios preliminares que muestran valores similares en los perfiles plásticos reciclados, para el diseño de ventana propuesto, hacen pensar que el desempeño térmico de la tecnología, podría ser muy prometedor (Gonzalez Laria et al. 2019).

Por esto un análisis del comportamiento térmico del material y prototipos, es complementario con los realizados de resistencia mecánica y desempeño del material en general y se estima pertinente a esta investigación. Un resumen de sus propiedades físicas hasta este momento obtenidas puede verse en la Tabla 11, demuestran alguna similitud con la madera que analizaremos más adelante durante este capítulo, y el diseño aplicado en el prototipo se detalla en la Figura 20.

Tabla 11. Propiedades de perfilera plástica y madera comparadas. Elaboración propia y datos de madera de Suirezs (Suirezs 2005)

Variables	Compuesto plástico	Madera natural
Formulación	65/35 PET-PE	Madera blanda
Densidad	0,85 g/cm <sup>3</sup>	0,43 - 0,70 g/cm <sup>3</sup>
Resistencia a compresión	36 MPa	16 - 30 MPa
Resistencia a tracción	13,9 MPa	8 - 18 MPa
Resistencia a flexión	20,2 MPa	14 - 30 MPa

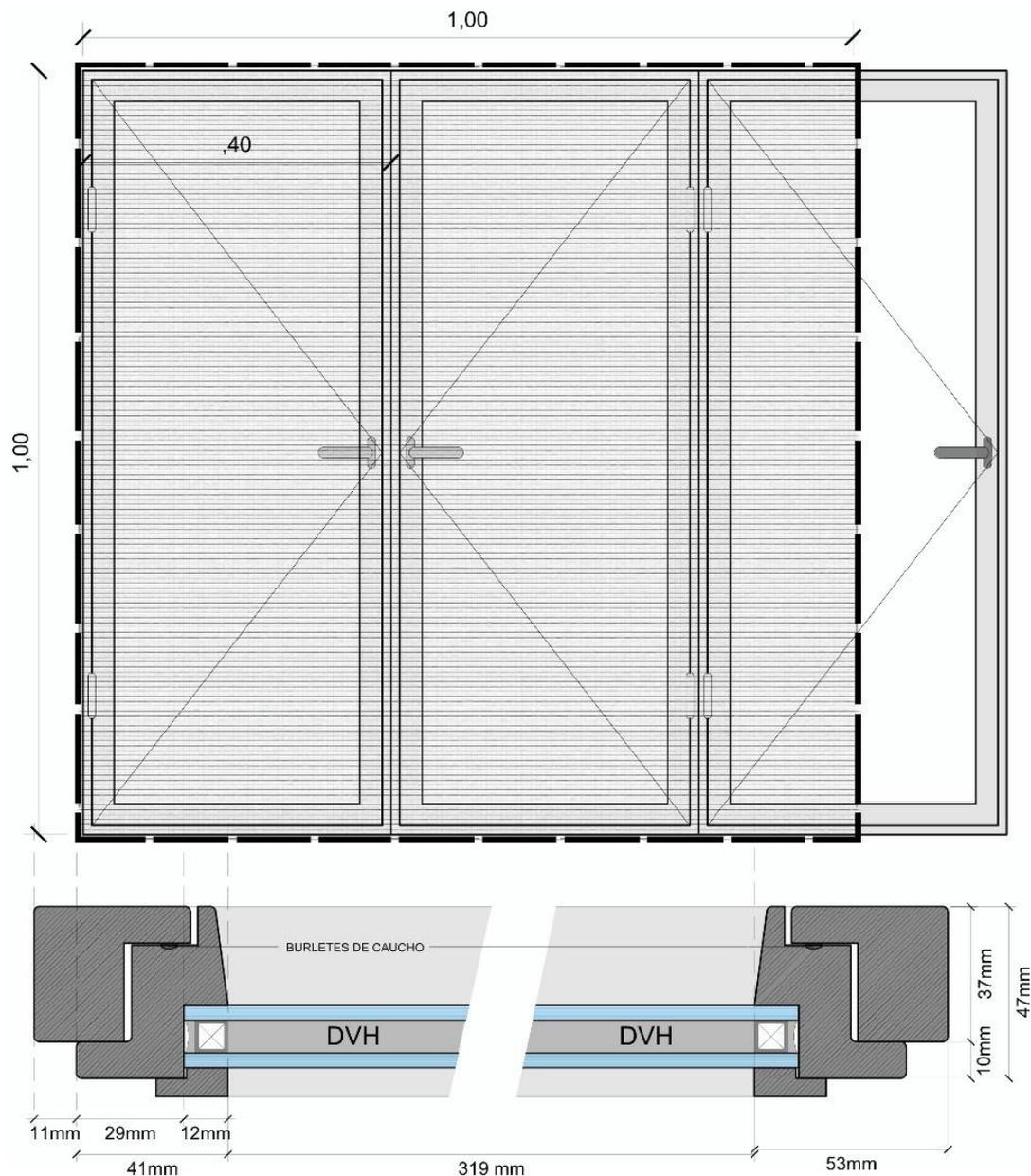


Figura 20. Diseño prototipo de ventana con DVH, vista y corte detalle

Se continuó entonces ampliando el análisis, para incorporar la variable de aislación térmica del componente desarrollado. Por esto se realiza un estudio de la conductividad térmica del material constitutivo del marco y el análisis teórico del prototipo de ventana completo.

#### *Determinación de la Conductividad térmica del material*

Para continuar con el análisis de su comportamiento térmico fue evaluado el índice CT. Se indican en la Tabla 3 los coeficientes  $\lambda$  obtenidos de 6 formulaciones.

La conductividad térmica de un material es la capacidad que tiene el mismo de conducir calor, esta propiedad depende de varios factores, tales como Difusividad térmica, el Calor Específico y la Densidad. Además, hay otros parámetros que no son menos importantes tales como la

porosidad, la relación de vacíos de las muestras, la masa, entre otros. Para definir el índice de conductividad térmica es fundamental conocer la densidad siendo uno de los factores más influyentes en la CT. Por ello se realizaron un grupo de probetas de densidades diferentes y se midió la CT para cada una de las densidades definidas, ver **Figura 21**.

Se adoptó la norma de análisis por el método de la aguja térmica que establece los lineamientos para medir CT en suelos y rocas (ASTM 2008), pero además se puede utilizar para dimensionar en materiales heterogéneos como en este caso.

Tabla 12. Valores de conductividad térmica obtenidos

N°	1	2	3	4	5	6
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0,85	0,94	0,86	1,11	1,02	1,03
Re (Ω/m)	0,040	0,043	0,045	0,041	0,040	0,040
<b>λ (W/mK)</b>	<b>0,15</b>	<b>0,22</b>	<b>0,16</b>	<b>0,29</b>	<b>0,26</b>	<b>0,27</b>

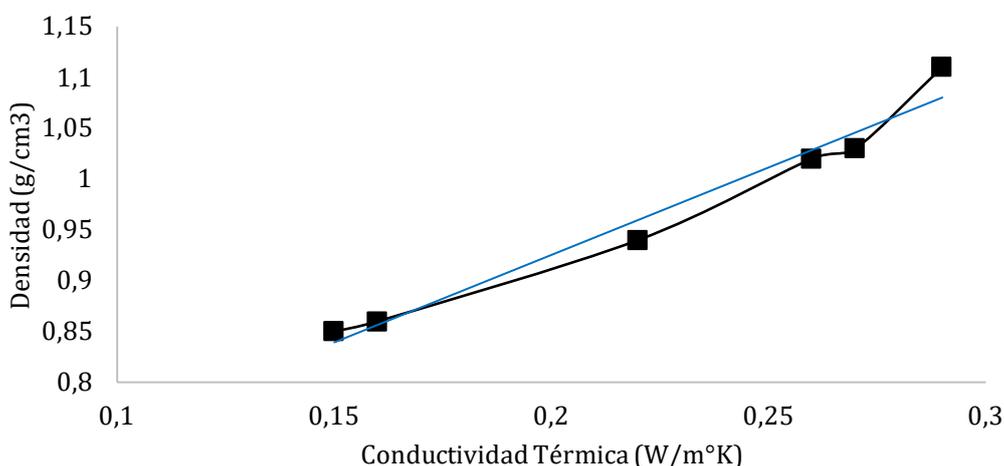


Figura 21. Valores de densidad vs conductividad térmica del material

#### *Cálculo de la Transmitancia térmica del componente*

Los cálculos realizados para la ventana de perfilería de material reciclado, se realizó con dos tipos de vidrio: vidrio simple y Doble vidriado hermético (DVH) básico, de 6-9-6 mm. En ambos casos se consideran sin ruptor de puente térmico, ya que el perfil es de material macizo.

Se destacan los parámetros claves en el cálculo correspondientes a la Norma IRAM Córdoba AERO Zona bioclimática III a: La temperatura exterior de diseño -4,3 °C y la humedad relativa exterior de diseño 67 % (ver Tabla 13). El K Max admisible según IRAM 11507-4 es 4,00 W/m<sup>2</sup>K y las resistencias térmicas superficiales (Rs) se obtuvieron de la tabla 2 de la norma IRAM 11601. En el invierno, para un flujo de calor horizontal, corresponde un Rs interior= 0,13 m<sup>2</sup>K/W y un Rs exterior= 0,04 m<sup>2</sup> K/W.

Los detalles constructivos del perfil calculado son descriptos con profundidad en el capítulo 5 (ver 5.1), de todas formas vale aclarar que este aspecto es de importancia crucial para la estanqueidad del marco y su transmitancia térmica. Sumado a las propiedades descriptas en la etapa anterior del propio material.

*Conductividad térmica del material.*

La Norma establece que obtenido el K de la perfilería de aberturas y seleccionando un vidrio, se deberá realizar un K ponderado, considerando la superficie que corresponde a cada uno. Así se obtiene el valor de K ( $W/m^2K$ ) para el componente completo.

Se calcularon las 4 situaciones del perfil, ya que corresponden a diferentes ángulos y espesores, derivados del diseño de doble contacto o el uso de bordes para escurrimiento de agua. Sin embargo, dieron el mismo valor de K en todos los casos.

Tabla 13. Datos considerados en el cálculo.

ANALISIS:	VENTANA PLASTICO RECICLADO		
SITUACION:	CORDOBA AERO		
FECHA:	nov-18		
CARACTERISTICAS DEL LUGAR	UNIDAD		
Nombre de la localidad:	CORDOBA	VALOR	OBSERVACIONES
Zona bioambiental: (x)		400,00	ANEXO 1
Tipo de cerramiento:		3,00	Ingresar 1,2,3,4,5, ó 6
Temperatura interior de diseño invierno:	°C	M	MURO = M TECHO = T
Temperatura exterior de diseño invierno:	°C	18,00	
Humedad relativa interior de diseño:	%	-4,30	PLANILLA T MEDIS
Humedad relativa exterior de diseño:	%	62,58	
Presión de vapor interior:	KPa	67,00	VALOR S/ NORMA
Presión de vapor exterior:	KPa	1,36	

La norma utilizada como guía para el cálculo (IRAM 2002) contiene valores ya determinados de diferentes tipos de vidrio, correspondiendo a un vidrio simple de 6 mm  $K= 5,8 W/m^2K$  y a un doble vidrio hermético (DVH) 6-9-6  $K=2,8 W/m^2K$ . Aquí la transmitancia térmica de los vidrios tiene una importante disminución del valor absoluto con el DVH 6-9-6, el más básico, respecto del vidrio simple.

Si bien esto impacta en la consiguiente reducción del K total, se decidió comparar ambos vidrios por considerarse el costo elevado de estos últimos, para un componente de vivienda popular. Ver cálculo primero con vidrio simple detallado en la siguiente Tabla 14.

Tabla 14. Cálculo de la Transmitancia térmica, CT=Conductividad térmica, RT=Resistividad térmica, PE=Peso específico, P=Peso, PERM=Permeabilidad, T=Temperatura.

N°	CAPAS	Espesor (m)	CT (W/mK)	RT (m2K/W)	PE (Kg/m <sup>3</sup> )	P (Kg/m <sup>2</sup> )	PERM (g/m h kPa)	T real (°C)	T rocío (°C)
	AIRE INTERIOR							18,00	0,00
	R.S.I.	0,13						8,94	10,76
1	perfil ventana	0,028	0,15	0,15	850	23,8	0,0008		
								-1,51	-0,62
2	vidrio	0,006	1,05		1200		0,001		
								#N/A	-3,40
3	caucho	0,009	0,15		850		0,01		
								#N/A	-8,15
	R.S.E.			0,04					
	AIRE EXTERIOR		-4,3	RT Total	K=1/Rt		Peso Total		
	<b>Total</b>	<b>0,043</b>		<b>0,32</b>	<b>3,125</b>		<b>23,8</b>		

Según el cálculo de superficies para determinar el K total de la ventana, el 44 % corresponde al perfil y el 56 % restante al vidrio, la sumatoria se realizó según se muestra en Tabla 15.

Tabla 15. Resumen de los resultados del cálculo.

K Ponderado ventana de material reciclado		
	Vidrio Simple	DVH 6-9-6
44%	3,12	3,12
56%	5,80	2,80
<b>K Total</b>	<b>4,62</b>	<b>2,94</b>

Los valores obtenidos son suficientes y positivos, dado que alcanza un 2,94 W/mK con DVH, y un valor mayor con vidrio simple de 4,62 W/mK, pero menor en comparación con otras carpinterías de aluminio comerciales sin ruptor de puente térmico.

Para utilizar DVH el perfil debería medir 57 mm de espesor. Se calculó con el mismo procedimiento observado en el método anterior y el valor de K no se modificó. De este modo con un DVH sencillo, se cumpliría la norma en el rango  $K_4 < 3,00$  W/mK.

#### *Comparación de resultados con madera y aluminio*

Comparativamente el componente fabricado con el nuevo material, presenta mejor comportamiento que las ventanas de perfiles de aluminio referenciadas en la legislación (IRAM; 2010), tanto con vidrio simple como con DVH. Ya que a las primeras corresponde un

$K=5,86$  y  $3,82$   $W/m^2K$  a las segundas y comparadas con los valores calculados para el prototipo de esta tesis, los valores de  $K$  son 21 y 23 % menores respectivamente.

También en el caso de lo estudiado para ventanas comerciales de Argentina (De Gastines and Pattini 2019), los valores son intermedios. Se encuentra por debajo de los valores para aluminio con y sin ruptor de puente térmico (RPT) y por encima de valores para PVC y madera. Estas últimas, siendo ventanas de rendimiento superior y perfilería más compleja. La conductividad térmica de perfiles comerciales de distinto tipo, incluyendo el desarrollado y calculado se detalla en la Tabla 16.

Tabla 16. Valores de  $K$  de perfilería comercial en Argentina. Fuente: Datos de bibliografía (De Gastines and Pattini 2019) y cálculo propio.

	$K$ ( $W/m^2K$ )
Aluminio sin RPT	5,98
Aluminio con RPT	3,50
Plástico reciclado	3,12
Plástico PVC	2,17
Madera	1,88

Si a esta buena performance se le adiciona la calidad ambiental que significa el material reciclado, respecto del costo energético ambiental que presenta el aluminio, este perfil es realmente competitivo. Y consideramos importante destacar su fabricación con técnicas de carpintería tradicional visto en la Figura 22.



Figura 22. Corte (A) y pruebas de atornillado de perfilería (B). Fuente: (González Laria et al. 2018)

La conductividad térmica de las maderas como el pino con transmisión de calor perpendicular a la fibra, como generalmente sería en el caso de perfilería para ventanas, se encuentra entre  $0,177$  y  $0,221$   $W/mK$  (Díaz 2017) aunque se sabe que esta variación es grande dependiendo de la densidad de las mismas. El mismo efecto se encuentra en el material reciclado en este caso. Esto no representa necesariamente una desventaja, si se controlara la dispersión de esta variable durante la producción.

De esta forma el nuevo material reciclado, constituido por una mezcla de plásticos reciclados, es similar y superior en algunos casos, a los normalmente utilizados en nuestro medio.

## **CONCLUSIONES**

. Se puede concluir que el valor obtenido de CT a través del método de la aguja se encuentra dentro de los valores esperables para este tipo de polímero, se definió 0,15 W/mK seleccionado de 6 mediciones según la densidad de los componentes producidos. Es acorde con las conductividades térmicas de los materiales que se utilizaron para su elaboración, ya que los mismos abarcan un rango desde los 0,12 W/mK a los 0,50 W/mK. El método se adapta muy bien para mediciones en este tipo de materiales heterogéneos.

. La transmitancia térmica del componente ventana obtenida fue de  $K = 5,20 \text{ W/m}^2\text{K}$  y  $K = 3,22 \text{ W/m}^2\text{K}$  con la utilización de vidrio simple o DVH 6-9-6 respectivamente, verificando en categoría K4.

. Comparativamente se demuestra la mejor performance del componente respecto a los perfiles de aluminio, con y sin ruptor de puente térmico y similar al de la mayoría fabricados con maderas blandas. Agregando así a las ventajas ecológicas de utilizar materiales reciclados el impacto de la reducción en el consumo energético en edificios, de un mejoramiento en la conductividad térmica de los componentes de ventana.

. El material ha demostrado tener ventajas desde el punto de vista térmico y mecánico, por lo que podría aplicarse en perfiles con diseño más complejo, para aberturas de mejores prestaciones de confort térmico y acústico.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTM. 2008. *D5334 Standard Test Method for Determination of Thermal Conductivity of Soil and Soft Rock by Thermal Needle*.
- Ávila, Antonio y Duarte Marcos. 2003. "A Mechanical Analysis on Recycled PET/HDPE Composites." *Polymer Degradation and Stability* 80(2):373–82.
- Awaja, Firas y Pavel Dumitru. 2005. "Recycling of PET." *European Polymer Journal* 41(7):1453–77.
- Biasotto Mano, Eloisa. 1991. *Polímeros Como Materiais de Engenharia*. 2006th ed. Edgard Blucher.
- C.E.V.E. 2006. Centro experimental de la vivienda económica. "La Ventana de Hormigón En La Vivienda Social." 2.
- Díaz, Eduardo Montesino. 2017. "Comportamiento de La Conductividad Térmica de La Madera de Pinus Caribaea Morelet, En Dependencia de La Posición En La Troza." 2(2):161–73.
- De Gastines, Maureen y Pattini Andrea. 2019. "PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE TECNOLOGÍAS DE VENTANAS EN ARGENTINA." *Hábitat Sustentable* 1:46–57.
- Gonzalez Laria Julian, Arena Pablo, Rosana Gaggino, Jerónimo Kreiker y María Josefina Positieri. 2019. "Análisis de Ciclo de Vida Componentes de Cerramiento Vertical de Material Reciclado." P. 9 in *EUROELECS 2019*.
- Gonzalez Laría Julián, Constantini Belén, Sulaiman Halimi, Gaggino Rosana, Kreiker Jerónimo y Positieri María Josefina. 2018. "Conductividad y Transmitancia Térmica de Perfiles Para Aberturas de Plástico Reciclado." P. 52 in *ASADES 2018*.
- Gonzalo Guillermo Enrique y Nota Viviana. 2003. *Manual de Arquitectura Bioclimática*. 2nd ed. Buenos Aires, Argentina: Nobuko.
- IRAM, 2002. Instituto Argentino de Normalización, norma 11601. Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Argentina.
- IRAM. 2010. Instituto Argentino de Normalización, norma 11507-4. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4 - Requisitos complementarios. Aislación térmica. Argentina.
- IRAM. 2011. Instituto Argentino de Normalización, norma 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina: Esquema 1*. Argentina.
- Llorente Díaz, Marta. 2011. "Análisis Del Ciclo de Vida de Ventanas de Madera." Universidad Politécnica de Madrid.
- Makkam, Supawee y Harnnarongchai Wanlop . 2014. "Rheological and Mechanical Properties of Recycled PET Modified BY Reactive Extrusion." *Energy Procedia* 56(C):547–53.

- Moura Giraldi de Antonio, Cardoso de Jesús Ricardo e Innocentin Mei. 2005. "The Influence of Extrusion Variables on the Interfacial Adhesion and Mechanical Properties of Recycled PET Composites." *Journal of Materials Processing Technology* 162–163(SPEC. ISS.):90–95.
- Nait-Ali, Linda , Colin Xavier y Bergeret Anne. 2011. "Kinetic Analysis and Modelling of PET Macromolecular Changes during Its Mechanical Recycling by Extrusion." *Polymer Degradation and Stability* 96(2):236–46.
- Navarro, Ricardo, Ferrándiz Santiago, López Juan y Seguí Vicente Jesús. 2008. "The Influence of Polyethylene in the Mechanical Recycling of Polyethylene Terephthalate." *Journal of Materials Processing Technology* 195(1–3):110–16.
- Pawlak Andrzej, Pluta Mirosław, Jerzy Morawiec y Pracella Mariano. 2000. "Characterization of Scrap Poly ( Ethylene Terephthalate )." *European Polymer Journal* 36:1875–84.
- Pracella, Mariano. 2016. *Blends and Alloys*. Elsevier Inc.
- Pracella, Mariano, Lorenzo Rolla, Donatella Chionna y Galeski Andrzej. 2002. "Compatibilization and Properties of Poly ( Ethylene Terephthalate )/ Polyethylene Blends Based on Recycled Materials." *Macromolecular Chemistry and Physics* 203:1473–85.
- Suirezs, Teresa María. 2005. "Comportamiento de La Madera de Pinus Taeda Impregnado Con Arseniato de Cobre Cromatado (CCA)." *Floresta* 35(1992):33–40.
- Wagner Jr. John, Eldridge Mount y Harold Franz Giles. 2014. *Extrusión: The Definitive Processing Guide and Handbook*. Elsevier Inc.
- Zdenek Horak, Fortelny Ivan, Kolarik Jan, Hlavata Drahomira y Sikora Antonin. 2005. "Polymer Blends." *Encyclopedia of Polymer Science and Technology* 2(1):10–23.

## 5. Resultados de prototipos

En un avance sobre el análisis de esta técnica de fabricación y sus posibilidades técnicas, se decidió continuar con la fabricación de los primeros prototipos. La producción de los perfiles se realizó con el estudio de una técnica mixta de extrusión directa e inyección (extrusión/inyección). Determinando así las posibilidades de fabricación de perfilería con este método, que en los estudios preliminares se mostraba como el más apto.

Se diseñó y fabricó la matricería necesaria, para la producción de la perfilería para 3 prototipos de aberturas, sobre un diseño conocido. Se estudió en este proceso las condicionantes más determinantes durante la extrusión de 10 piezas de perfilería y las variables de los procesos que deben ajustarse para obtener buenos resultados en la fabricación.

## 5.1 FABRICACION

Se avanzó entonces en la producción de perfiles para aberturas de este material, con la técnica de extrusión/inyección, una muy difundida en recicladores del medio local. Posteriormente, se evaluó su utilización en la fabricación de aberturas, con las técnicas de carpintería de madera. Estas etapas de producción son las que ya realizan todas las carpinterías de aberturas, con perfiles de otros materiales y que funciona eficientemente.

Desde el punto de vista metodológico se analizó mediante técnicas de laboratorio la homogeneidad en la producción de las piezas. Además intentando incorporar el saber empírico de la experiencia con el material, se realizó de una entrevista al carpintero. Por ser un técnico familiarizado con la tecnología de trabajo en madera, se pretendió aportar reflexiones sobre ese tema.

Los prototipos fabricados, fueron diseñados en base a un modelo de ventana que se producía anteriormente con plegados metálicos o de madera, utilizado en múltiples proyectos de vivienda social. Corresponde a las ventanas de hormigón desarrolladas en el instituto CEVE descriptas posteriormente en el Capítulo 6.

### **Objetivo**

Obtener diez piezas por extrusión/inyección y analizar sus propiedades físicas, condiciones de extrusión, densidad y deformación.

Fabricar un prototipo de ventana con técnicas de carpintería en madera evaluando su aplicabilidad y analizando los aportes posibles desde la técnica tradicional que se aplica en esa tecnología.

Para la fabricación de perfiles prototipo, se utilizaron moldes de chapa plegada en base al diseño de aberturas ya seleccionado. Se realizaron de esta forma, por ser la técnica más simple de producción de piezas metálicas, en comparación con las de frezado o corte láser.

El molde utilizado fue diseñado y fabricado a los fines de esta investigación, tomando como referencia el sistema de producción a partir de una extrusión/inyección con el que se realizan postes de alambrado y otras piezas simples de sección continua.

En ambos aspectos intentando situarnos en el contexto de una producción en nuestro medio, se pretendió aprovechar la sencillez y fácil aplicación, de este método de fabricación. Pueden verse detalles de las secciones producidas y el molde de utilizado en las Figura 1 y Figura 2 y el proceso específico de extrusión/inyección, se describe en la Figura 3. Para más detalles fotos de las máquinas utilizadas en todo el desarrollo de esta tesis forman parte del Anexo gráfico, con la explicación detallada de su funcionamiento.

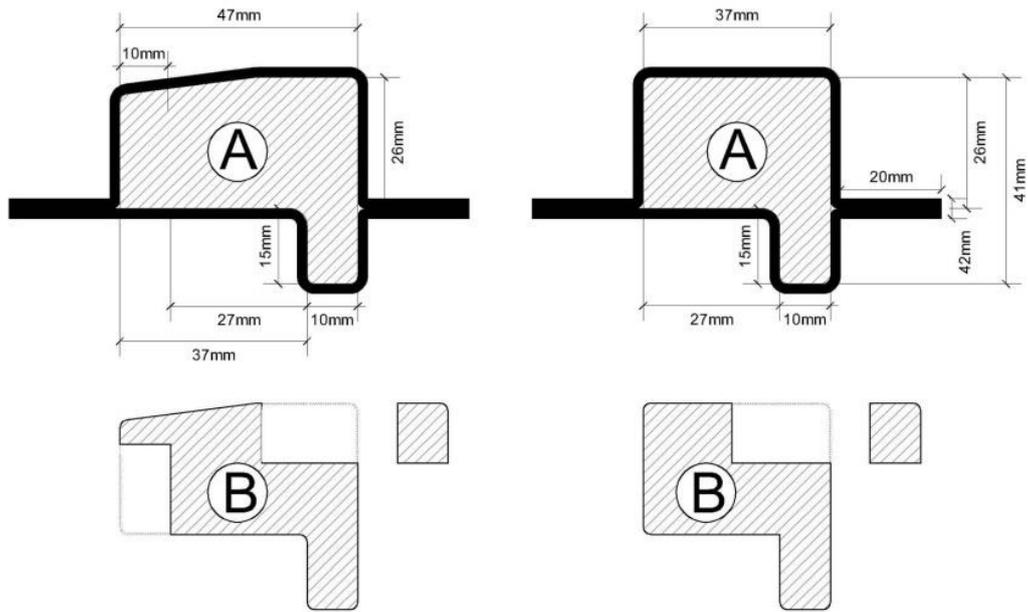


Figura 1. Corte constructivo de las piezas 1 (izquierda) y 2 (derecha), las (A) en moldes y (B) ya aserradas, resultantes del aserrado posterior de bota-agua y contra vidrios

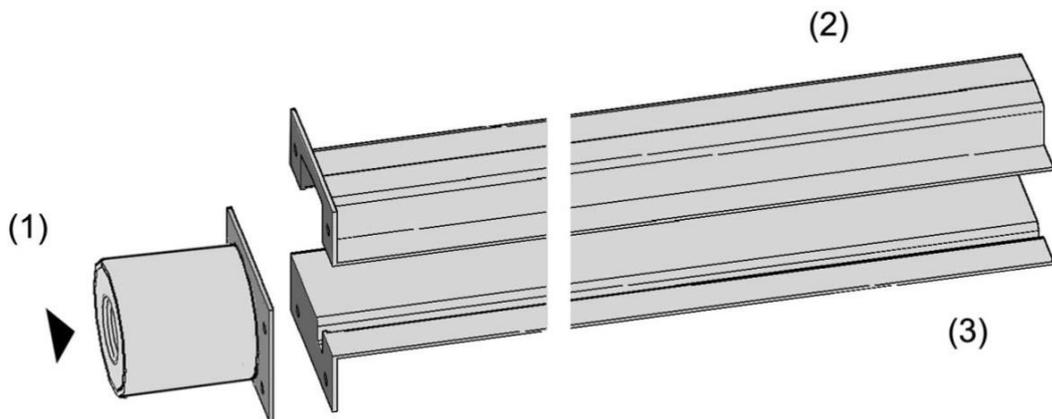


Figura 2. Moldes de inyección indirecta; (1) boca de inyección, (2) cara superior de molde, (3) cara inferior de molde de chapa plegada

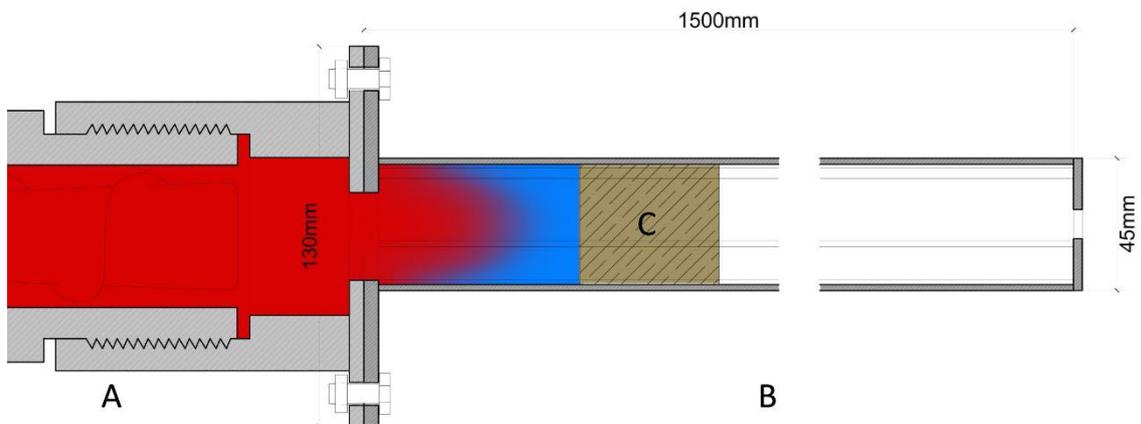


Figura 3. Sistema de extrusión con molde guía; Final de extrusora (A) Molde guía (B) Pieza de soporte interior (C)

Se produjo perfilería para tres marcos de ventana, con el objetivo de evaluar la producción de las mismas. Esto requiere del modelo de diez piezas de dos perfiles diferentes, dos del tipo 1 y ocho del tipo 2 para cada prototipo. Durante la producción de perfiles se registraron las condiciones de trabajo y las observaciones siguientes en Tabla 1. Pudo constatar que se producía una deformación de alabeamiento, la cual también fue registrada como deformación.

La temperatura de inyección adoptada ( $T_i$ ) produce un llenado rápido de los moldes y la mezcla se homogeneiza, conforme a lo antes analizado. Por otra parte la temperatura del molde ( $T_m$ ) se produce con el calentamiento directo del mismo, lo cual consiguió con una variación del orden del 20 %, valores entre 80 y 100 °C.

Tabla 1. Condiciones de producción de perfiles

Formulación	$T_i$ (°C)	$T_m$ (°C)	Modelo	Deformación (%)
F6	245	-	Inferior	<b>2,0</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,2</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,6</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,8</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,9</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,9</b>
F6	245	80-100	Inferior	<b>1,6</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,2</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,3</b>
F6	245	80-100	Lateral	<b>1,7</b>

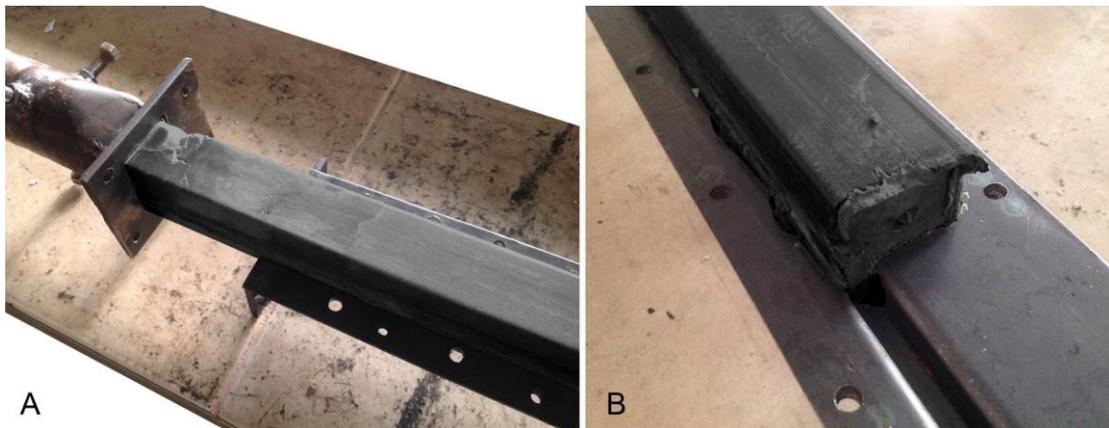


Figura 4. Molde de chapa para inyección de perfiles plásticos

Estas variaciones de la temperatura del molde durante la extrusión, deberán estudiarse ya que es un factor clave de la producción.

El alabeamiento de las piezas probablemente debido a la retracción diferencial por la geometría de las mismas que se registró como deformación (%), fue durante el proceso de enfriado. Este efecto fue entre 15 y 20 mm según cada caso, representando un 1,8 % en promedio respecto al largo. El tiempo empleado en la inyección de los perfiles fue de 5

minutos cada uno. Se puede comprobar que este efecto es encontrado en la bibliografía, sobre todo en piezas de material reciclado. Si bien no es posible eliminarlo totalmente, se debería reducir drásticamente. Pero no es debido a deformaciones del molde, que permanece no deformado a posterior. Se estudió la densidad de los perfiles producidos, como verificación de su homogeneidad y buen proceso de moldeo. Primeramente, a través del porcentaje de huecos calculado por imagen digital en tres secciones (inicio, centro y final) ver Figura 5, que muestra la variación en todo el proceso de llenado.

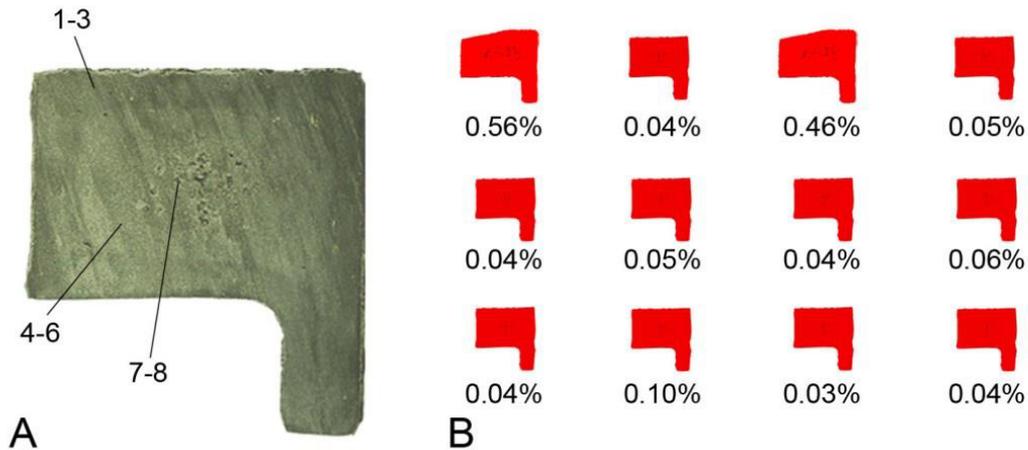


Figura 5. Sectores de la sección tomados para muestra de densidad (A) y vacíos en porcentaje (B) corresponde al promedio de tres secciones en cada pieza

Además, sobre cada uno de estos se tomó también una pieza tipo *astilla*, para medir su densidad a partir de la cantidad de agua desplazada en un matraz, ver Tabla 2. Como la medición de densidades del material solo se había realizado en piezas de probetas completas y podría haber variaciones respecto a una muestra de material más acotada.

Tabla 2. Determinación de densidad de probetas con volumen de agua en matraz

Nº	P (g)	VOL (cm <sup>3</sup> )	P total (g)	Densidad específica (g/cm <sup>3</sup> )
1	1,497	1,682	155,382	<b>0,89</b>
2	1,692	1,900	155,359	<b>0,89</b>
3	1,425	1,624	155,368	<b>0,88</b>
4	1,200	1,479	155,288	<b>0,81</b>
5	1,208	1,566	155,209	<b>0,77</b>
6	0,918	1,223	155,262	<b>0,75</b>
7	1,497	1,680	155,384	<b>0,84</b>
8	1,553	1,808	155,312	<b>0,86</b>

Con la perfilería se prosigue al aserrado y corte de rebargas previo al armado del marco. Las tareas de aserrado consisten en el corte a *inglete* a 45° para la unión de las esquinas, el corte longitudinal del bota-agua y de los espacios de alojamiento del vidrio indicado en la Figura 6 y el rebargado de los bordes, producidos por los moldes de inyección de dos piezas.



Figura 6. Aserrado longitudinal de perfiles para colocación de vidrio.

Estas tareas de aserrado, así como cualquier corte de las piezas fueron realizadas con herramientas tradicionales de carpintería. Los bordes sobrantes del corte longitudinal para alojar el vidrio, pueden utilizarse como contra vidrios. El alabeamiento longitudinal, se acentuó en las pequeñas piezas. Probablemente debido a la retracción por calentamiento del borde interno por fricción con el disco de corte. El tiempo requerido de rebarbado y aserrado ( $T_r-T_c$ ) de la perfilería fue de alrededor de 2 h para una ventana con el trabajo de un operario, registrado detalladamente en la Tabla 3.

Tabla 3. Tiempos de aserrado y rebarbado de piezas.

Nº	$T_r$ (min)	$T_c$ (s)	Ubicación
1	5,5	30	Inferior
2	5,2	26	Lateral
3	4,5	28	Lateral
4	4,2	32	Lateral
5	4,8	32	Lateral
6	4,2	35	Lateral
7	4,8	40	Inferior
8	4,9	36	Lateral
9	5,1	35	Lateral
10	5,0	33	Lateral

Los ensayos de atornillado arrojaron resultados negativos ya que las piezas cortadas en inglete, debido al debilitamiento en las zonas más angostas del mismo sufrieron roturas. Asimismo las caras perpendiculares a las anteriores fueron desgarradas por los tornillos utilizados, incluso siendo perforados previamente. Utilizando clavos de madera también se produjo este efecto, aunque con menores daños. Esta representa una desventaja respecto a los perfiles de madera.

Si bien deberían hacerse los ensayos requeridos para su estudio, se pudo constatar que la unión por piezas metálicas clavadas o atornilladas no es recomendable. Como sería esperable por la anisotropía del material ya conocida, el atornillado perpendicular a la fibra del material

dio mejores resultados. También el efecto de desgarre se ve relacionado con la presencia o no de oquedades en el interior de las piezas.

## 5.2 ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

Para la terminación final de las piezas los rebordes ocasionados por los cortes y la termo fusión de las uniones fueron retirados con formón de manera manual. En estos sectores de terminación muy pequeños, se produce el decapado de partes del material por lo que deberá estudiarse alguna técnica alternativa.

Las uniones termo fusionadas se realizaron correctamente sobre los cuatro ángulos del marco, dejando un tiempo de enfriado de algunos minutos entre ellas. El tiempo empleado para la fundición del material en cada unión fue de 60 s a 300 °C ejerciendo presión a continuación 60 s y dejando enfriar luego entre 2 y 3 minutos.

Por debajo de este tiempo las uniones no se produjeron, ya que el material carecía de adhesión. La temperatura  $T_e$  fue tomada con termómetro infrarrojo, directamente sobre la superficie de contacto de la herramienta, antes de realizar la unión. El tiempo  $T_r$  corresponde al tiempo de enfriado en que estuvo en reposo la unión luego de la fusión, los parámetros de detallan en la Tabla 4.

Tabla 4. Tiempos y condiciones de fusión de las uniones del marco.

$T_e$ (°C)	Fijación	T (min)	Modelos unidos
300	Termo fusión	4,30	Inferior - Lateral
296	Termo fusión	5,15	Lateral - Lateral
295	Termo fusión	5,00	Lateral - Lateral
302	Termo fusión	5,30	Lateral - Inferior

En las condiciones detalladas en la Tabla 4, la resistencia de las uniones durante la manipulación para el armado de la ventana fue suficiente. De todas formas, esta deberá ser estudiada en mayor profundidad. Deberá evaluarse su comportamiento a la compresión, en determinadas condiciones de temperatura de fusión y de tiempo de fusión, para evitar la degradación de las mismas por exposición excesiva a altas temperaturas.

Por efecto de la degradación o la cristalinidad en el material, podría encontrarse que es baja la resistencia de las uniones.

De todas formas es necesario destacar que la función de este tipo de uniones, utilizadas en la tecnología de carpinterías de PVC, no es la de resistir el impacto o la compresión, que

soportan otras piezas metálicas, sino de generar una unión estanca. El procesos de fusionado, unión de las esquinas y la hoja de ventana obtenida, se muestran en la Figura 7.



Figura 7. Fusión de perfiles en uniones (A-B) y marco completo de ventana con vidrio (debajo).

Para la terminación final de las hojas de ventana se añadió vidrio simple de 4 mm de espesor. El sellado de vidrio sobre el marco y la colocación de contra vidrios, se realizó con silicona y tornillos auto perforantes respectivamente, perforando previamente las piezas con mecha para madera de 5 mm, con buenos resultados. Con el agregado de estos elementos el peso total de la hoja de ventana fue de 4,7 kg.

Las condiciones en que se produjeron los perfiles dieron buenos resultados densidad promedio de  $0,83 \text{ g/cm}^3$ , similares a una madera blanda, lo cual no generó mayores inconvenientes. Las rebarbas producidas en la unión del molde pueden ser minimizadas con uniones de corte neto, utilizando en la extrusión moldes de aluminio. Sería una tecnología más compleja y que requeriría mayor tecnificación.

Concluimos que con la técnica de carpintería tradicional y la fabricación de perfilería como fue detallado anteriormente, fue posible fabricar prototipos de terminación correcta, con técnicas de carpintería de madera.

En ese aspecto la visión del carpintero arroja datos para mejoramiento del proceso y del equipamiento, que haría más factible aumentar la escala de la tecnología a una producción piloto. En ese sentido los aportes que pudieron obtenerse de una entrevista con el carpintero, fueron ampliados y detallados en el Capítulo 6.

### 5.3 DESEMPEÑO DE PROTOTIPOS DE ABERTURAS

Pretendiendo evaluar integralmente el funcionamiento del prototipo de ventana, se realizó un análisis con prototipos funcionales, con el objetivo de obtener los indicadores de desempeño del sistema de aberturas estudiado. Así también conocer el comportamiento de un producto fabricado con esta tecnología, para planificar mejoras en las técnicas y procesos de producción, de todo el sistema de ventana instalado de forma

Como forma de aportar a un análisis más completo, el desempeño fue evaluado bajo la normativa brasileña NBR10821-1 y 2, correspondiente a criterio y definiciones y NBR10821-3 a los métodos de ensayo (2017 A, 2017 B, 2017 C), de aplicación en Brasil pero utilizada también como referencia en nuestro país. Una legislación integral, que complementa varios tipos de análisis y determina un valor de desempeño del componente. Esto fue realizado durante una estancia en Recife y Fortaleza, durante el año 2018.

#### *Alcance*

1. *Prototipo: Ventana de 0,70 x 0,70 m*

2. *Sistema - Componentes principales:*

- Material de perfilería, material compuesto plástico reciclado
- Vidrio – Simple de tipo cristal de 4 mm de espesor
- Etilvinil-acetato (EVA) espumada – Componente de los burletes internos
- Sellador de silicona - Pequeña cantidad para sellado del vidrio
- Sellador de poliuretano – Para la fijación del prototipo al vano en la cámara

#### *Actividades*

– Primeramente se evaluó la permeabilidad al aire, en cámara de presión de aire a un valor de 50 Pa, obteniendo el valor de Volumen de aire infiltrado (vazão de ar) en m<sup>3</sup>/h.

Se calcula sobre este valor de volumen de aire, el volumen de aire infiltrado por metro cuadrado de ventana en m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> y sobre su perímetro en m<sup>3</sup>/h.m. Estas dos variables determinan su valor de desempeño, Mínimo (M) Intermedio (I) o Superior (S) 10821-2 punto 6.2, tabla 2.

– La estanqueidad al agua se evalúa en cámara de ensayo con aspersion de agua y presión de aire. Las variables de ensayo seleccionadas son, de utilización en proyectos de hasta 5 plantas en la zona geográfica V, la más desfavorable. Con estas la presión de agua

utilizada fue  $P_a=200$  Pa y el desempeño puede ser; M, si el agua no supera la parte interna del marco de ventana, I, si no supera el marco interno de la hoja o S, si no se infiltra agua.

– Las cargas uniformemente distribuidas, se evalúan con presión de viento. Como se describió en el primer punto, según el uso y zona geográfica corresponde presión de aire  $P_e=1180$  Pa y presión de seguridad  $P_s=1760$  Pa. Aplicando la  $P_e$  no pueden producirse desprendimiento de partes, ni una utilización deteriorada, ni deformaciones permanentes mayores a las descritas en el apartado 6.2.3. Aplicando  $P_s$  no pueden presentarse desprendimiento de partes. El prototipo fabricado por duplicado para los ensayos, de 0.70 m x 0.70 m se detalla en Figura 8.

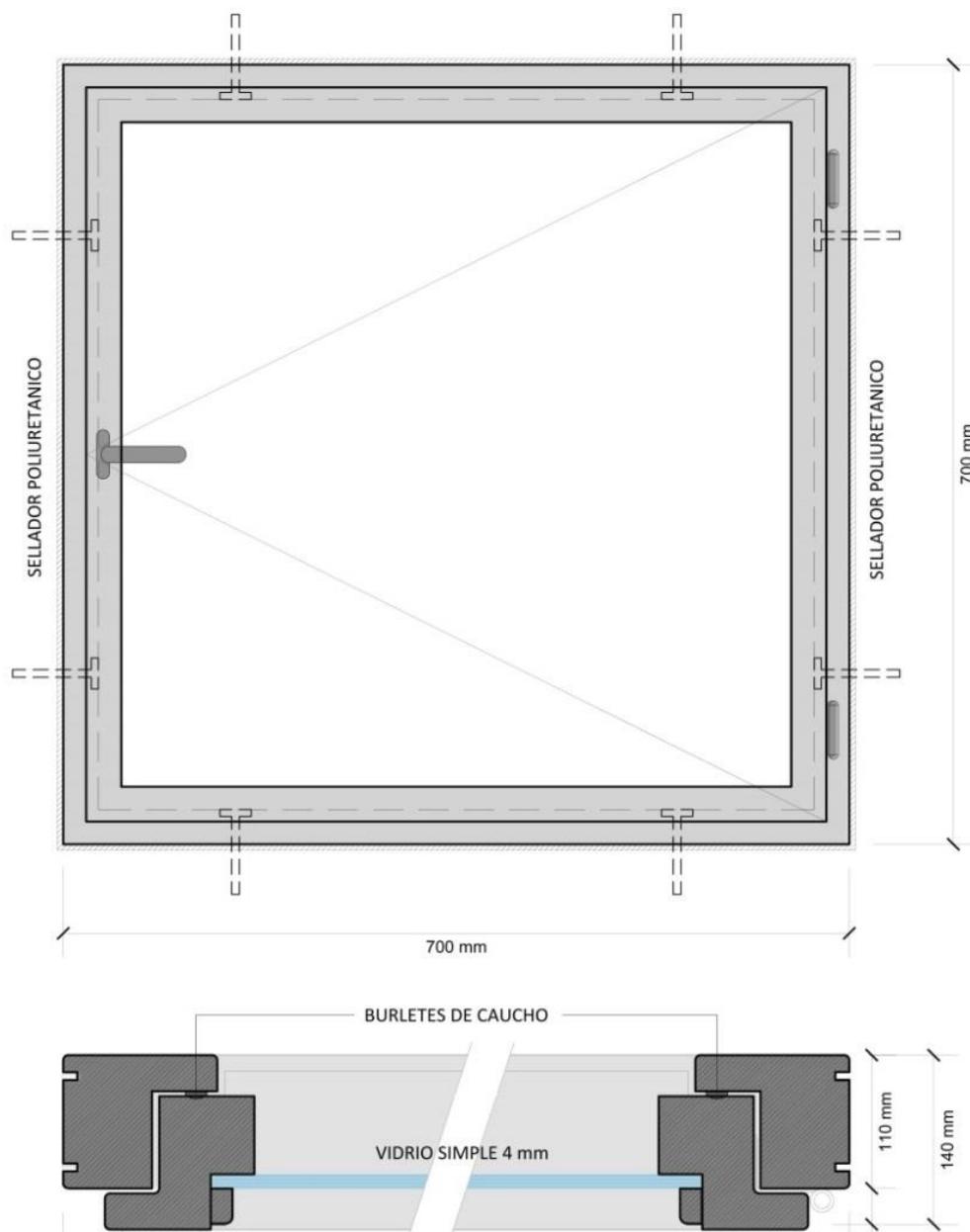


Figura 8. Diseño de prototipo de ventana para ensayos de desempeño de vidrio simple

– En las operaciones de manejo, se ensayó producir 10 ciclos de 1000 aperturas y cerramientos. Después de estos no podrán presentarse; Deformación residual superior a la especificada en punto 6.2.4 de la norma, Fisura o rotura de vidrios, Daño o desprendimiento de cualquier parte o componente de apertura o cerramiento de la ventana.

– Superado el ensayo, los daños en la ventana no pueden impedir su uso y operación, ni superarse en el accionamiento de una fuerza de apertura de 100 N o de cierre de 50N.

*Material ensayado*

. Prototipo de ventana de 0,70 x 0,70 m detallado en introducción 2.1.2

. Herrajes metálicos de unión

. Fijaciones a muro de mampostería con tornillos metálicos autoperforantes de N°8

. Sellador de poliuretano - para la fijación al vano en la cámara. El prototipo fue fijado directamente al vano de albañilería

. Muro de albañilería de bloques cerámicos, revocado con revoque grueso de cemento portland, según se muestra en la Figura 9.



Figura 9. Prototipo instalado previo a ensayos

*Normativa de ensayo*

La normativa utilizada en cada caso de ensayo se especifica en la Tabla 5.

Tabla 5. Metodología de ensayo utilizada en cada caso

Variables	Metodología
Comportamiento sobre acciones repetidas de apertura y cerramiento (manejo)	NBR 10821-3 Anexo D
Permeabilidad al aire	NBR 10821-3 Ítem 5
Estanqueidad de agua	NBR 10821-3 Ítem 6
Resistencia a cargas uniformemente distribuidas	NBR 10821-3 Ítem 7

## Resultados

### *Operaciones de manejo*

Se realizaron diez mil ciclos de apertura y cerramiento con brazo mecánico y medición de la fuerza requerida, soportando la ventana en un marco fijo, no se evidenciaron deformaciones ni roturas en el componente. Después de realizado el ensayo el prototipo está completo y es completamente funcional.



Figura 10. Prototipo del componente de ventana en ensayo de maniobra

Este ensayo corresponde a la durabilidad de la abertura durante su uso y es uno de los casos más comunes de roturas, por lo cual es relevante su realización. En este caso se hace evidente que los elementos más solicitados, son los herrajes de vinculación, que soportaron las solicitaciones sin roturas, por lo que el prototipo verificó. Las solicitaciones aplicadas en cada ciclo se detallan en la Tabla 6.

Tabla 6. Solicitaciones en cada ciclo de ensayo de manejo

Número de ciclos	Fuerza aplicada		
	Apertura	Cerramiento	Descripción
Solicitaciones (N)	100	50	-
INICIO	1,20	2,05	-
1.000 ciclos	2,05	2,20	-
3.000 ciclos	1,15	1,70	-
5.000 ciclos	2,75	3,30	-
7.000 ciclos	2,45	1,65	-
9.000 ciclos	2,15	3,05	-
10.000 ciclos	2,55	2,90	-

En la columna Descripciones, que corresponden a los daños registrados, no se evidencia que ocurrieran los mismos en ningún caso. La fuerza a realizar para el manejo del prototipo, prácticamente no se vio afectada por el ensayo, ya que se mantuvieron Apertura y Cerramiento en promedio de 2,25 y 2,35 N, con una variación entre el 20 y 23%.

#### *Permeabilidad al aire*

Con la presión determinada de 50 Pa, utilizada en todos los tipos de aberturas, se desarrolla el ensayo de permeabilidad al aire. Las condiciones del mismo y resultados obtenidos se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Resultados de ensayos de Permeabilidad al aire

CONDICIONES DE VACIO - PRESION DE ENSAYO 50 Pa	
Vacío inicial de alimentación $Q_a$ (m <sup>3</sup> /h)	214,70
Vacío de aire $Q$ (m <sup>3</sup> /h)	256,70
Vacío de Permeabilidad $Q_p=Q-Q_a$ (m <sup>3</sup> /h)	42,06
VACIO POR METRO LINEAL DE JUNTAS	
Perímetro de juntas (m)	2,32
Vacío de permeabilidad por metro de juntas ( $Q_p$ /Perímetro de juntas)	18,13
Clasificación según Anexo B de NBR 10821-2	<b>MINIMO</b>
VACIO POR AREA DEL VANO	
Área de vano (m <sup>2</sup> )	0,42
Vacío de Permeabilidad por Área ( $Q_p$ /Área de vano)	100,14
Clasificación según Anexo B de NBR 10821-2	<b>MINIMO</b>

Si bien en este caso se alcanza solo el nivel mínimo de desempeño, es un avance considerando las condiciones de fabricación de los prototipos. Estos fueron realizados con técnicas de carpintería tradicional de madera. Por otra parte las aberturas son de doble contacto y con el uso de burletes de material elástico EVA espumado. Es un elemento que se considera a analizar, el comportamiento de los mismos, ya que su función principal tiene que ver con la estanqueidad del conjunto de la ventana.

#### *Estanqueidad de agua*

La verificación por estanqueidad de agua, se realiza dentro de cámara cerrada, simulando condiciones climáticas con Presión de aire e Impacto de agua. Es así que es uno de los análisis de mayor importancia al tener en cuenta el desempeño de aberturas.

La cámara de estanqueidad utilizada, se constituye por una estructura metálica de perfiles laminados, conteniendo un plano completo de sujeción de la abertura. El mismo puede ser constituido por cualquier técnica constructiva, en este caso un muro de albañilería revocado. Las condiciones de trabajo se detallan en la Tabla 8.

Tabla 8. Condiciones y resultado de ensayo de estanqueidad de agua

Presión de ensayo (Pa)	Periodo de aplicación (min)	Descripción
0	15	PE1=(T 0'20) Esgurrimiento de agua al interior por travesaño inferior*

\*Verifica con presencia de agua en travesaño inferior, pero sin esgurrimiento al interior o a otros elementos de la construcción

Con la presencia de agua en el interior del plano de la ventana, el ensayo se clasifica como, no verificado. De esta forma es la primera condición en que el prototipo no alcanza las condiciones mínimas de desempeño.

En ese sentido deberá analizarse como incidió el diseño de la perfilería en el desempeño obtenido, ya que el ensayo está impactando, tanto en un análisis de la calidad constructiva del prototipo y uniones de las piezas, como en el diseño, que es el factor de mayor influencia en el comportamiento frente a la estanqueidad de agua. Principalmente el efecto fue observado en los travesaños inferiores, como se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Esgurrimiento inferior sobre el plano interno de la cámara de ensayo

### *Cargas uniformemente distribuidas*

El análisis de desempeño de los prototipos a cargas uniformemente distribuidas, tiene por objetivo evaluar la resistencia de las partes y el conjunto al empuje y succión producidos por el viento, incidente sobre el plano de la abertura.

De esta forma la verificación, permite determinar si el prototipo verifica o no, para su utilización en edificios en distintas alturas. Esto considerando la deformación del conjunto, medida sobre una pieza vertical (montante). En este caso la montante vertical derecha (montante exterior según el sentido de apertura de la hoja), con deflectómetros ubicados en tres puntos:

.D1 Parte superior de la montante

.D2 Centro de la montante

.D3 Parte inferior de la montante

Los parámetros de ensayo determinan la presión a utilizar en el caso de la Presión positiva y Negativa (succión). Según lo requerido para el tipo de ventana y las condiciones de ensayo utilizadas la presión máxima  $P_{max} = 1480$  Pa. Los resultados obtenidos y condiciones de ensayo, se presentan en las Tabla 9 y Tabla 10.

Tabla 9. Deformaciones producidas en ensayo de carga distribuida, presión positiva

Presión de ensayo (Pa)	Deformación (mm)			Deformación real (mm)
	D1	D2	D3	$D2 - \frac{(D1 - D3)}{2}$
350 Residual	1,8	0,8	0,3	0,25
	0,2	0,0	0,2	0,20
950 Residual	5,5	2,3	1,5	1,20
	0,4	1,6	0,5	1,20
1160 Residual	5,8	2,6	2,1	1,35
	0,4	1,9	0,7	1,35
1350 Residual	7,2	3,2	2,9	1,85
	0,7	2,6	0,8	1,85
1660 Residual	8,8	3,9	4,0	2,50
	0,6	3,3	0,8	2,60
1480 Residual	8,0	3,9	2,8	2,00
	0,8	3,3	1,0	2,40
Deformación máxima (proporcional a medidas del perfil $d_{max} = 6,00$ mm, máxima según norma NBR10821-2 = 30,00 mm)				<b>3,49</b>
Deformación residual ( $d_r = 0,4$ % de 6,00 mm)				<b>2,44</b>

Tabla 10. Deformaciones producidas en ensayo de carga distribuida, presión negativa (succión)

Presión de ensayo (Pa)	Deformación (mm)			Deformación real (mm)
	D1	D2	D3	$D2 \frac{(D1 - D3)}{2}$
350 Residual	0,4	0,2	0,2	0,10
	0,1	0,1	0,0	0,05
950 Residual	1,4	0,6	1,3	0,75
	0,1	0,0	0,2	0,15
1820 Residual	1,8	1,0	1,6	0,70
	0,1	0,3	0,4	0,05
Deformación máxima (proporcional a medidas del perfil 1050/175= 6,00 mm, máxima según norma 30,00 mm)				<b>3,49</b>
Deformación residual (0,4% de 6,00 mm)				<b>2,44</b>

Como ensayo final, se realiza una prueba de mayor sollicitación, llamada de Presión de seguridad. Esta determina una presión excesiva, que deberá ser soportada, sin desprendimiento de elementos peligroso, pero siendo posible presentarse roturas en la pieza ensayada. Los resultados se indican en la Tabla 11.

Tabla 11. Descripción de afectaciones y parámetros de ensayo de Presión de seguridad

Presión de ensayo (Pa)	Descripción			
	1ª positiva	2ª positiva	1ª negativa	2ª negativa
2210	Ninguna afectación	Ninguna afectación	Ninguna afectación	Ninguna afectación

Con los resultados obtenidos en este aspecto, se evidencia que la abertura verifica sin ninguna ocurrencia. En este caso el componente no sufrió ningún daño ni desprendimiento, durante todo el ensayo.

#### 5.4 CONCLUSIONES

. La aplicación de la normativa NBR 10821-3 (2017 C), de aberturas desde la perspectiva del desempeño, permitió realizar los ensayos de forma correcta, dando resultados completos de resistencia no solo mecánica, sino de seguridad y de estanqueidad del prototipo.

. En la evaluación de ensayos de operación de apertura y cerramiento, así como de presión de seguridad, el prototipo mostró resultados aceptables, verificando a los mismos de forma completa.

. La resistencia mecánica del conjunto y sus elementos, se comportó de forma positiva, ya que tampoco requiere mayor fuerza de accionamiento luego de realizados los ensayos.

. Si bien se verificó en el análisis de permeabilidad al aire como desempeño en categoría MINIMO, no verificó a la estanqueidad de agua. La afectación principal fue la infiltración de agua, por el sector inferior entre los travesaños de la hoja y el marco.

. Deberá analizarse de que manera mejorar la eficiencia de burletes y el diseño de perfiles, sobre todo del travesaño inferior del marco. De todas maneras, considerándose el trabajo con una tecnología de fabricación sencilla, se presume que los resultados son positivos y podrá alcanzarse una aprobación de todos los ítems en evaluaciones futuras.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ABNT. 2017 A. *Norma Brasileira NBR 10821-1*. Aberturas para edificaciones. Parte 1. Aberturas internas y externas – Terminología. Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. 2017 B. *Norma Brasileira NBR 10821-2*. Aberturas para edificaciones. Parte 2. Aberturas internas y externas – Requisitos y clasificación. Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT. 2017 C. *Norma Brasileira NBR 10821-3*. Aberturas para edificaciones. Parte 3. Aberturas internas y externas – Métodos de ensayo. Asociación Brasileira de Normas Técnicas.

## 6. Tecnologías de fabricación de aberturas

En la etapa de desarrollo del componente, pudieron aplicarse las técnicas que se consideraron más acordes al desarrollo de la tecnología, que resultaron ser las de la carpintería de madera. Sin embargo, no se descarta la combinación con otras que disponemos.

En ese sentido merece una reflexión la aplicación de esta tecnología milenaria y sus lógicas, en un nuevo desarrollo. Esto sobre todo por su arraigo cultural en nuestro medio y la capacidad de trabajo existente con estas técnicas.

A partir de dos entrevistas con el carpintero Miguel González, que realizó el trabajo durante esta tesis, se intentan aportar las opiniones de la visión “tradicional” de la carpintería sobre el nuevo desarrollo y profundizar en el análisis de estas.

Además, se analiza desde el punto de vista del diseño de aberturas, las existentes en el mercado y comparativamente una tecnología apropiada, que aportan opciones alternativas.

## 6.1 CARPINTERIA TRADICIONAL

A partir de todo el desarrollo del presente trabajo intentamos mostrar que, en la evaluación de la aplicabilidad de este tipo de componentes novedosos, al trabajo de una técnica tradicional, tiene un especial énfasis en registrar lo que aporta el saber empírico del técnico o artesano. En nuestro caso del carpintero y su saber sobre la tecnología tradicional de carpintería de madera, siendo un desarrollo situado y que da valor al aporte de ese conocimiento.

Como sabemos los conocimientos técnicos, como entramado conceptual (software), de una tecnología son una parte esencial de esta. En otras palabras, son la esencia de la técnica. Y como esencia queremos decir, todo lo inmaterial que forma parte de ella y es componente fundamental.

La esencia que, retomando palabras de la filosofía, es todo lo que esa técnica incluye, que también está presente en las otras de su mismo tipo (otras técnicas de trabajo en este caso), pero que no es específicamente técnica. Todos los conocimientos teóricos que son necesarios para su aplicación, más allá de las herramientas o artefactos de los que se trate esa tecnología.

Entonces podemos suponer que los conocimientos técnicos de la carpintería, por caso los expresados en el manual de carpintería muy difundido de Jackson y Day (1989), podrían ser aplicables a este nuevo desarrollo, su esencia. Esto si consideramos que el material utilizado es similar a la madera. Similar en sus condiciones físicas, pero también en su comportamiento, aunque su origen sea distinto.

Como hemos visto en los capítulos anteriores, sobre todo Capítulo N°5, algunos parecidos en sus propiedades pueden encontrarse:

- Una densidad similar menor a  $1 \text{ g/cm}^3$ , aunque mayor a las maderas blandas
- Una estructura en capas o fibras organizadas linealmente
- Comportamiento anisotrópico
- Cierta cantidad de vacíos en el interior de las piezas
- Buena resistencia mecánica a compresión, aunque menor a flexión

Seguidamente en el trabajo con prototipos, también pudo verificarse la posibilidad de aplicarse las técnicas de trabajo que se utilizan en la carpintería:

- Aserrado o cortes

- Cortes a inglete (ángulos variables)
- Perforado o frezado
- Atornillado y clavado

Uno de los aspectos de similitud también puede verse, dentro de los efectos de deformación de las piezas de madera, en el manual de carpintería antes citado (Jackson and Day 1989:13). Allí puede observarse el efecto de Pandeo y Alabeamiento. Ambos detectados como inconvenientes dentro del proceso productivo de los nuevos perfiles.

Si vemos también como definen a la madera en textos de carpintería ya citados, incluso en otros textos sobre materiales de ingeniería, se los nombra como un material compuesto. Un compuesto natural de fibras de celulosa, ligadas con un “adhesivo natural” que es una proteína, la lignina. Es por eso que no es de extrañar, que encontremos similitudes en la aplicación de ambos materiales.

De esta forma el aporte de la visión del carpintero completaría una mirada de la posibilidad de aplicar esta nueva tecnología en proyectos de carpintería que ya están en funcionamiento. Una de las posibilidades para difusión de la tecnología, para adaptación o conformación de una tecnología social.

#### *Ventanas de madera en la actualidad*

La fabricación de ventanas con técnicas de fabricación novedosas, aplicadas en la madera, se sigue realizando en la actualidad además de en otros materiales. Puede verse en la Figura 1, ventanas de perfilaría de aluminio y PVC, con ventanas de madera.



Figura 1. Modelos de ventanas comerciales de abrir de PVC (A), Madera compensada (B) y Aluminio (C)<sup>1</sup>

1 Extraído de modelos comerciales de: <http://ventanas-pvc.es/> (A) <http://mallorca-windows.com/ventanas-de-madera/> (B) <http://www.dpaluminio.com.ar/> (C)

Las aberturas de aluminio que se encuentran en nuestro medio desde hace aproximadamente cincuenta años (tipo C, Figura 1) son las más utilizadas en los edificios actualmente. Compuestas de marcos de aluminio, con las primeras cámaras de aire internas, en este caso no estancas y que pueden poseer un ruptor de puente térmico (RPT) aumentando su aislamiento del exterior.

Las aberturas de madera, que son las más antiguas, producidas hoy en día con nuevas tecnologías en otros países, están presentes en menor porcentaje en nuestro medio. La tecnología de fabricación contemporánea ha permitido, que obtengan mejoras notables respecto a las tradicionales (De Gastines and Pattini 2019). Podemos encontrar algunas aún producidas de madera aserrada, con la tecnología tradicional que se encuentra en un descenso de su producción, debido a la cada vez mayor dificultad de obtener maderas nobles para su fabricación. Las ventanas de madera modernas, son encuentran conformadas por perfiles compensada (compuesta de piezas de madera menores) las que hoy en día presentan el avance de este rubro tecnológico (tipo B, Figura 1).

Comparativamente podemos comprender como, las ventanas de madera actuales, con todos los mejoramientos de diseño que se les han realizado, con la posibilidad de generar en ellas morfologías más complejas para la inserción de dobles o triples contactos flexibles, son las que aún lideran los valores de prestaciones de diseño estanco y aislamiento térmico.

En el trabajo realizado por De Gastines (2019), se comparan los valores obtenidos de cálculo, para los tres tipo de ventanas que se detallan en la figura anterior. En ese caso las ventanas de madera, obtienen los mejores resultados de Conductividad térmica, Estanqueidad de aire y Absorción de radiación solar

Las más novedosas, producidas en plástico PVC (tipo A, Figura 1). Un polímero virgen de alta resistencia mecánica, pero muy difícil de reciclar, por requerirse su limpieza y clasificación en condiciones de trabajo muy específicas. Han sido un avance frente a las aberturas de aluminio, pero no son utilizadas masivamente debido a su alto costo.

En estos tres casos tenemos tecnologías de producción de High Tec (Dagnino 2004), que aplican alta tecnificación en la fabricación de la perfiles utilizada. Pero que en todos los casos la producción de los componentes de ventana se hace de la misma forma, la última parte del armado final y colocación de accesorios a las carpinterías.

Comparativamente y realizando una división más precisa en etapas del proceso, la automatización o simplificación del proceso varía.

Así como el uso de materiales naturales o sintéticos, podemos ver un análisis de las siete etapas que todos los sistemas comparten en la Figura 2.

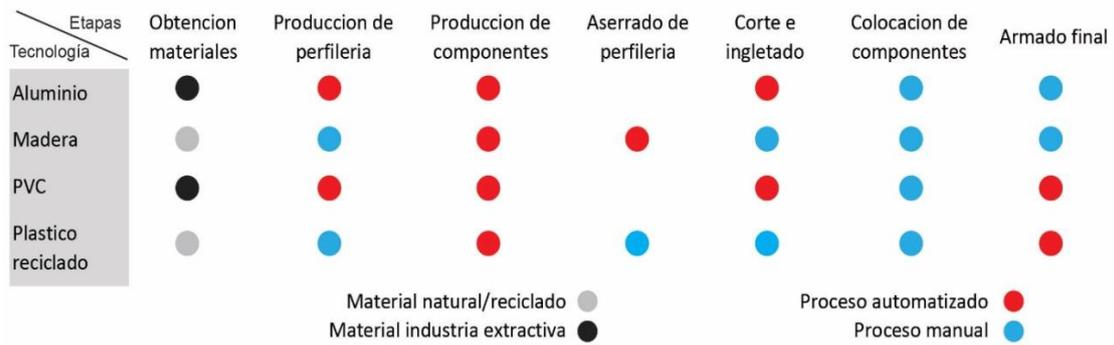


Figura 2. Comparativa de los tipos de materiales usados y etapas automatizadas o manuales en cada tipo de tecnología

Analizando comparativamente estos procesos de fabricación vemos que, de las aberturas de madera tradicionales, en donde la mayoría de las etapas implican trabajos manuales, la nueva tecnología de fabricación con perfiles plásticos incorpora tres de ellas. Además, sumando un aserrado también realizado manualmente, pero combinando con una unión de la perfilera en el armado por termo fusión. Esto último se considera como un proceso más automatizado, tomado de la industria plástica, por lo que vemos en definitiva una combinación de procesos de origen en ambas tecnologías preexistentes.

## 6.2 VENTANAS DE HORMIGON

El sistema de cerramiento desarrollado por la institución argentina CEVE desde los años 60, se basa en ejemplos de desarrollos previos de ventanas de hormigón, pero plantea un gran adelanto llevándolo a la escala de la vivienda. Ya que los usos previos eran en la tipología industrial, en donde tuvieron una buena aplicación debido a su bajo costo y simpleza<sup>2</sup>.

La ventana de hormigón es una de las únicas tecnologías apropiadas, sobre aberturas. Desarrollada en el contexto Latinoamericano y basada en algunos criterios de investigación que la hacen importante a los fines de nuestro análisis, ya que los retomamos en el desarrollo de esta nueva tecnología de fabricación de aberturas.

La ventana de hormigón se basa en la utilización de los materiales de y técnicas de albañilería más nobles y difundidos con gran amplitud, otro aspecto por el que se pensó en la reorientación de esta capacidad existente a la producción de aberturas para la vivienda social.

El hormigón armado y sus componentes (áridos finos y gruesos, cemento y agua) aportan capacidades interesante, que no son menores en la construcción, su imputrescibilidad, resistencia e impermeabilidad. Pero a su vez, facilidad de moldeo, plasticidad y amplias posibilidades de terminación. Las piezas tienen una calidad estética muy aceptada y de formas totalmente racionales aplicable a la vivienda a pequeña y mediana escala. Puede incorporarse en ambos casos dentro de un diseño racional como puede verse en la Figura 3.



Figura 3. Ventana de hormigón en prototipo BENO – CEVE (1986) Fuente: Web [www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar).

---

2 CEVE, Conicet, (2010). *“Conozca la ventana de hormigón”*. Folleto comercial extraído el 18 de octubre de 2017 de: [http:// www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar).

Visto desde la óptica del desempeño, también aporta los valores de un material tradicional ampliamente probado y utilizado en el medio y de gran aceptación, a un producto nuevo de un esperable buen desempeño en Durabilidad y Mantenibilidad.

Las tareas a realizar durante su vida útil son simplemente de limpieza sencilla con agua y repintado con una periodicidad de dos años, las referencias muestran ventanas instaladas hace aproximadamente treinta años (ver Figura 3).

El sistema de cerramiento propiamente dicho, está compuesto por piezas de hormigón ahuecadas, en forma de marcos modulares, que pueden combinarse sin límites dimensionales. Así conformar planos de distinto tipo, evidenciando otra de sus posibilidades, su gran flexibilidad el diseño y rapidez y facilidad de montaje<sup>3</sup>. A su vez en cada marco típico puede realizarse la fijación de hojas de distintos materiales vidriadas o de vidrios fijos directamente sobre la superficie de hormigón.

La ventana de hormigón por sus materiales constitutivos posee una gran resistencia estructural y seguridad. Prueba de esto es que en campo, se verificó la capacidad de la

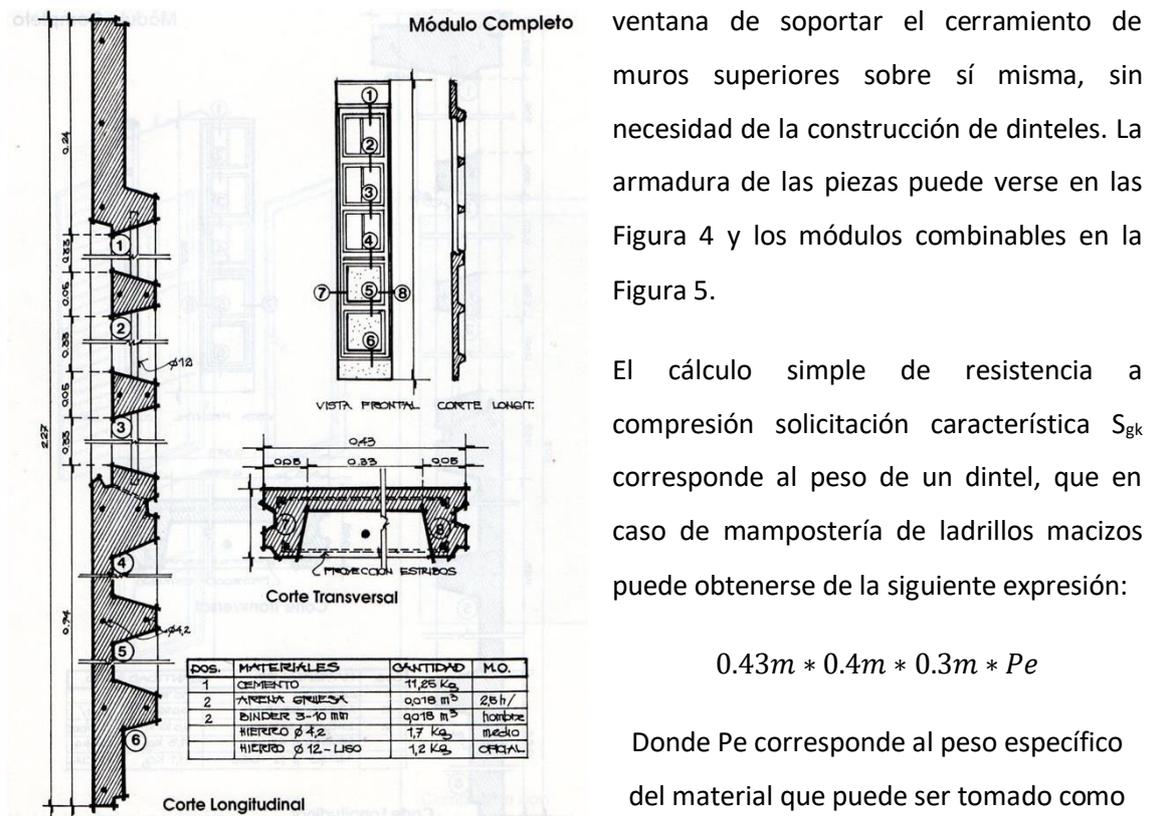


Figura 4. Detalle en corte y planta de modulo completo. Fuente: (C.E.V.E. 2006)

3 CEVE, Conicet. (1993). *La ventana de hormigón en la arquitectura habitacional*. Editorial AVE, Córdoba, Argentina.

Considerando las secciones de los “parantes” de ventana podemos decir que la superficie es  $40\text{cm}^2 * 84,5\text{ kg/cm}^2 = 3380\text{Kg}$ .

En este caso consideramos la resistencia característica del hormigón con agregado pétreo de menor resistencia  $1300\text{ kg/m}^2$  y un coeficiente de seguridad del 65%. Así podemos observar la capacidad portante del componente que supera tres veces la sollicitación máxima que pudiera tener según cálculo.

Por otra parte la *seguridad* frente a la intromisión de personas o animales, es cumplida con la incorporación de una reja metálica en la propia estructura del hormigón. Esto que pareciera un aspecto secundario, durante más de treinta años de utilización de esta tecnología se ha comprobado ser una de las principales ventajas. Siendo la seguridad, la gran preocupación para las ventanas más económicas en nuestro medio. Una prueba de esto es la adopción de esta tecnología por cooperativas de trabajo.

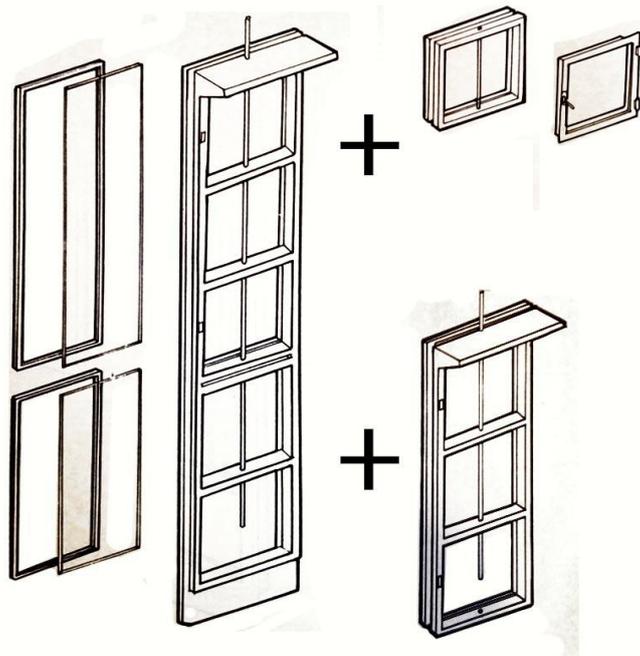


Figura 5. Módulos combinables para cerramiento. Fuente: (C.E.V.E. 2006)

Continuando con la conformación del sistema, los paños de cerramiento se unen de forma vertical tanto en mampostería tradicional o cualquier otra estructura y sus uniones realizadas de forma muy simple con técnicas de albañilería. Tal vez, en este aspecto se encuentre la mayor debilidad del sistema, ya que desde el punto de vista de la aislación térmica, posee un material con alta conductividad térmica, tomada de forma desfavorable alrededor de  $1.40\text{ W/mK}$ . De esta forma el cálculo del coeficiente  $K$  del cerramiento, cuando es homogéneo, arroja valores de  $K > 4\text{ W/m}^2\text{K}$ .

Desde el punto de vista del confort antropométrico y la seguridad en su uso, la composición de materiales y su terminación no posee rebabas ni ángulos que posibiliten el daño a los usuarios y la terminación con un material noble, obliga a producir bordes redondeados sin vértices agudos. Es un problema a destacar el uso de herrajes, de manipulación muy simple pero, de terminación defectuosa en algunos casos. Es un agregado externo que disminuye el confort durante su uso.

Continuando con la conductividad térmica se realizó a los fines de este informe el cálculo de coeficiente de conductividad térmica  $K$  ( $W/m^2K$ ). El resultado fue de  $K=4,53$  en los parantes de hormigón y de  $K=5,67$  en los marcos de vidrio o vidrio fijo. Considerando las superficies de cada elemento el coeficiente general es

$$K = 5,35 W/m^2K$$

De esta forma el cerramiento completo del sistema no verifica a la norma brasileña NBR (ABNT 2017), pero tampoco al mínimo establecido por norma IRAM (IRAM 1996)(IRAM 2002).

Puede considerarse su uso en combinación con cerramientos de otro tipo con mejor comportamiento térmico. Pero aquí está, dentro de todas las ventajas ya vistas, la gran desventaja de esta tecnología de ventanas muy sencilla. Gran cantidad de infiltraciones y materiales de alta conductividad térmica, que hacen a un conjunto de muy alta transmitancia térmica y baja estanqueidad. Para ejemplificar su estructura de bajo costo, puede verse en las Tabla 1 y Tabla 2, la estructura de cálculo de costos del componente.

Es de esperar el bajo costo de materiales, pero los valores totales representan un 20% aproximado de reducción frente a componentes similares de mercado. Esto quiere decir que además de esa reducción, los tiempos de fabricación y los costos de mano de obra también son menores y el componente es competitivo económicamente.

Tabla 1. Estructura de costos ventanas de hormigón modulo simple

Dosajes	Materiales	Cantidad	Precio	Unidad	M/O
1	Cemento	4,5	16,20	Kg	
2	Arena gruesa	0,006	2,70	m <sup>3</sup>	1,25
2	Binder	0,006	5,10	m <sup>3</sup>	horas oficial
0	hierro 4.2	4	13,33	m	
0	hierro 12 liso	2	55,00	m	
			\$ 92,33		\$ 225,00
			\$ 317,33	Total	

Tabla 2. Estructura de costos de ventana de hormigón modulo completo

Dosajes	Materiales	Cantidad	Precio	Unidad	M/O
1	Cemento	11,25	40,50	Kg	
2	Arena gruesa	0,018	8,10	m <sup>3</sup>	2,5
2	Binder	0,018	15,30	m <sup>3</sup>	horas oficial
0	hierro 4,2	14	51,33	m	
0	hierro 12 liso	3	82.50	m	
			\$ 197,73		\$ 450,00
			\$ 647,73	Total	

Considerando un metro cuadrado de cerramiento, tendría un costo estimativo de 650 \$ o 36 u\$s/m<sup>2</sup> de elementos y agregando la mano de obra en la instalación, con módulos completos. En cuanto a los módulos medios, deberían utilizarse dos por metro cuadrado, sumando 634 \$ o 34 u\$s/m<sup>2</sup>.

Este aspecto de reducción de costos, que pareciera no tener el impacto que podría, no expresa una de las condiciones de trabajo más interesantes, el alto impacto del costo de las horas de trabajo. Por eso es que, más allá de un valor final, la composición de este aspecto es diametralmente opuesta al de otros sistemas. Pero además que este tipo de componentes, al igual que muchos derivados de las tecnologías apropiadas o TS, el sistema de producción está pensado con la idea de autoconstrucción.

En este caso en un proyecto de autoconstrucción de viviendas, donde la mano de obra no es considerada un ítem de costo, por ser provista en su mayoría por los propios beneficiarios de la comunidad, uno de los costos principales desaparecería. Pero además, se incorporaría el valor de transformar desde la actividad de la albañilería, a un grupo de estos artesanos en fabricantes de ventanas. Con el consecuente impacto de valorización de su trabajo que esto acarrearía, ver construcción en obra en Figura 7.

Estas consideraciones aparentemente menores, surgen de los principales objetivos del proyecto de aberturas de este tipo; costos bajos, para vivienda accesible, posible de ser realizada por autoconstrucción y que demande trabajo intensivamente. Es en esos objetivos donde algunos aspectos del desempeño pueden perder importancia o no ser centrales.



Figura 6. Sistema de placas y ventanas hormigón durante su montaje. Fuente: Web [www.ceve.org.ar](http://www.ceve.org.ar).

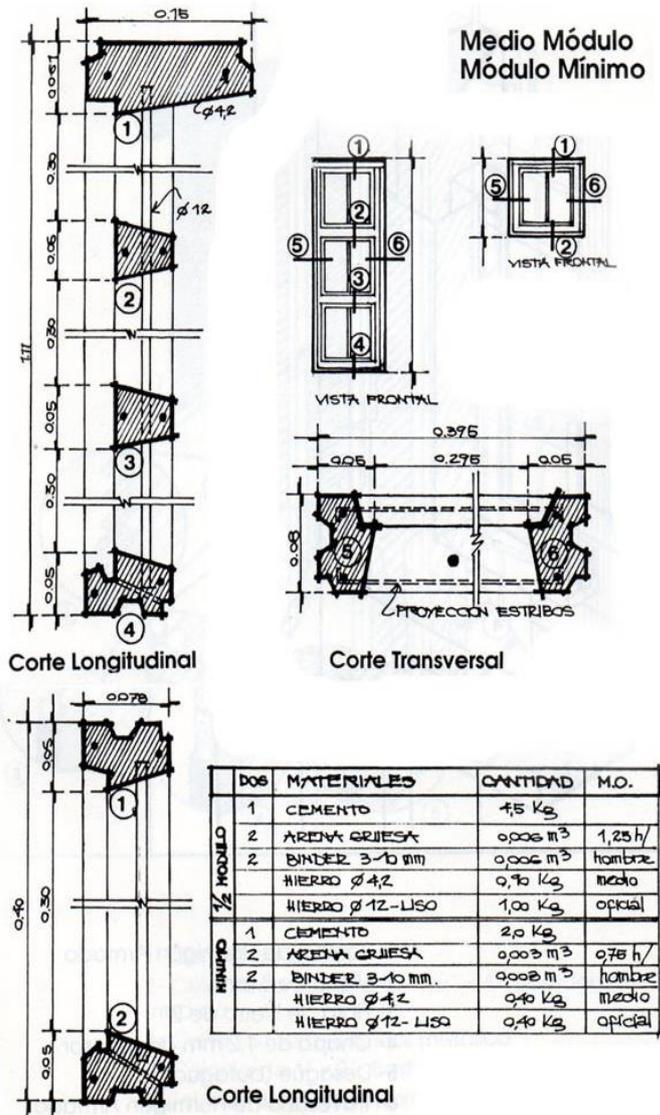


Figura 7. Detalles ventana modulo medio y mínimo.

Cuando entonces analizamos la Estanqueidad, es donde está el segundo punto débil del sistema de ventanas de hormigón, ya que las uniones entre marcos de chapa y marcos de hormigón macizos, sin la presencia de materiales flexibles, hace que las superficies no tengan buen contacto. Probablemente sea en estos dos últimos aspectos del desempeño, en los que se encuentran los aspectos a mejorar.

Es así que pensamos, en el análisis de este tipo de desarrollos, en la comparación a la nueva tecnología desarrollada en esta tesis a partir de algunas ventajitas.

Ventajas que surgen desde los criterios de este sistema antecedente, aunque sea producido con material de otro origen, completamente distinto:

- Incorporar intensivamente el trabajo de comunidades, operarios y usuarios
- Generar la posibilidad de una tecnología social
- Mejorar propiedades de estanqueidad y transmitancia térmica de los componentes
- Rescatar técnicas de fabricación que son poco utilizadas, aprovechando una capacidad de trabajo instalada y disponible

Estos aspectos pueden sumarse a otros, en una nueva tecnología de fabricación de aberturas como la que aborda esta tesis, pero con los mismos criterios originales. Si consideramos que todas las piezas utilizadas en el proceso, salvo la maquina extrusora, son de fabricación manual en chapa de acero, la técnica de menor costo frente otras existentes. En ese sentido podemos ver similitudes entre ambas.

Por otra parte, la posibilidad del diseño abierto, considerándose que pueden realizarse cambios en la forma de los perfiles y consecuentemente en las ventanas, permitiría adaptaciones locales de cualquier tipo.

Si también consideramos que los perfiles deben ser trabajados por el carpintero, luego de su extrusión, vemos que es posible valorizar esa tarea hasta este momento dejada de lado en las tecnologías nuevas de fabricaciones de aberturas. Esto es apoyado por la condición, de similar forma de trabajo con las mismas maquinarias y procesos, lo que pretende reducir el impacto de la adaptación de la carpintería tradicional a esta nueva.

Es por todos estos aspectos que el análisis de cuales fueron los objetivos, con que visión sobre la tecnología se pensó un sistema como las ventanas de hormigón económicas, encontramos que el mismo enfoque pudo aplicarse a procesos y materiales de distinto origen e incorporando numerosas ventajas.

### **6.3 TECNICAS DE CARPINTERIA EN UNA NUEVA TECNOLOGIA**

Para evaluar nuevamente esta variable de “adaptabilidad” tecnológica, aunque esta aplicación sería parcial, una adaptación teórica, analizamos la visión del carpintero. En la entrevista realizada, pudo profundizarse y extraer datos valiosos en varios ejes. Que contrastan si lo que hasta aquí analizado, como ventajas de nuestra tecnología, podrían serlo en un proceso productivo realmente.

En una tecnología situada y que da valor al aporte del conocimiento empírico de los productores, ese conocimiento es importante para acercarse a la idea de las TS. Por esto en la entrevista realizada, pudo profundizarse y extraer datos valiosos en varios ejes pensando en continuar el proceso:

. Evaluando *el material* utilizado en el proceso, pareció interesante para el carpintero en su trabajo. Mostrando una novedad en el mismo.

Se acentúa su parecido a la madera, por haber podido realizar los mismos procesos. Su peso, su forma y como se comporta es similar, en la opinión del artesano. Las evaluaciones de ingeniería sobre el mismo, en ensayos de laboratorio en realidad apoyan esta visión, ya que el material es fibrado, posee partes longitudinales que se evidencian en la manera de comportarse con herramientas de la carpintería.

Si bien podría tomarse como algo *romántico* por el apego a este tipo de trabajo, vemos como positivo que se encuentre una familiaridad con el tacto y la operación manual de los elementos. Esta familiaridad podría permitir una mejor adaptación de la tecnología en una etapa de escalado posterior, en otras palabras facilitar la “adecuación socio-técnica” (Dagnino and Baumgarten 2009) aunque esta no sea la única variable a tener en cuenta.

Por otra parte, se destaca que por varios procesos “se notó que era un poco riesgoso el trabajo”, apuntando a que podrían producirse accidentes con las máquinas eléctricas en el proceso. Sobre todo en el trabajo del perfil del gotero y sacado del contra vidrio. En estos se requiere empujar manualmente el material, con herramientas de trabajo que funcionan a altas revoluciones, se produce un calentamiento de las piezas y el consiguiente retraso en el funcionamiento es lo que aumenta el riesgo de tener accidentes.

Se propone desarrollar elementos de cortes diferentes a los de madera, discos o sierras, ya que la “trabajabilidad” es buena, no hay mucha “dureza del material”, pero se producen los inconvenientes descriptos.

Aunque no es destacado directamente, puede notarse en la explicación del proceso que existe un conocimiento previo aplicado al nuevo proceso. Y por otra parte las dificultades encontradas, pudieron ser sorteadas con algunas pequeñas modificaciones. En este caso es donde se encuentra la posibilidad de generar un conocimiento positivo y de *código técnico abierto*, (Feenberg 2005) con la incorporación de capacidades, ideas y visiones locales propias de los fabricantes.

. *Sobre las uniones*, los utilizados en madera no fueron convenientes. La fusión pareció ser el sistema más adecuado y mostro buenos resultados.

En este caso la deformación de los perfiles es un aspecto importante ya que, en el armado se arrastra la deformación, no permitiendo que la tercera o cuarta unión de los marcos de hoja o marcos de ventana se realice correctamente. Es decir, si bien en el inicio de la unión de los marcos se produce la fijación de forma correcta, al cerrar la abertura completamente se producen los inconvenientes.

En ese caso con piezas que eliminaran estos defectos de alabeamiento, sería mucho más fácil el trabajo. Mejoraría la “calidad del trabajo” en el aserrado de perfiles y las uniones.

. *Usar las mismas herramientas* es un segundo aspecto que se destaca notablemente, pero viene asociado a la misma crítica de que la deformación de los elementos no permite un trabajo seguro. Entonces en ese sentido sería más simple, adaptar el proceso a generar perfiles rectos y de forma constante y no modificar los pasos de procesado.

Esto que es muy normal en el trabajo de madera, donde una pieza deformada puede corregirse simplemente dejándola en cierta posición tensionada durante un tiempo, no aplica al caso de esta mezcla plástica bastante más rígida y *vidriosa*. La misma técnica intento implementarse, sin resultados positivos.

En este momento se produce la contrastación, de la idea del re trabajado de los perfiles, a partir de una preforma o del uso de perfiles terminados. Pero en la opinión del carpintero, sería más positivo el segundo caso. En esa etapa del trabajo “se presentan los problemas” porque demanda mucho tiempo, es engorroso y genera todo el desperdicio del material.

Por otra parte, las carpinterías modernas actualmente ya están familiarizadas con el trabajo con perfilería que viene terminada en una etapa de producción anterior.

. *Pensando en la aplicación* en talleres de carpintería, que podría darse en una siguiente etapa, se destacó que debería mejorarse la terminación total de las piezas, evitando el rebarbado manual que es muy complejo y el aserrado de los contra vidrios.

Esto choca con la idea de una tecnología de mano de obra intensiva de carpintería. Según ese análisis, un trabajo tan artesanal ya casi no es realizado en carpinterías modernas y la hipótesis de su viabilidad, no se verificaría.

El colocado de bisagras y herrajes, el material se presentó como normal o “un material noble”. Podría pensarse en la aplicabilidad de perfiles más complejos, pero de mejores prestaciones, eso se lo ve como interesante, sobre todo pensando en un emprendimiento a escala comercial.

*Anexo transcripción de entrevistas*

*(E: entrevistador C: carpintero)*

E: Teniendo en cuenta todo el tiempo que venimos trabajando con las pruebas de los perfiles plásticos ¿Cómo viste y como sentiste que se podía trabajar con el Material?

C: Me pareció interesante trabajarlo. Con el uso de las máquinas, al principio, sentí que se podía trabajar bien, utilizando métodos y técnicas que son para carpintería. Pero después lo que hemos notado es que es muy riesgoso para hacer partes chicas, como por ejemplo las pestañas del perfil.

E: ¿Vos te referís a que no es seguro, porque podés accidentarte con la maquina?

C: Exactamente, sí.

E: Pero ¿en qué operación puntualmente notas eso?

C: Por ejemplo en este que es el gotero. También para hacer el contra-vidrio. Son operaciones que son riesgosas porque hay que llevar la pieza, uno tiene que empujar el material con las manos. Y quizás las sierras, que están hechas para madera, los primeros dos o tres cortes pueden andar, pero después empieza a empastarse el disco. Se desafila y no lo podemos lograr con el método tradicional con el que se hace en madera.

E: Pero si tuviéramos una sierra con un disco que sirviera para ese material, ¿Sería mejor?

C: Si, en ese caso sí. Yo creo que hay que investigar o desarrollar algún elemento de corte que permita hacer eso. En cuanto al material en sí, no me parece que sea algo muy duro. Imposible de trabajar.

E: Osea que la “trabajabilidad” sería buena, pero se complica con el corte, sobre todo a lo largo

C: Exactamente, sobre todo en las piezas o detalles pequeños.

E: Y las uniones entonces, ¿cómo fueron o como se hicieron?

C: Bueno, en cuanto a las uniones ensayamos varias cosas. Tratamos con clavos o con tornillos, pero notamos que tienden a rajarse o cuartearse en los extremos. Y otros tipos de técnicas de “malleté” o “ensamble” no son posibles de hacerse como en la madera (por el uso de adhesivos).

E: Entonces ¿cuál fue la forma de unión que mejores resultados dio?

C: Hasta ahora el que mejor pudimos lograr fue el hecho de que este termo-fusionado. Unión fusionada.

E. Ese tipo de unión ¿quedo bien para tu opinión?

C: Si el tipo de unión quedó bien. El hecho de que las piezas tengan deformaciones o estén desparejas hace que no se pueda hacer el proceso muy bien. Pero el sistema de unión en sí, funciona bien.

E: Cuando hicimos la eliminación de las rebabas, ¿fue un proceso muy complicado?

C: Claro, eso por ejemplo fue complicado. No difícil, pero da mucho trabajo, además no te quedan todo iguales. Entonces es lo mismo que decíamos, es mucho re-trabajado.

E: Entonces el tema principal de lo peligroso del proceso, es que las piezas tengan un alabeamiento, ¿si no tuviera esa deformación el problema sería menor?

C: Claro, de eliminarse el problema el resultado podría ser mucho mejor. El efecto es que cuando la ventana va sellándose, en las primeras uniones, la forma no causa problemas. Cuando se realiza la tercera y cuarta unión, una pequeña deformación tiene un impacto grande.

E: Para el sellado del vidrio ¿cómo fue el proceso?

C: Es un método similar al de ventanas de madera, no requiere mayor problema.

E: Bien, en todo esto influye que el proceso de re-trabajado, fue elegido para utilizar moldes más baratos. Basamos la idea de usar moldes simples, hechos por una técnica simple sin gran precisión y no gastar tanto dinero en eso y que el carpintero haga más trabajo posterior. Por otra parte con un molde más preciso podrían obtenerse otro tipo de piezas, pero que el carpintero haga menos trabajo, ¿a vos que te parece mejor?

C: Yo, me inclino por la segunda...

E: Vos preferirías entonces que se use un molde con más precisión, para hacer menos trabajo después?

C: Yo creo que esa opción sería mejor, habría que probarlo.

E: Como ves esto para instalarlo en un carpintería, ¿sería mejor de esta forma o con un proceso que se recibiera la pieza más terminada?

C: En mi opinión sería mejor con un molde de más precisión, ya que el perfil salga, lo más recto posible.

E: ¿Y lo más terminado también?

C: Y lo más listo, para que no haya que re-trabajarlo, porque ahí está el problema. También porque es más tiempo y eso haría que fueran más caras las ventanas. También es más desperdicio de material.

E: Vos decís que en una carpintería, sería preferible recibir los perfiles más terminados, sabiendo que van a ser más caros, aunque con los perfiles más básicos, tengan más costo de mano de obra que es lo que los carpinteros cobran?

C: En mi opinión eso sería lo más positivo. Cortar a inglete y unir es lo que ellos están más acostumbrados también.

E: Después para colocar los herrajes, bisagras, uniones, ¿cómo te resulto, el trabajo fue complicado?

C: Fue como con materiales de carpintería comunes, es un material noble, no hubo mayores problemas.

E: Vos notas esta idea que tenemos de que el material es vibrado, ¿se nota que es una estructura a lo largo?

C: Se nota en el trabajo este efecto. Por ejemplo se uno utiliza un “formón” para trabajarlo y hacer en hueco para una bisagras, se ve que cuando se rompe el fibrado que tiene. Eso se le nota en como es el material haciendo los trabajos que hay que hacer.

E: ¿Se puede quebrar de alguna forma ahí?

C: Claro, normalmente si se quiebra es siguiendo una línea de fibra. Se quiebra como una madera, igual.

E: En tu opinión ¿es un material más pesado que la madera?

C: Es normal, como los materiales con que está acostumbrado a trabajar uno.

E: Una idea que tenemos es de hacer perfiles más complejos, con varios contactos y que sean aberturas de mayores prestaciones, ¿vos crees que esto sería más positivo?

C: Serían carpinterías de más precio pero de mejor calidad. Capaz perfiles más grandes y pesados, pero de mejor tipo.

E: Utilizar otro tipo de trabas más seguras, que traben la parte superior e inferior de la ventanas, con perfiles más anchos, ¿lo ves posible?

C: Debería probarse, verlo en cada caso y hacer los ensayos que fueran necesarios. Pero no veo que fuera muy difícil.

E: ¿Hay alguna otra cosa que se te ocurra que no te esté preguntando en este momento?

C: Por ahí haciendo, van surgiendo. No así, que se me ocurra en este momento.

## BIBLIOGRAFIA

- ABNT. 2017. *Norma Brasileira NBR 10821-1*. Aberturas para edificaciones. Parte 1. Aberturas internas y externas – Terminología. Asociación Brasileira de Normas Técnicas.
- C.E.V.E. 2006. “La Ventana de Hormigón En La Vivienda Social.” 2. Centro Experimental de la Vivienda Económica. AVE, Córdoba.
- Dagnino, Renato. 2004. “A Tecnologia Social e Seus Desafios.” *Tecnologia Social: Uma Estratégia Para o Desenvolvimento* 187–209.
- Dagnino, Renato y Baumgarten Maira. 2009. “Neutralidade Da Ciência e Determinismo Tecnológico – Um Debate Sobre a Tecnociência.” *Revis 3(2)*:85–88.
- Feenberg, Andrew. 2005. “Teoría Crítica de La Tecnología.” *Revista CTS* 2:109–23.
- Gastines de, Maureen y Pattini Andrea. 2019. “PROPIEDADES ENERGÉTICAS DE TECNOLOGÍAS DE VENTANAS EN ARGENTINA.” *Habitat Sustentable* 1:46–57.
- IRAM, 1996. Instituto Argentino de Normalización, norma 11605: *Condiciones de Habitabilidad En Edificios. Valores Máximos de Transmitancia Térmica En Cerramientos Opacos*. Argentina.
- IRAM, 2002. Instituto Argentino de Normalización, norma 11601. Acondicionamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Argentina.
- IRAM. 2010. Instituto Argentino de Normalización, norma 11507-4. Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4 - Requisitos complementarios. Aislación térmica. Argentina.
- IRAM. 2011. Instituto Argentino de Normalización, norma 11603. *Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina: Esquema 1*. Argentina.
- Jackson, Albert y Day David. 1989. *Manual Completo de La Madera, La Carpintería y Ebanistería.Pdf*. 1993rd ed. edited by Ediciones del Prado. Madrid: Ediciones del Prado.



## 7. Análisis del ciclo de vida (ACV)

Habiendo generado una propuesta para el desarrollo de una tecnología para fabricación de aberturas, es insoslayable pensar en la verdadera pertinencia del desarrollo desde el punto de vista ambiental.

Es por esto que nos preguntamos ¿Qué impactos ambientales podría tener una tecnología como la desarrollada? ¿Son menores a los producidos por las tecnologías hegemónicas de mercado?

Avanzando en un análisis que responda estas preguntas, se toma la metodología ya desarrollada y consolidada por SETAC de análisis de ciclo de vida (ACV). La metodología que consideramos más completa y holística dentro de este tipo de análisis. Ya condensada en la normativa ISO 14000.

El análisis realizado, sobre una de las variables intervinientes en el ACV, se muestran algunos de los aspectos más importantes a tener en cuenta para el desarrollo de esta tecnología social desde una mirada integral, el costo acumulado de energía (CAE).

Este aspecto es central como costo ambiental del sistema de fabricación de aberturas, con una mirada desde las TS, con un desempeño técnico suficiente y superador y con un balance ambiental positivo respecto a las alternativas imperantes.

## 7.1 INTRODUCCION

El objetivo más importante desde el punto de vista de la sustentabilidad en este trabajo de tesis, consistió en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), para obtener el valor de Consumo Acumulado de Energía (CAE) de la tecnología de fabricación de ventanas. El proceso fue aplicado a un diseño prototipo.

Si bien este no es un análisis completo de las variables intervinientes en el proceso, es representativa de la forma en que el sistema impacta ambientalmente. A su vez el mismo análisis, permite comprender y describir las etapas de todo el proceso y la influencia de estas en el costo energético final y compararla con valores de componentes similares (ISO 2000).

Aunque esta comparación con otros componentes es cuestionada por varios autores en su metodología de trabajo, por ser genérica y no responder a variantes locales (Säynäjoki et al. 2017) (Puig and Molins 2010), es innegable que permite una cuantificación de los costos ambientales del proceso en algunas variables básicas y permite decidir sobre cómo mejorarlo reduciendo su impacto o aumentando sus beneficios (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán, and Marrero 2016).

El análisis propuesto por Tarantini y otros (2011) sobre diferentes materiales de construcción y la aplicación de esta metodología, demuestra que la tecnología sobre fabricación de ventanas es central en el análisis de impacto ambiental de un edificio. Así también que, entre diferentes materiales y procesos de fabricación (ventana de madera aserrada o de aluminio ensamblada) en componentes del mismo tipo, hay sustanciales reducciones en el CAE que contiene cada proceso.

### *Alcances del análisis*

Unidad funcional: Ventana de 1.20 x 1.20 m.

Sistema - Componentes principales:

Plástico reciclado PE - Pelletizado comercial

Plástico reciclado PET - Molido obtenido de RSU

Vidrio - Doble vidriado hermético (DVH) 6-12-6, con aire atmosférico interior

Caucho - Pequeñas cantidades en burletes agregados al proceso

Sellador - Pequeña cantidad para sellado del vidrio

## Diagrama de procesos

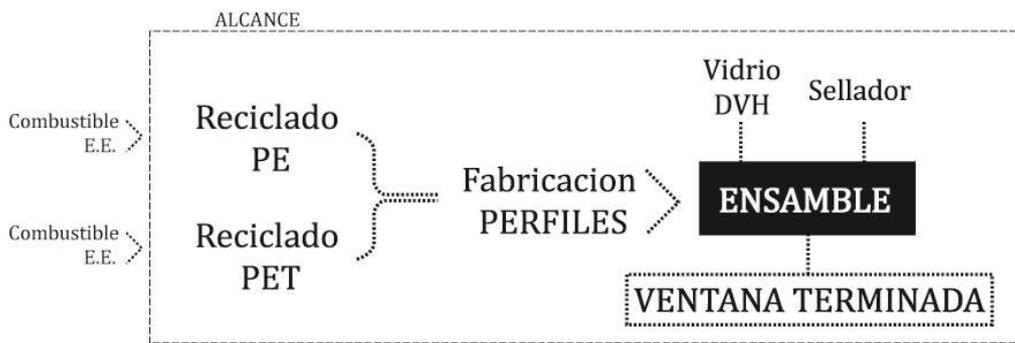


Figura 1. Diagrama de procesos de la producción de ventanas

### Límites del sistema

Se consideran los componentes de incidencia mayor al 5% durante el proceso. La energía requerida en la fabricación y obtención del vidrio y fabricación del DVH, así como del sellador utilizado para la hermeticidad del mismo en el ensamblaje, son calculadas en base a valores obtenidos de bibliografía.

## 7.2 METODOLOGIA

El método de evaluación utilizado será el propuesto por la Sociedad de Tecnología y Química Ambiental (SETAC) (2014), evaluando los materiales o energía utilizada y todos los descartes liberados al ambiente natural en ese proceso. La categoría de impacto considerada es el Consumo Acumulado de Energía (CAE).

### Proceso de fabricación

Esta tecnología incluye varios procesos donde se requiere el uso de energía eléctrica, iluminación, provisión de materias primas, entre otros, comenzando con la obtención de los materiales de fabricación a partir del reciclado de residuos.

En este caso el plástico polietileno-tereftalato (PET) y polietileno (PE), componentes de la mezcla, provienen de procesos diferenciados.

El PET, proveniente de RSU, comienza con el transporte de los residuos desde un centro de acopio, donde es depositado por los usuarios. Luego de tener disponibles los materiales en la planta de producción, es necesario realizar la molienda de los mismos, obteniendo escamas del plástico a utilizar. En este caso tenemos el costo energético (CE) del combustible líquido, utilizado para el transporte del residuo a una planta modelo y la energía eléctrica para la molienda de los envases plásticos.

Por otra parte, el PE proviene del reciclado de los Silobolsas, un insumo de la actividad agrícola, y se obtiene por el lavado y molienda del film plástico. Luego fundido y pelletizado para su reutilización. En este caso el costo surge del combustible líquido utilizado para su transporte a planta, la energía eléctrica consumida para su lavado y molienda y por último la utilizada para su extrusión y pelletizado.

En una segunda etapa al CE del proceso se suma la energía utilizada para la extrusión a temperatura de 245°C. La energía eléctrica se divide a su vez en dos componentes, el calentamiento con resistencias eléctricas previo y durante todo el proceso del ciclo de producción, acoplado parcialmente al consumo del motor eléctrico, que impulsa la mezcla solo durante la extrusión.

Finalmente durante el ensamble, la ventana se fabrica termo fusionando los perfiles entre sí, seguidamente se atornillan el marco móvil (o de la hoja) y el marco fijo, se fijan bisagras y trabas y el vidrio se incluye en la hoja móvil y es sellado. Los detalles de este proceso se muestran en la Figura 2.

Los costos derivados del procesado del residuo PET y de la fabricación de ventana fueron tomados en la planta del centro de investigación CEVE. En este caso en equipamiento similares a los utilizados por la industria del plástico de similar escala. Por otra parte, para la cuantificación de los CE del proceso de reciclado del PE, fueron tomados datos de maquinaria de la industria que es utilizada comercialmente para ese fin, siendo una medición real del proceso industrial.



Figura 2. Momentos del proceso de fabricación y montaje

*Análisis de inventario*

De acuerdo al diagrama de flujos del sistema y el alcance del estudio, se consideran los siguientes subsistemas: 1. Reciclado PE - 2. Reciclado PET - 3. Fabricación Perfiles - 4. Fabricación del DVH - 5. Ensamble. Detallado en la Figura 3.

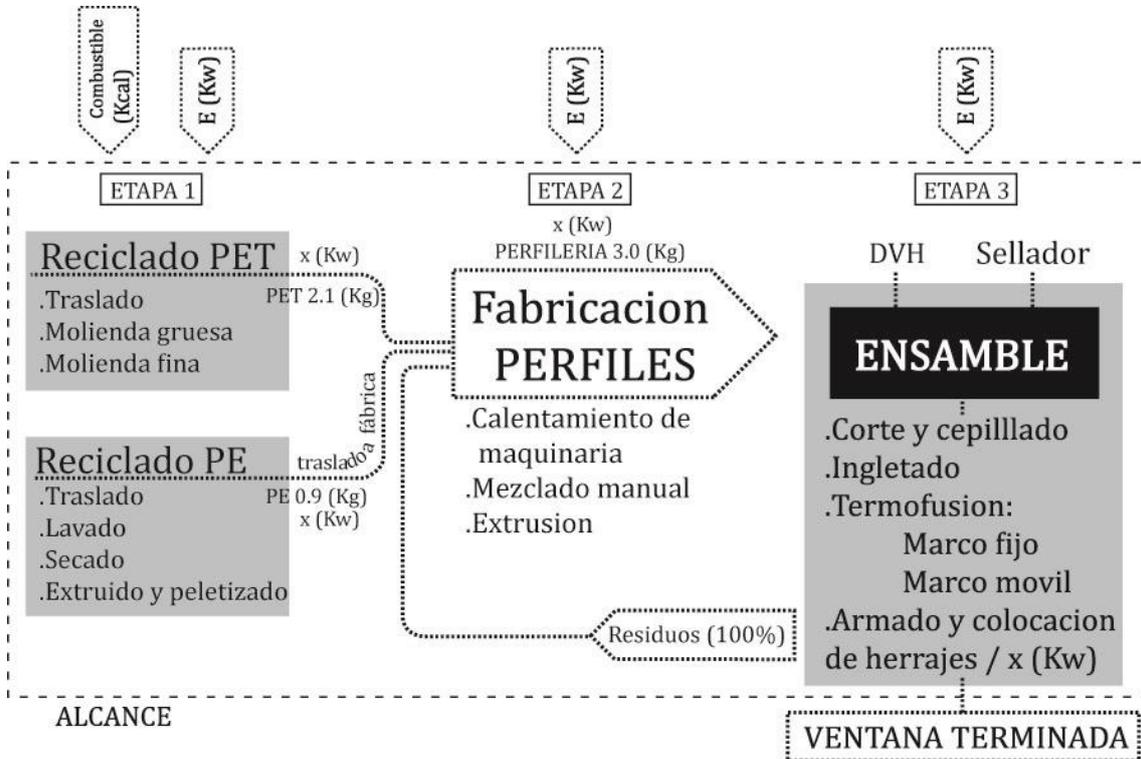


Figura 3. Análisis general de inventarios

En todos los casos la energía utilizada está compuesta principalmente por energía eléctrica de línea (EE) o combustible líquido de vehículos. En este último caso se realiza la conversión para igualar en unidades de KW/h.

La utilización de un DVH, en reemplazo al vidrio simple, se debe a la estrategia de mejoramiento de la conductividad térmica del componente como fue determinado en trabajos anteriores (Arena 2010). También por ser la forma más utilizada en las aberturas de similares prestaciones, el consumo energético de estos procesos es obtenido de datos bibliográficos. La energía de la producción del sellador será despreciada por su bajo impacto y también de los herrajes, por ser iguales a los demás casos con los que quiere realizarse la comparación.

### 7.3 CONSUMO ENERGETICO DE FABRICACION

En la primera etapa se encuentran los consumos energéticos derivados de la obtención del PE y PET. En el primer caso los datos surgen del análisis del proceso de reciclado en sus tres etapas, triturado del film plástico de silobolsas, secado posterior y extruido y pelletizado del material final. Los costos energéticos en las Tablas 1 y 2 respectivamente.

De esta forma podemos determinar que CAE de producción (CAE p) que tiene el material reciclado, en todo ese proceso.

Tabla 1. Consumo energético primera línea de producción de PE

Maquinaria	N°	Potencia (Hp)	Consumo (KWh)	Función
Molino	1	100	75	Triturado de films
Decantador de paletas	2	2	2	Limpieza con agua del
Decantador	3	2	2	triturado
Chimango	4	5	4	Forzado de circulación
Centrifuga 1	5	20	15	Secado
Centrifuga 2	6	20	15	Secado
Turbina 1	7	10	8	Circulación de aire
Turbina 2	8	10	8	Circulación de aire
Turbina 3	9	10	8	Circulación de aire
Resistencias	10	-	24	Calentamiento de aire
Agrupadora	11	75	56	Secado final
Turbina	12	3	2	Circulación de aire
Total		257	193	

Tabla 2. Consumo energético segunda línea de producción de PE

Maquinaria	N°	Potencia (Hp)	Consumo (KWh)	Función
Extrusora	1	60	45	Fusión del molido
Resistencias	2	-	27	Calentamiento
Forzador	3	3	2	Forzado de circulación
Central hidráulica	4	-	-	Acumulación de agua
Bomba de agua	5	2	2	Circulación de agua
Pelletizador	6	5	4	Cortado de pellets
Total		70	67	

El PE de "Silobolsa" es un producto de uso agrícola, este material proviene de las zonas rurales de un radio de hasta 250 km de la planta de procesado, por esto es esencial la inclusión del costo en transporte en el análisis. Tomando que el recorrido promedio es de 150 Km, en camiones de carga de hasta 20 toneladas y con perfiles de consumo de combustible de los modelos de camiones más utilizados, según datos de Argentina<sup>1</sup>. El consumo debido al

1 Informe extraído del Sistema de Información Online del Mercado Automotor Argentino de 2018: <http://www.siomaa.com/InformeSector/Reportes>

transporte puede calcularse en 48 l de combustible diésel en promedio. Entonces el costo energético aplicable a 1 Kg del material es el de 0.0024 l, por lo que el CAE en toda la obtención del material, corresponde a la siguiente expresión:

$$CAE(PE) = 0.0024 \text{ l/kg} * 38.43 \text{ MJ/l} + CAE_p = 0.092 \text{ MJ} + 0.935 \text{ Kwh}$$

Los valores en MJ del gasto de combustible, son valores directos. Sin embargo, el gasto energético en KW/h deberá transformarse en el costo en MJ del combustible en las turbinas de generación utilizadas para su producción, la cuales afecta un valor de eficiencia. Esto será determinado más adelante.

De la misma forma que con el PE, para la obtención del costo energético del PET se tomaron los datos de consumo de la maquinaria utilizada en su molienda. En este caso el proceso de molienda en dos pasos, requiere del consumo de dos molinos de 7.46 Kw/h para obtener 30 Kg del material en molienda gruesa y 20 Kg en una segunda molienda fina de 3 mm posterior.

El costo energético total que se obtiene entonces deberá sumar la energía proporcional para 1 Kg de material e incorporar además un agregado de transporte, de un radio de 10 Km para con lo cual el resultado final es el siguiente:

$$CAE(PET) = 0.000321/\text{Kg} * 38.43 \text{ MJ} + CAE_p = 0.0123 \text{ MJ} + 0.746 \text{ KWh}$$

#### *Extrusión de la perfilera de aberturas*

En la segunda etapa deberá sumarse al cálculo, la energía consumida en la extrusión de los perfiles. Como fue explicitado anteriormente, el mismo corresponde al consumo de nueve resistencias eléctricas en una primera etapa de precalentamiento de 0.5 h para una serie de fabricación de 8 perfiles. Y luego el consumo de las mismas, más el del motor propulsor de la extrusión durante el proceso de moldeado. Estas dos etapas representan los tiempos y consumos reflejados en la Tabla 3.

Tabla 3. Consumo energético extrusión de perfilera plástica por pieza producida

Maquinaria	N°	Tiempo (h)	Consumo (KW)	Consumo (KWh)	Función
Resistencias	1	0,063	5,4	0,34	Precalentamiento
Motor	2	0,075	2,2	0,16	Extrusión
Resistencias	3	0,075	5,4	0,40	Calentamiento en extrusión
Total				0.90	

De esta manera entonces impactará en el CAE, con lo analizado hasta aquí, la cantidad de material PET y PE utilizado, según los valores de la etapa anterior para 1,9 Kg de PET y 1,1 de

PE. Agregando el proporcional de los consumos derivados de esta segunda etapa, aplicable en a cada pieza de 1,5 m lineales de la serie de producción.

Como es 1,5 m el máximo tamaño producido con la técnica seleccionada, o al menos el máximo hasta este momento, luego se obtendrá un valor de CAE por metro lineal (ml) que podrá multiplicarse por los metros utilizados en la fabricación del prototipo de ventana.

Dependerá esto último del diseño realizado, del cual se desprenden algunas variables que se detallarán más adelante.

El total del valor de CAE por metro lineal se obtendrá de un valor de consumo energético, multiplicando el valor obtenido por un coeficiente de eficiencia. Debido esto a que, según los sistemas de producción de la energía, producir 1 kW/h en la red puede demandar distintos valores, siempre mayores, en energía primaria de producción. El cálculo de estos valores, impactados por un coeficiente en promedio para nuestro país, se detalla en la Tabla 4.

Tabla 4. CAE total por pieza extruida de la perfilería plástica para ventana prototipo

Origen	Cantidad (Kg)	Coeficiente de eficiencia	Consumo (KWh/Kg)	Consumo (Mj/Kg)	E primaria (Mj)
Producción PE	1,1	0,3839	0,935		9,6446
Producción PET	1,9	0,3839	0,746		13,2915
Transporte PE	1,1	1,0		0,0922	0,1014
Transporte PET	1,9	1,0		0,0123	0,0234
Extrusión perfiles	1	0.3839	0,900		8,4396
Total CAE PERFILERÍA (1,5 m)					31,5005

De esta manera obtenemos un valor final de CAE por piezas de perfilería extruida, que permite calcular el valor por metro lineal. El diseño del prototipo utilizado corresponde al modelo para viviendas más utilizado en el mercado en la actualidad, y que por esto fue tomado de casos en la bibliografía, ver Figura 4.

En ese sentido es importante analizar que los modelos de ventanas de distinto diseño, tipo y origen, tiene un impacto diverso en el CAE que podrá tener su procesos.

Considerando que en las tecnologías de construcción de hábitat popular, esto es un aspecto central, deberá ser tenido en cuenta. Como ya fue destacado en el capítulo 6, un diseño modular de aberturas y de fabricación sencilla, puede reducir su costo notablemente. En este caso un sistema de perfilería continua tiene un impacto en su CAE, que podrá compararse con sistemas de fabricación distintos.

Según la perspectiva del autor, hasta aquí lo analizado demuestra la eficiencia del proceso de producción de perfilería sencillo, por extrusión/inyección desarrollado.

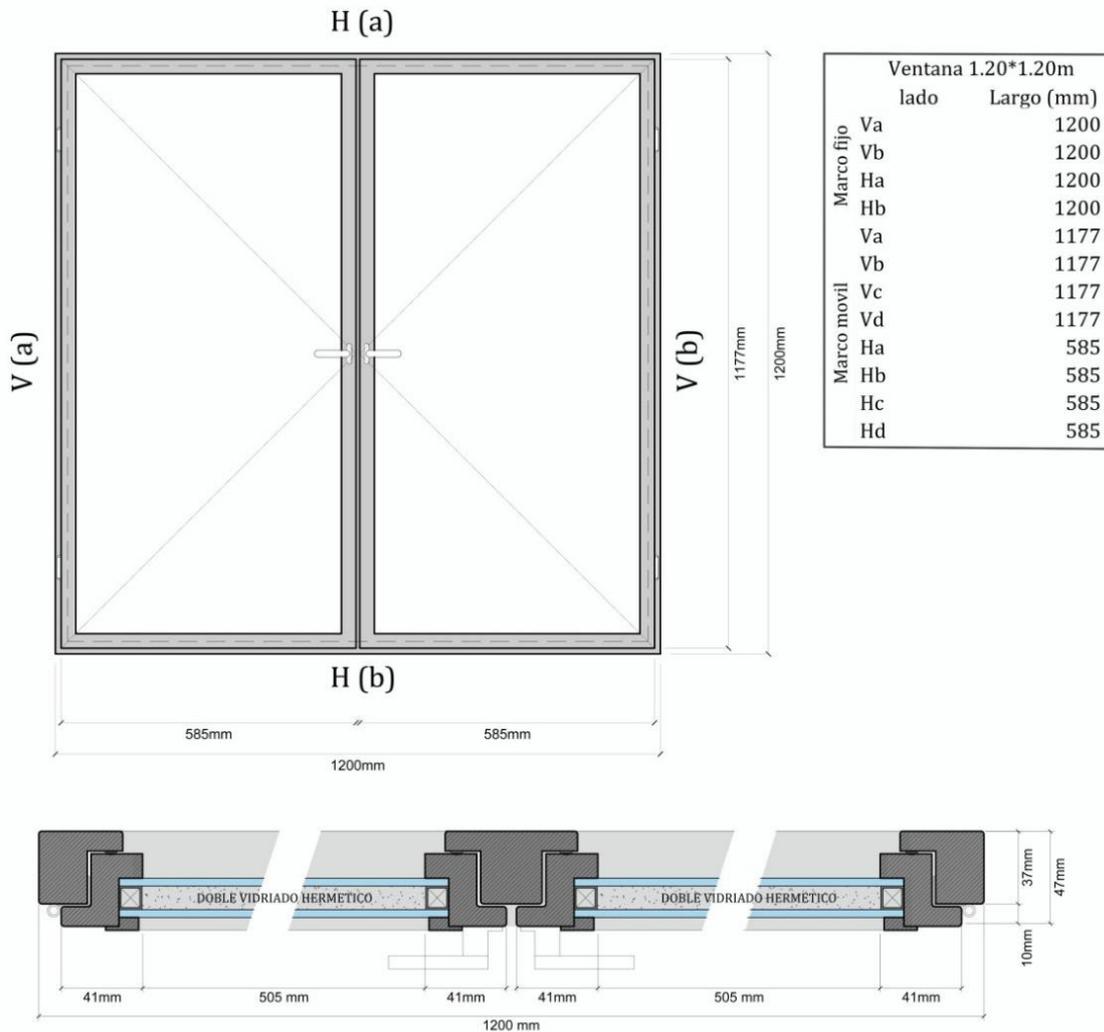


Figura 4. Unidad funcional componente de ventana prototipo utilizado

Considerando entonces los metros de perfilería utilizados la segunda etapa totaliza, para la producción de este modelo de ventana y según los costos unitarios ya obtenidos lo siguiente:

$$CAE = 21,00 \text{ Mj/m} (31,5005 \text{ Mj}/1,5 \text{ m}) * 11.85\text{m} = 248,85\text{Mj}$$

En la última etapa entonces solo resta agregar los valores de consumo energético que surgen de las máquinas eléctricas utilizadas para el corte e ingletado, además de la fusión térmica de las uniones entre perfiles también de consumo eléctrico. Se sumará el valor de producción del vidrio y fabricación del DVH.

Los consumos de las maquinarias utilizadas para estas funciones y los tiempos requeridos en las uniones de la abertura, resultan en un total de energía primaria de 5,16 Mj para todo el componente. Y el valor utilizado de costo energético de la producción del vidrio y fabricación

del DVH corresponde al analizado por Arena (2010) en donde para una unidad funcional igual a la del presente análisis se obtuvo un valor general de 205,48 MJ.

Así es que arribamos finalmente a un valor total de producción de la unidad funcional completa de CAE = 459,49 MJ. Este valor incluye la producción completa de la abertura desde la obtención del material reciclado, hasta su armado final para ser instalada.

#### 7.4 ANALISIS DE DATOS

Comparativamente a otros componentes similares, podemos mostrar que el valor obtenido es relativamente menor al de ventanas de madera producidas tradicionalmente. En ese caso según analizó Llorente (Llorente Diaz 2011) el valor total para una unidad funcional como la estudiada es:

$$CAE = 606,12MJ + 1854,43MJ = 2460,55MJ$$

Es un valor un 31% mayor al obtenido para los perfiles plásticos, comparando las etapas de fabricación. De todas formas en el análisis de CAE total, han sido incluidos los valores necesarios durante el Uso y mantenimiento, que corresponden a un 89% de todo el proceso en el caso de la madera. Esto inclinaría el análisis hacia los perfiles plásticos de mantenimiento muy bajo, ver en Figura 5.

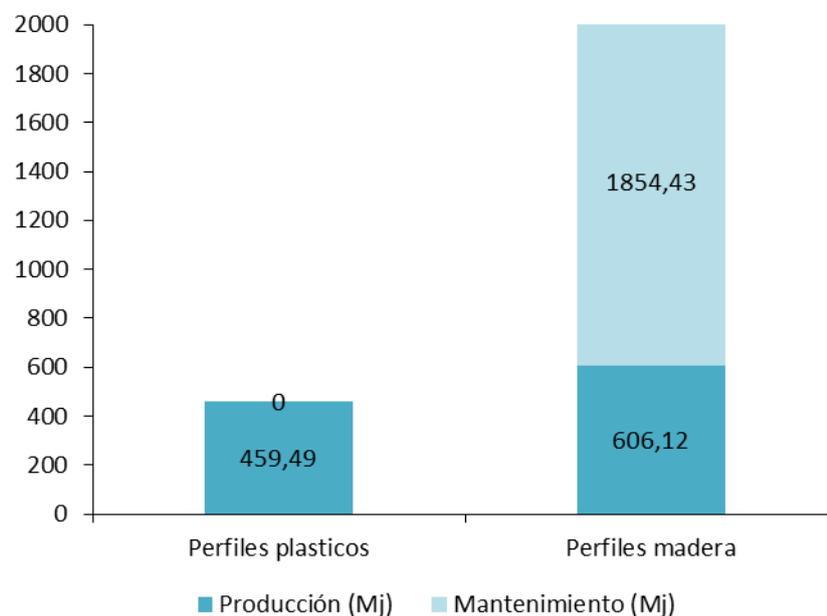


Figura 5. Comparación de CAE con ventanas de madera

Este valor de CAE de fabricación de ventanas de madera, que podría tomarse como una referencia aproximada a nuestro caso, deviene del gasto energético eléctrico de la producción y la conversión a energía eléctrica del combustible fósil utilizado. La diferencia radica en que

este último, tiene un gran impacto en las primeras etapas de aserrado de la madera, mientras que en nuestro proceso solo impacta en el transporte de los residuos en su reciclado de los centros de acopio a la planta de producción.

Como es estudiado en forma general para materiales, la obtención de una unidad de material ( $1\text{m}^3$ ) puede compararse en el mismo contexto, para determinar si algún material tiene en su proceso de obtención mayores costos ambientales que otros, sean estos de cualquier tipo. En ese sentido es que la madera es de las de menor huella ecológica, siendo inferior al plástico levemente y por mucho a los metales más comúnmente utilizados.

También debe considerarse que en el caso de ventanas de madera una gran ventaja ambiental radica en la categoría de producción de  $\text{CO}_2$ , que resulta en valores negativos de emisiones. Esto debido a que la fabricación, no llega a igualar la absorción de  $\text{CO}_2$  que realizan las especies plantadas durante su desarrollo. En el caso de los polímeros, esta ventaja no existe.

El ensayo de envejecimiento acelerado de los perfiles por acción de los rayos ultravioleta aún no ha sido realizado. Tampoco se incorpora en el análisis el gasto de calefacción y refrigeración del ambiente, debido a la conducción de temperatura a través de la ventana.

Los resultados de este ensayo serán determinantes para establecer si es necesaria la incorporación de aditivos, o el recubrimiento con pinturas, para aumentar la resistencia a la intemperie de estos componentes. Así como también si el coeficiente K de la ventana implica un gasto mayor en energía de acondicionamiento climático del ambiente u otros gastos de mantenimiento de la unidad, que deberán ser incluidos en este análisis.

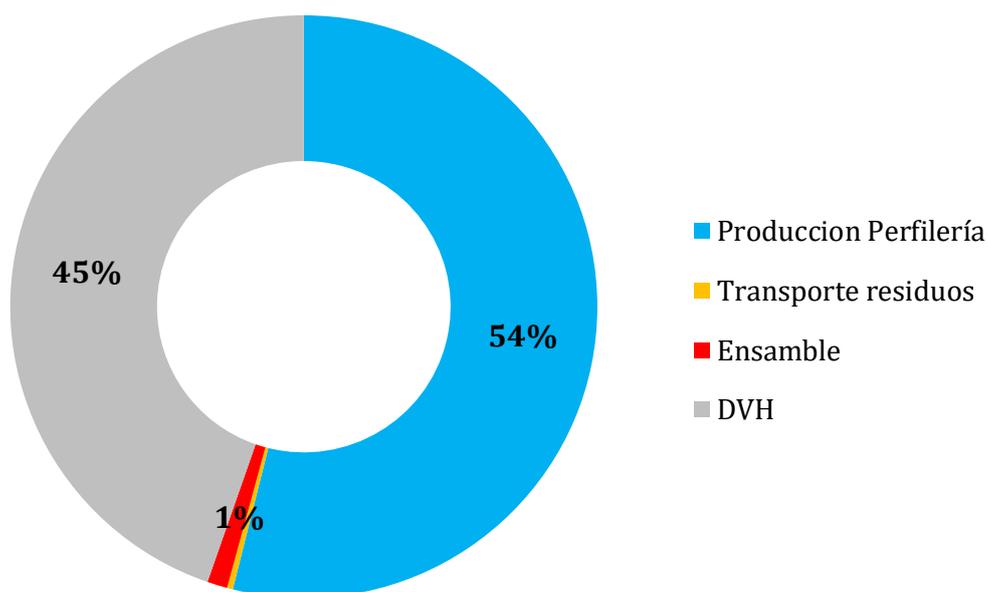


Figura 6. Composición del total de CAE (Mj) del proceso productivo completo de la producción del modelo de ventana propuesto

## 7.5 CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un primer cálculo de CAE, de una ventana innovadora elaborada con plásticos reciclados, que brinda valores interesantes de desempeño. En ese proceso se evidencia que el mayor costo del proceso es de energía eléctrica, aplicada a la extrusión a alta temperatura para la fabricación de los perfiles.

El Análisis de Ciclo de Vida limitado a la fase de fabricación (de la cuna a la puerta) arroja valores prácticamente equivalentes a los de una ventana similar construida en madera. Debido a la no inclusión la etapa de *Uso y mantenimiento*, parecen valores muy prometedores, ya que se espera obtener mejores resultados en un futuro análisis debido al bajo mantenimiento de los perfiles plásticos.

Tratándose de un prototipo, es esperable un amplio margen de mejora por economías de escala en caso de pasar a una etapa comercial. Aplicando también procesos productivos de mayor eficiencia en las etapas de mayor costo energético, molienda de los desechos y extrusión de piezas.

Por otra parte, ampliando los límites hasta incluir la fase de uso y la vida útil de ambas, las ventajas de una ventana de plástico que no requiere mantenimiento se harían evidentes.

## BIBLIOGRAFIA

- Arena, Alejandro Pablo. 2010. "Análisis Del Ciclo de Vida Del Edificio y Sustentabilidad Ambiental de Los Edificios. Experiencias En Argentina." *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable*. 1–27. *Argentina*.
- ISO. 2000. International Standard Organization. *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Examples of Application of ISO 14041 to Goal and Scope Definition and Inventory Analysis*
- ISO. 2015. International Standard Organization, 14001. Sistema de gestión ambiental.
- Llorente Díaz, Marta. 2011. "Análisis Del Ciclo de Vida de Ventanas de Madera." Universidad Politécnica de Madrid.
- Martínez-Rocamora Alejandro, Solís-Guzmán Jaime y Marrero Madelyn. 2016. "LCA Databases Focused on Construction Materials: A Review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 58:565–73.
- Puig, Rita y Molins Grant. 2010. "Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Herramienta de Gestión Ambiental." *Master En Energía Para El Desarrollo Sostenible. Módulo 9. Evaluación de Impacto y Gestión Económica* 4.
- S.E.T.A.C. 2014. "Society of Environmental Toxicology and Chemistry." *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition* 318–19. Retrieved (<https://www.setac.org/page/History>).
- Säynäjoki, Antti, Jukka Heinonen, Seppo Junnila y Horvath Arpad. 2017. "Can Life-Cycle Assessment Produce Reliable Policy Guidelines in the Building Sector?" *Environmental Research Letters* 12(1):013001.
- Tarantini, Mario, Dominici Arianna y Luigi Porta Pier. 2011. "A Life Cycle Approach to Green Public Procurement of Building Materials and Elements: A Case Study on Windows." *Energy* 36(5):2473–82.

## 8. Conclusiones



## 8.1 CONCLUSIONES

Como finalización del trabajo de tesis, intentamos aproximar conclusiones que pudieron extraerse del trabajo con este tipo de material compuesto y su aplicación en aberturas. Pero también realizar una puntualización resumida, sobre los aspectos agregados al análisis desde la visión de las tecnologías sociales y la visión de la tecnología tradicional de carpintería.

- En el análisis de antecedentes y el marco teórico en Capítulos 1-2, pudo comprobarse la pertinencia de este tipo de desarrollos al contexto actual, de mayor producción de residuos, pero con proyecciones futuras que indican un aumento aún mayor. Además, analizando en antecedentes de la especialidad, en los materiales compuesto de polímeros plásticos de RSU, se aportan soluciones viables a necesidades de materiales de ingeniería y con buenas propiedades.
- Desde el punto de vista del desarrollo del Material Compuesto (MC) puedo alcanzarse una formulación de polímeros PET/PEBD y PEAD de buenas propiedades de resistencia mecánica, comportamiento a compresión, flexión y tracción suficientes, incluso en aplicaciones de materiales portantes. Un aspecto crucial en este tipo de materiales de polímeros plástico, el comportamiento al fuego, fue verificado ya que la formulación desarrollada, luego del análisis vertido en el capítulo 4, pudo verificar con categoría V0, la de valor más alto. Finalmente, la formulación optima resulto la F6 65/35 y que, con el agregado de aditivos ignífugos, en el capítulo correspondiente es nombrada como Fi12.
- Desde el punto de vista de la conductividad térmica, el material demuestra un comportamiento constante alrededor de los  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Esto lo coloca como un material de buen desempeño, pero variable por la presencia de vacíos en la matriz de fabricación. Para intentar controlar esta variación, la incorporación de aditivos espumantes podría ser considerada, lo cual presumiblemente podría disminuir la variabilidad y reducir la conductividad térmica de la misma forma. Los efectos de este aditivo en las propiedades de moldeo de las piezas, deberá ser estudiado.
- La tecnología de fabricación desarrollada, extrusión simple con incorporación de un molde guía, funciona correctamente y produce piezas de buenas terminaciones. Es en este aspecto esencial, pensar en la capacidad de plastificación de la maquinaria utilizada, que permitirá mayor velocidad de trabajo y en consecuencia una reducción de la temperatura de extrusión, reduciendo las posibles degradaciones de los

polímeros que pudieran ocurrir en el proceso. Y también en el correcto diseño del molde y la pieza interna móvil que soporta la presión de moldeo durante el proceso, ya que esta debe ser la mayor posible.

- La degradación frente a la acción de rayos solares (UV), que no ha sido estudiada, merece una especial atención. Ya que será necesaria en una proyección de desarrollo de la tecnología como un sistema productivo a mayor escala. Si bien este efecto, de producirse, puede mitigarse con el agregado de aditivos, estos son de especial impacto en el costo energético (CAE) del proceso. Ya que su producción implica grandes gastos de energía eléctrica.
- En el análisis de ciclo de vida ACV, creemos que radica la principal ventaja y aporte del sistema, combinando un proceso de utilización de residuos fácilmente disponibles y que reduce el CAE de una tecnología de fabricación de ventanas tradicionales. Pero agregando además un trabajo de carpintería, que en este momento se encuentra en franco descenso, y permite la valorización e incorporación como tecnología social (TS) de las capacidades de trabajo y creativas de ese sector.

## **8.2 LINEAS DE INVESTIGACION FUTURAS**

- *Materiales compuestos*

El desarrollo muestra la viabilidad de estas mezclas poliméricas, si bien podrá ahondarse en el diseño de otras. Como el agregado de PP, EVA o PE de diferentes orígenes. Un especial espacio de investigación, está reservado para la incorporación de fibras naturales de celulosa, de madera, residuos de producción agrícola de distinto tipo u otras, que podrían mejorar el comportamiento del material disminuyendo la fragilidad y minimizando el pandeo térmico de las piezas.

- *Sistema de moldeo*

El diseño de molde y de proceso aplicado a la producción de perfilera para aberturas, podría aplicarse a todo tipo de piezas, para revestimiento o incluso portantes ya que reviste de una gran versatilidad. Se podría ampliar a piezas de mayores dimensiones sin cambios sustanciales en la maquinaria requerida.

- *Tecnología social (TS)*

Se ha avanzado en un primer paso para la generación de una tecnología social, que demuestra potencialidades de aplicación. Una producción de mayor escala es necesaria, con un grupo de trabajo que este dedicado a la temática o similares, para evaluación de su aplicabilidad real, versatilidad, flexibilidad de diseño, diseño de proceso productivo, entre otros.

Es necesario comenzar con una segunda etapa de evaluación de la viabilidad de aplicación de la tecnología en un espacio productivo.

- *Fabricación de aberturas en TS*

Es un espacio de investigación amplio, en el cual se podrían encontrar nuevas lógicas de fabricación y desarrollo, con una mirada de tecnologías sencillas y la visión de las TS. Aplicando otros materiales o procesos, algunas preguntas de investigación que podrían habilitar nuevos avances son; ¿Con que otras propiedades el agregado de fibras vegetales o aditivos en la mezcla plástica para aberturas, podría beneficiarse y mejorar su desempeño? ¿Son aplicables otros materiales a la fabricación de aberturas como una TS? ¿Con que tecnología podrían fabricarse aberturas de madera compensada, con maderas blandas producidas en Argentina? ¿Qué propiedades podrían tener estas, frente a las que encontramos en la actualidad? ¿Un mayor costo energético, se compensaría con la huella de carbono negativa que incorporaría la madera en este proceso?



## 9. Anexo fotográfico

## IMÁGENES DE DESARROLLOS Y PRUEBAS REALIZADOS DURANTE EL TRABAJO DE TESIS



Figura 1. Filmación para análisis de ensayos en prensa universal, compresión en probetas cúbicas

Mediante la filmación en video de los ensayos realizados, pudieron determinarse los factores analizados en el trabajo de tesis, sobre el comportamiento mecánico de los materiales. En la Figura 2 puede verse el funcionamiento, mediante el rastreo (tracking) de dos puntos en el espacio, que se identifican con el color blanco/negro. Se determina así en cada imagen de video, la posición de la parte móvil de la prensa y como referencia una marca fija, de esta manera puede determinarse la deformación de las piezas. Así obtener los gráficos de tensión/deformación para cada caso.

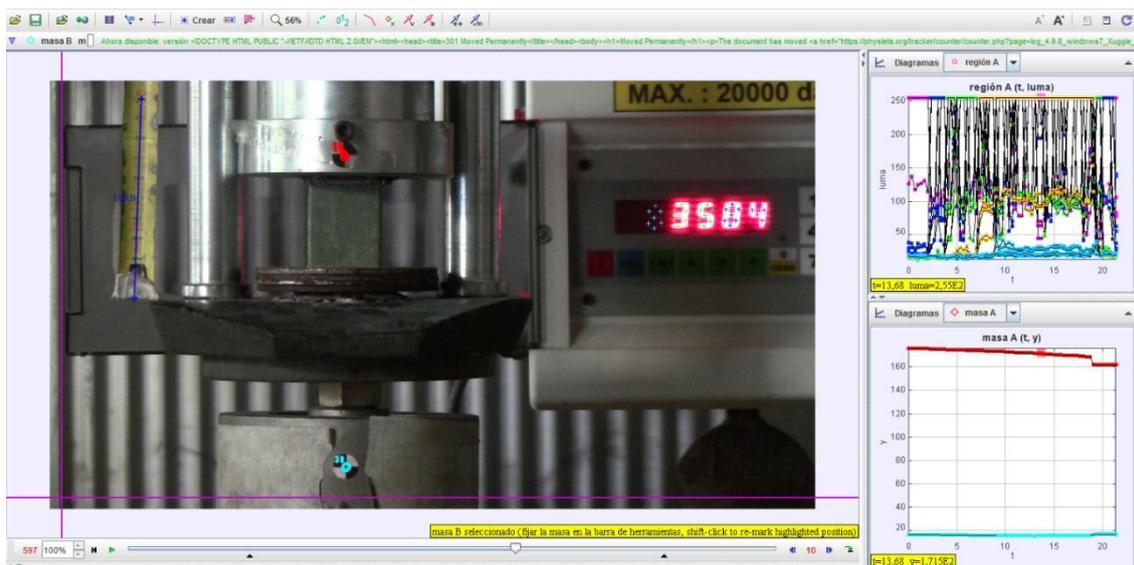


Figura 2. Análisis de tensión/deformación por software Tracker mediante videos del ensayo



Figura 3. Probetas cilíndricas para ensayos a compresión varias



Figura 4. Detalle de probetas cilíndricas para ensayos a compresión varias

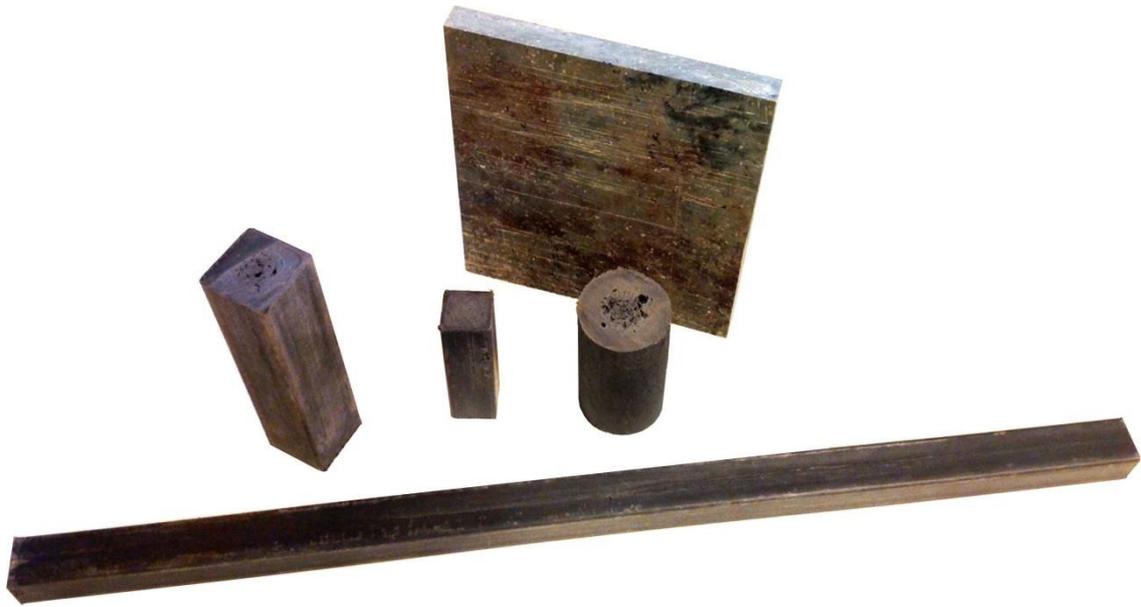


Figura 5. Probetas variadas fabricadas con la formulación óptima seleccionada



Figura 6. Placas para ensayo de conductividad térmica tipo 300 x 300 x 20 mm



Figura 7. Probetas cúbicas de diversas formulaciones ensayadas perpendiculares a las fibras

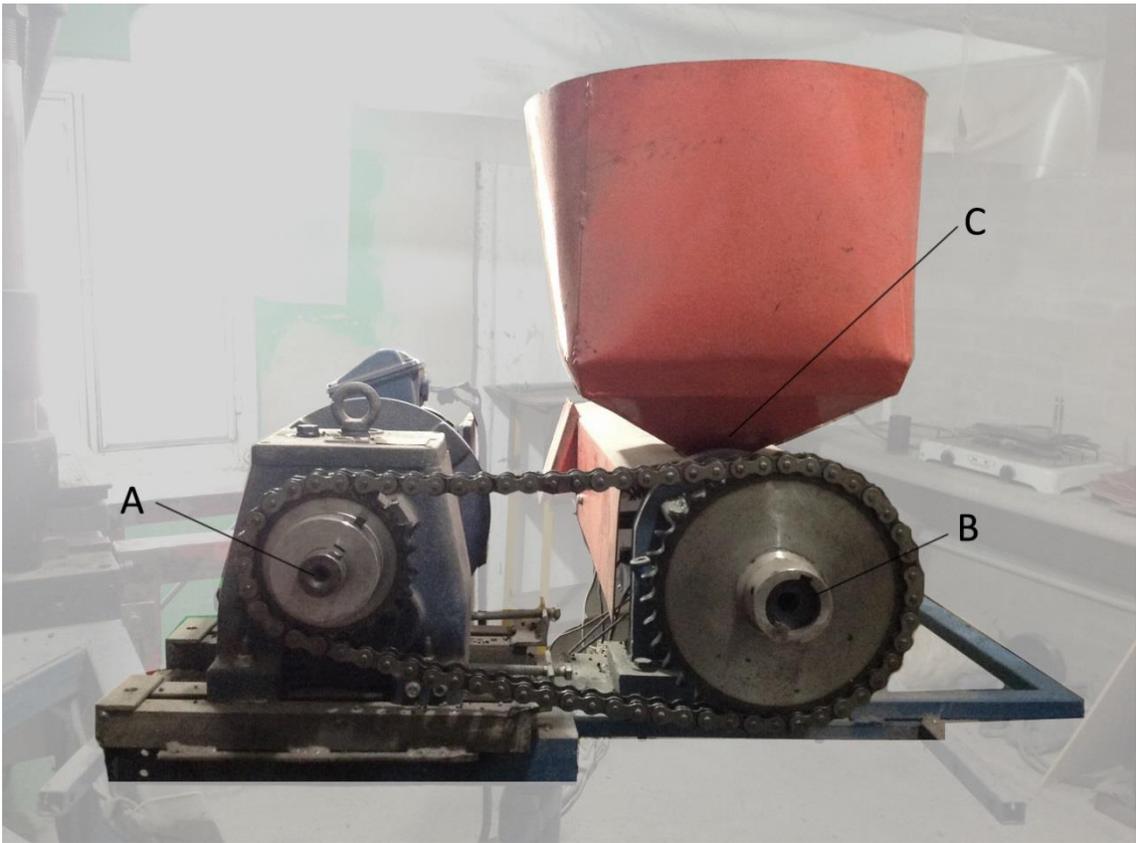


Figura 8. Extrusora utilizada durante el desarrollo de la tesis; Polea de motor (A), Polea de husillo de extrusión (B), Boca de alimentación (C)

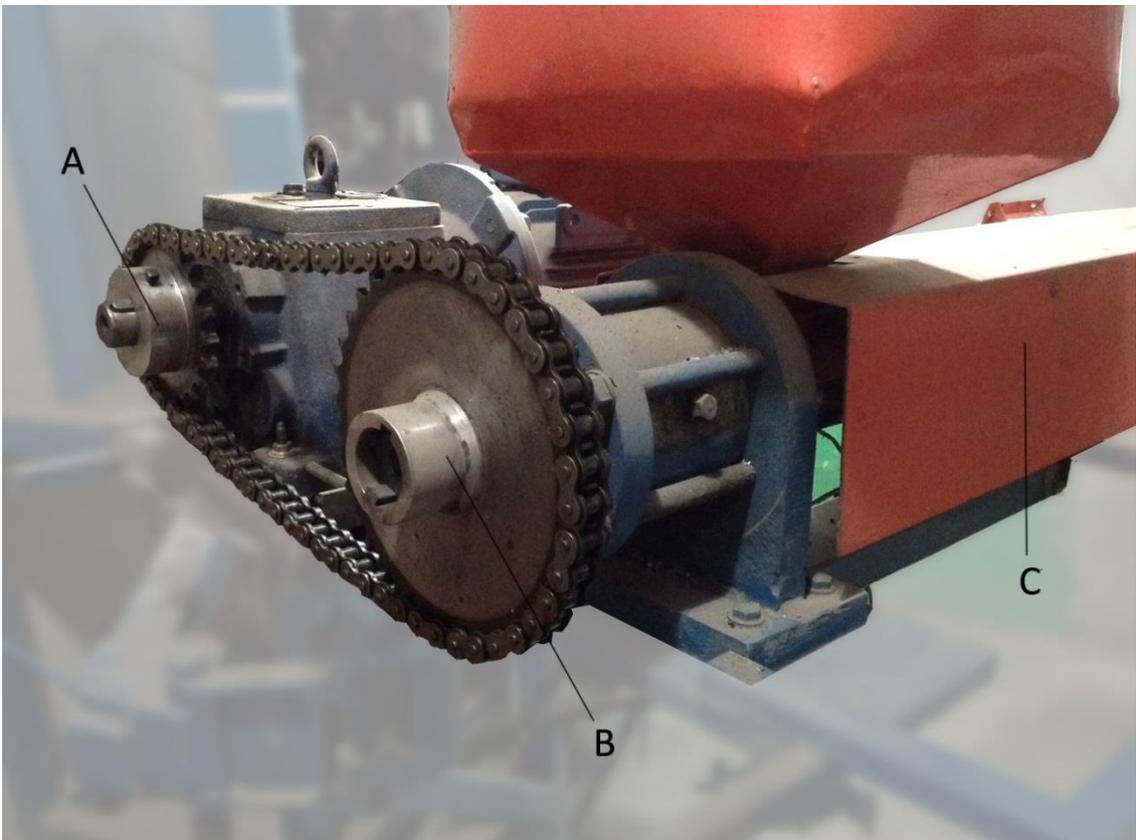


Figura 9. Extrusora detalle de; Polea de motor (A), Polea de husillo de extrusión (B), Camisa de extrusión bajo su cubierta (C)

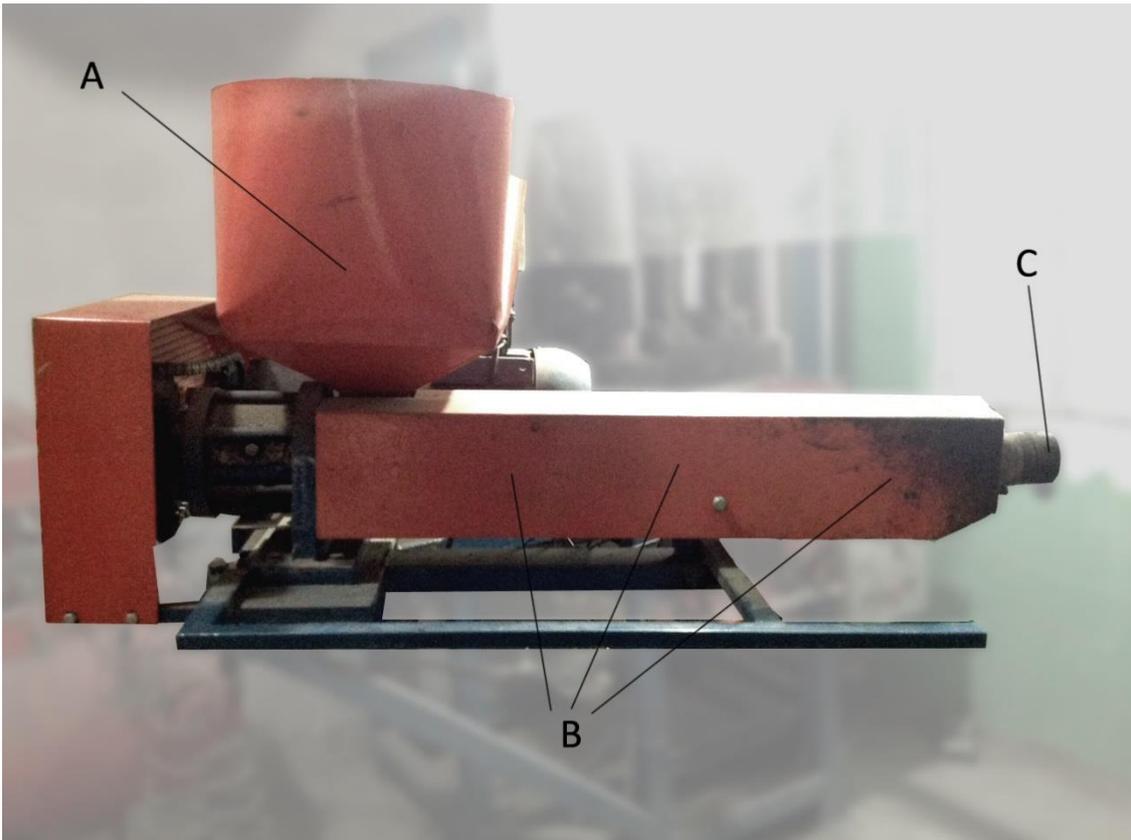


Figura 10. Extrusora detalle de; Boca de alimentación (A), Camisa de extrusión con tres zonas de calentamiento (B), Boca de extrusión (C)

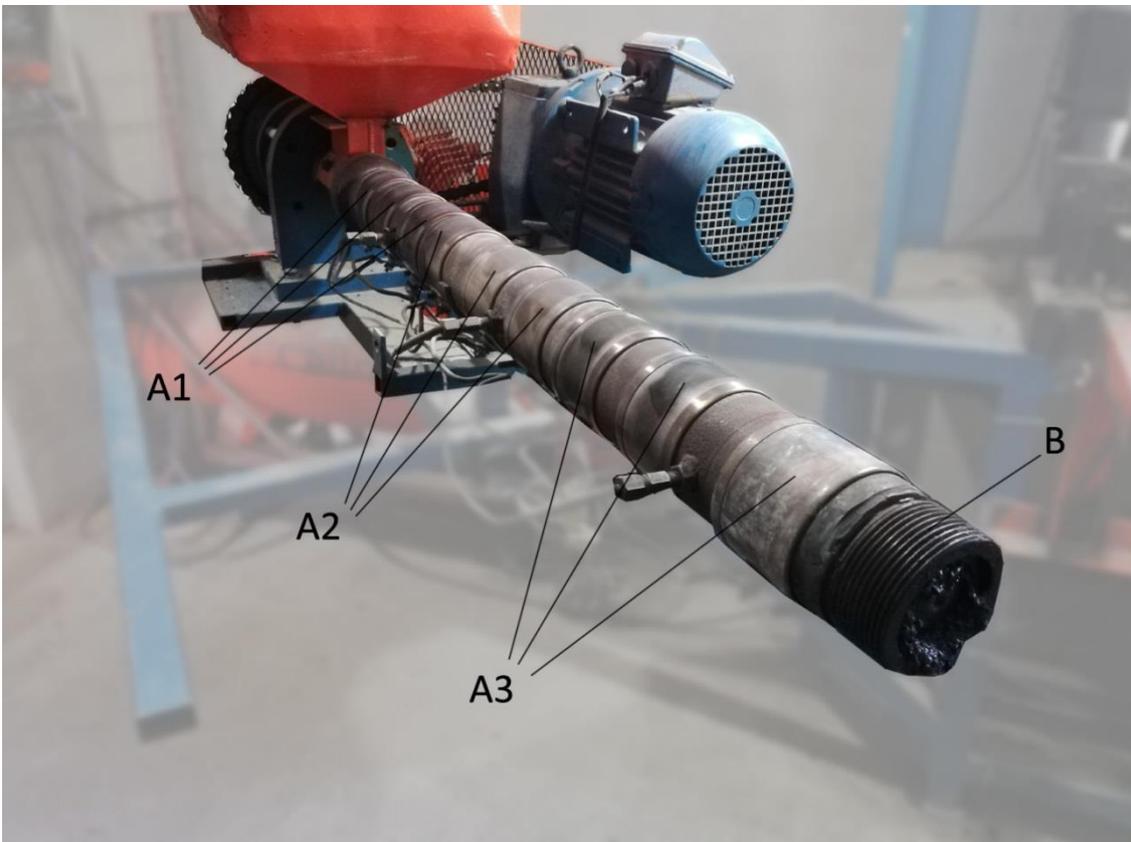


Figura 11. Extrusora detalle de; Tres zonas de calentamiento con tres resistencias eléctricas (A1, A2 y A3), Boca de extrusión con fijación a rosca



Figura 12. Primer molde de chapa para extrusión/inyección



Figura 13. Molde de chapa para extrusión/inyección diseño final (Numero 3)



Figura 14. Detalle conexión de molde de chapa para extrusión/inyección diseño final (Numero 3)

IMÁGENES DE MICROSCOPIA SEM DE LA SUPERFICIE INTERNA DE PIEZAS ENSAYADAS

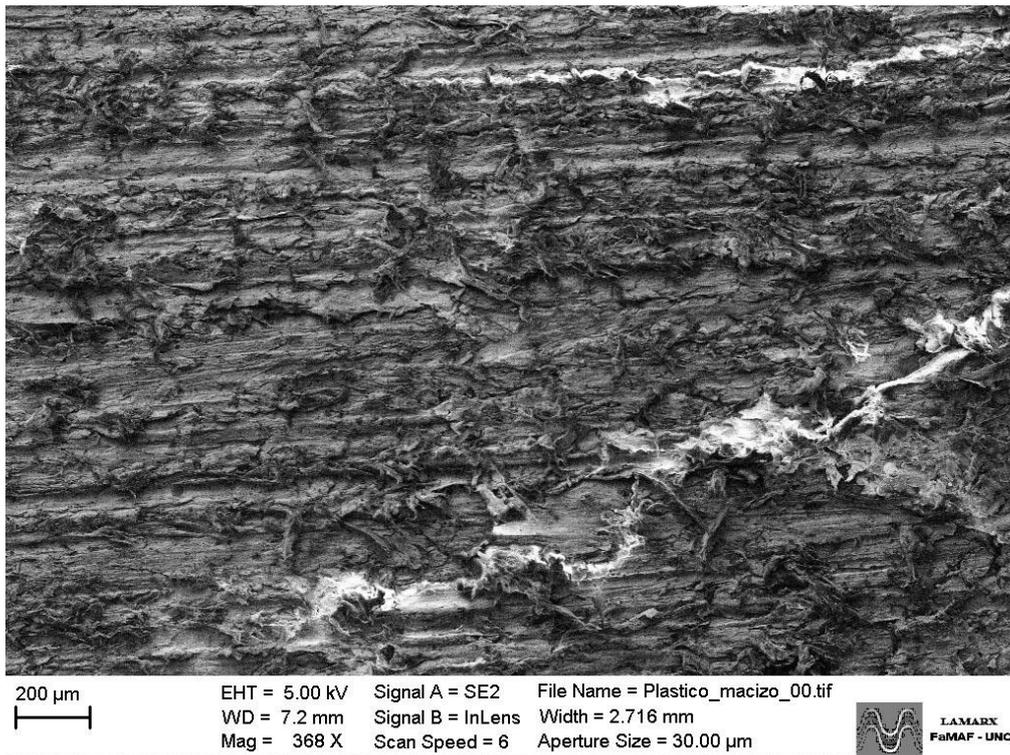


Figura 15. Sección interna del material en probetas ensayadas

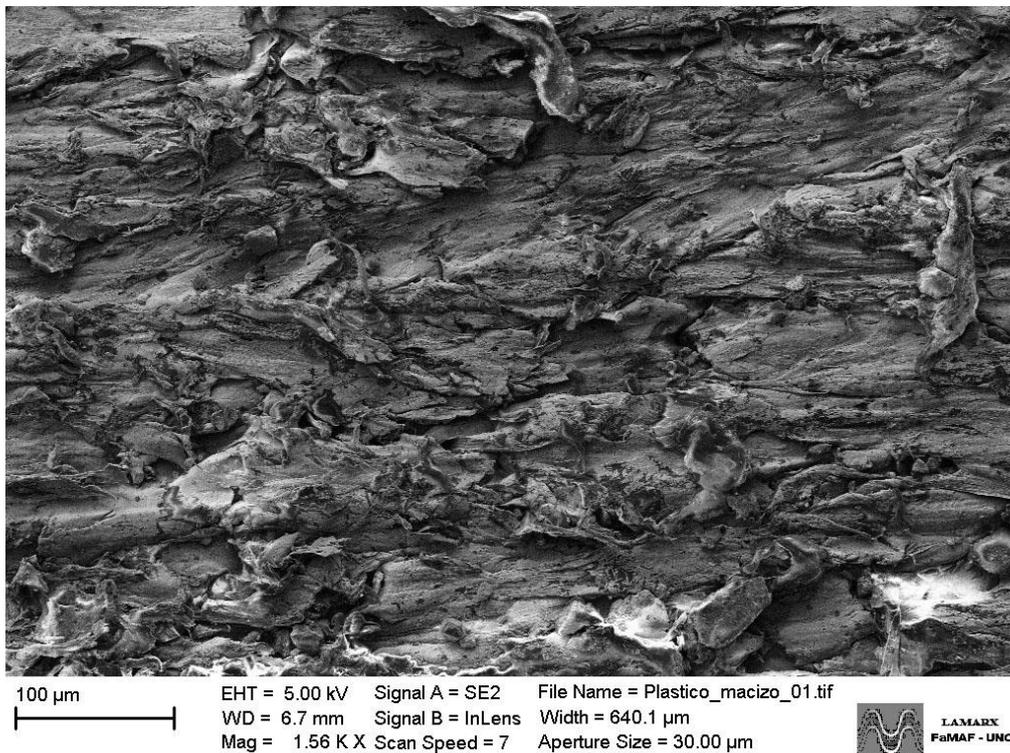


Figura 16. Sección interna del material en probetas ensayadas

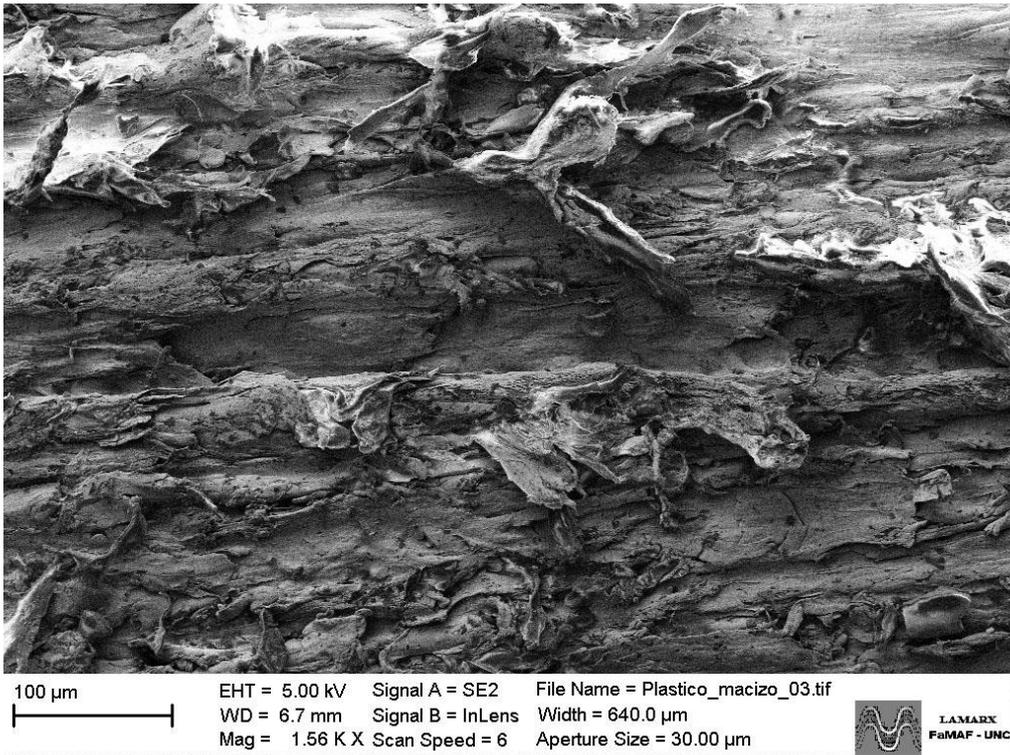


Figura 17. Sección interna del material en probetas ensayadas

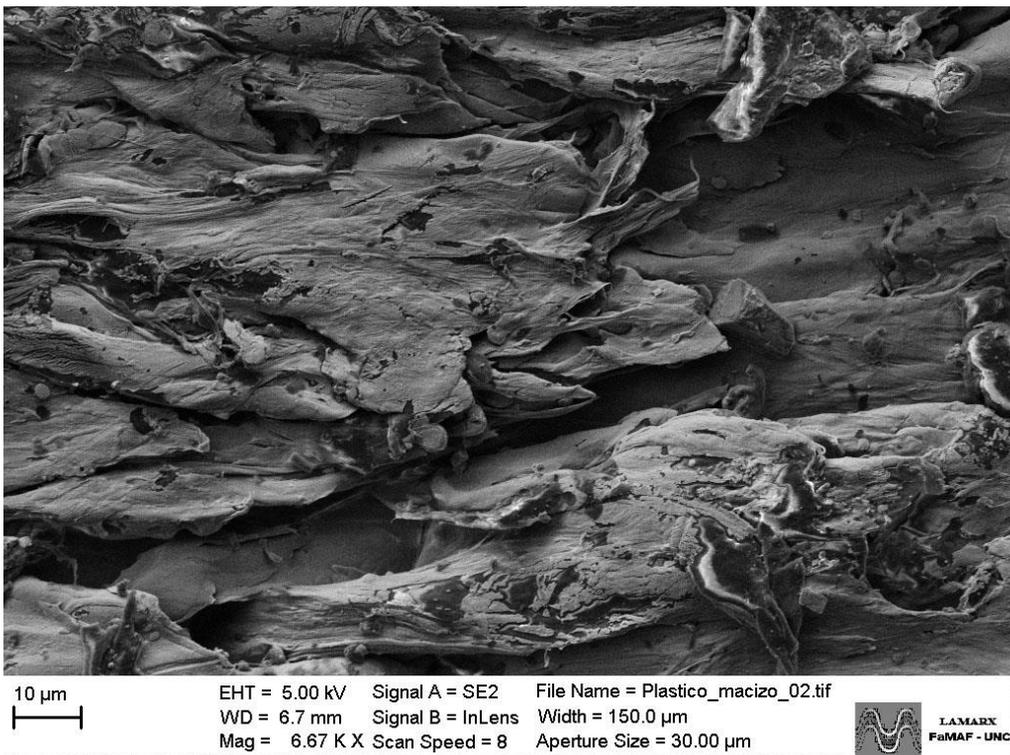


Figura 18. Sección interna del material en probetas ensayadas

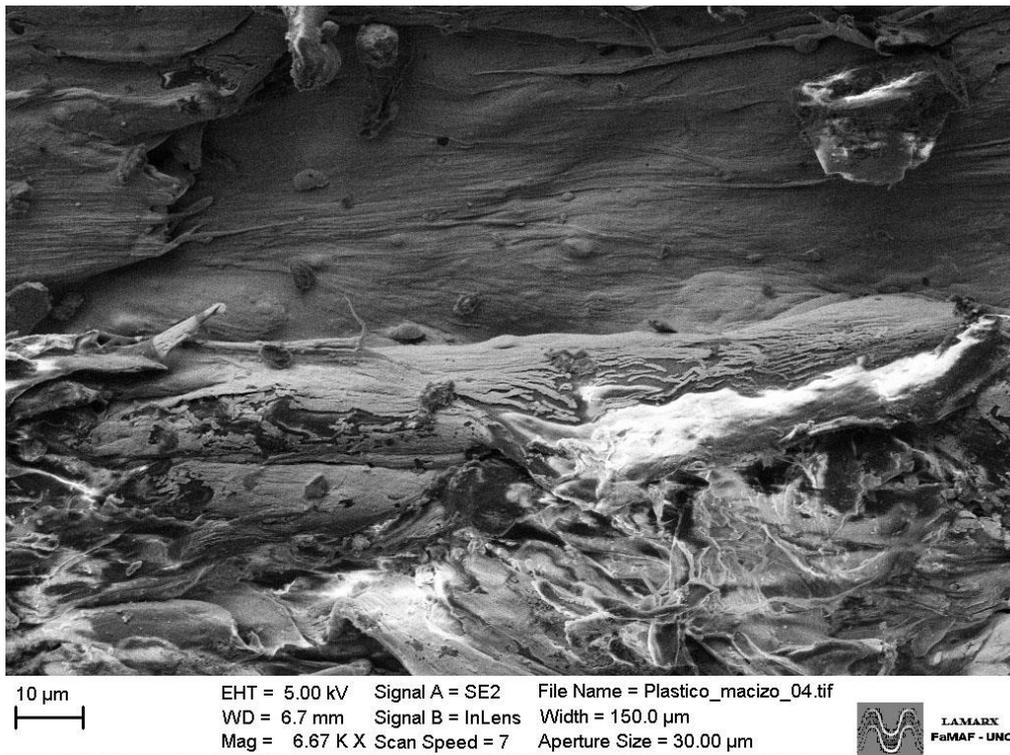


Figura 19. Sección interna del material en probetas ensayadas

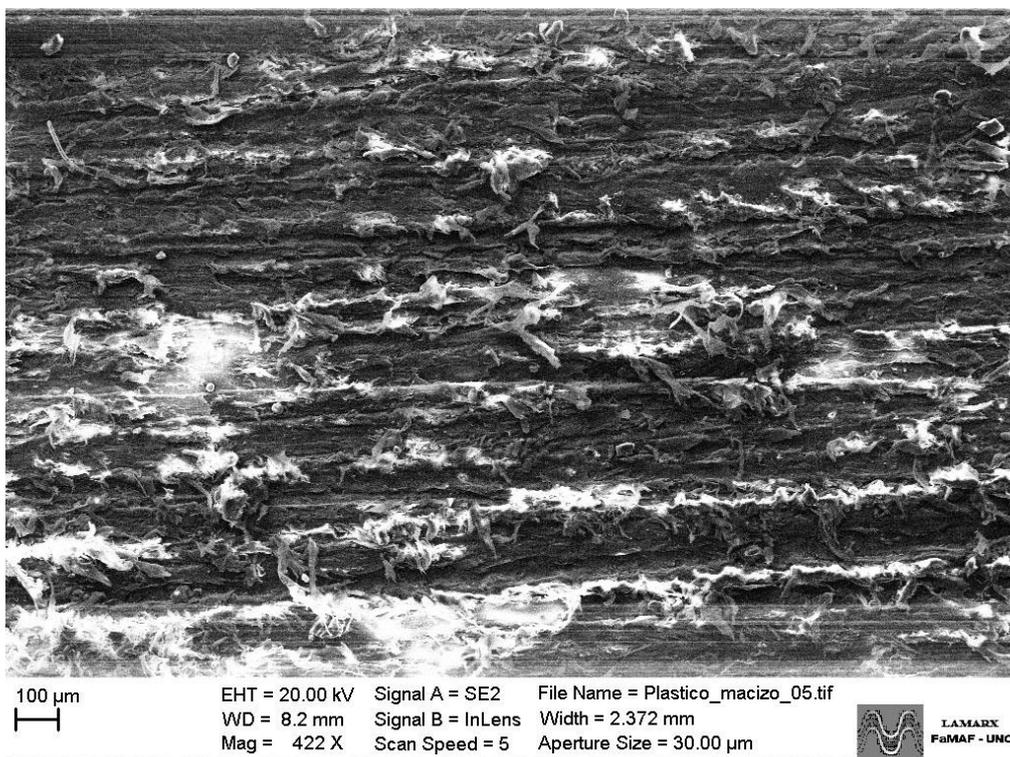


Figura 20. Sección interna del material en probetas ensayadas

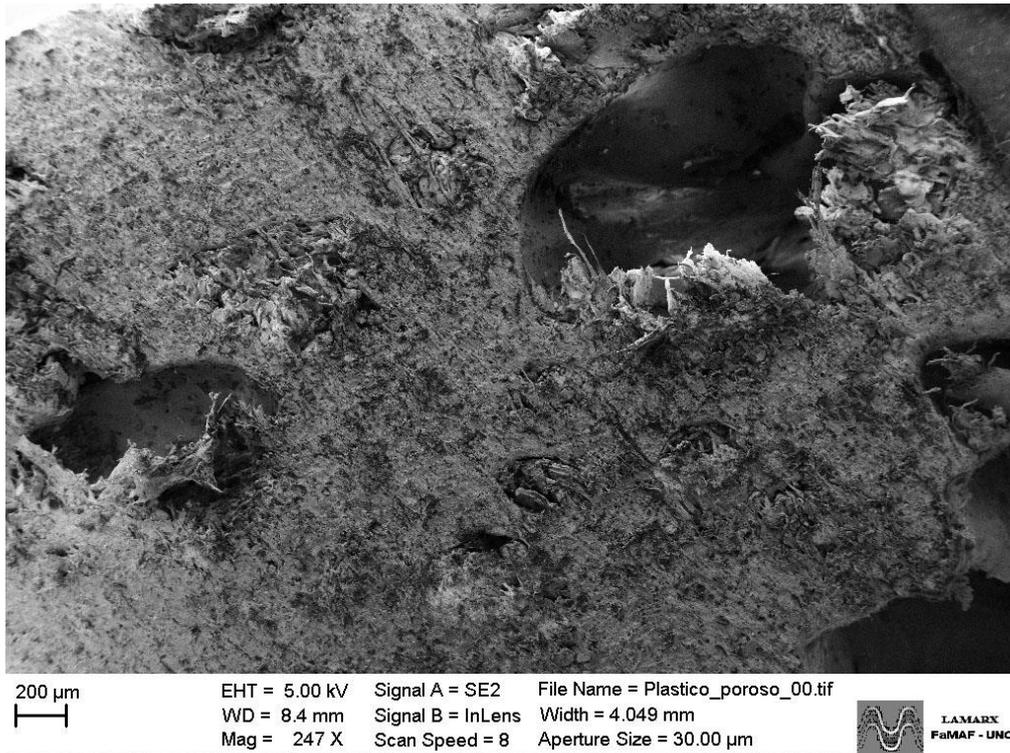


Figura 21. Sección interna del material en probetas ensayadas.

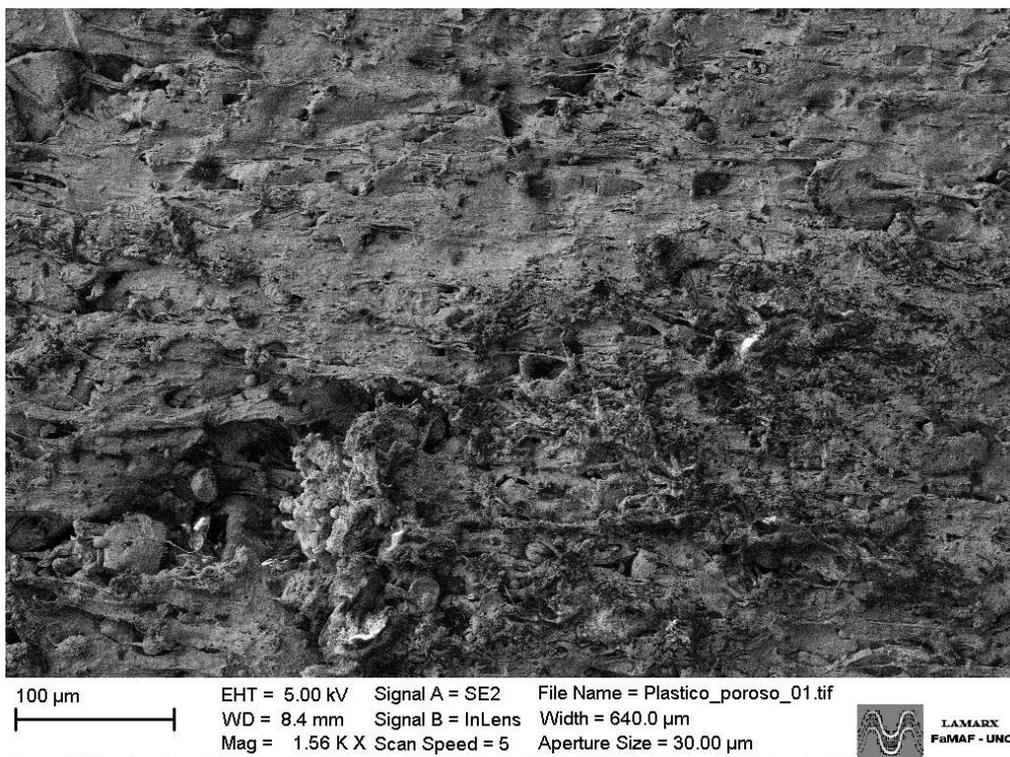


Figura 22. Sección interna del material en probetas ensayadas.

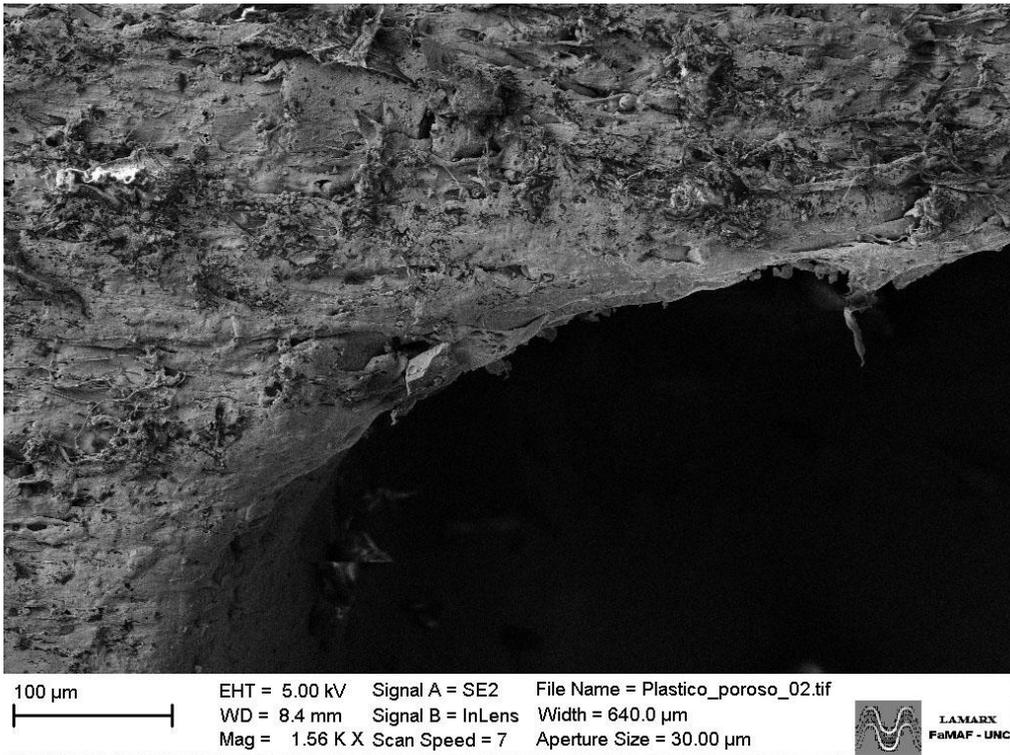


Figura 23. Sección interna del material en probetas ensayadas.

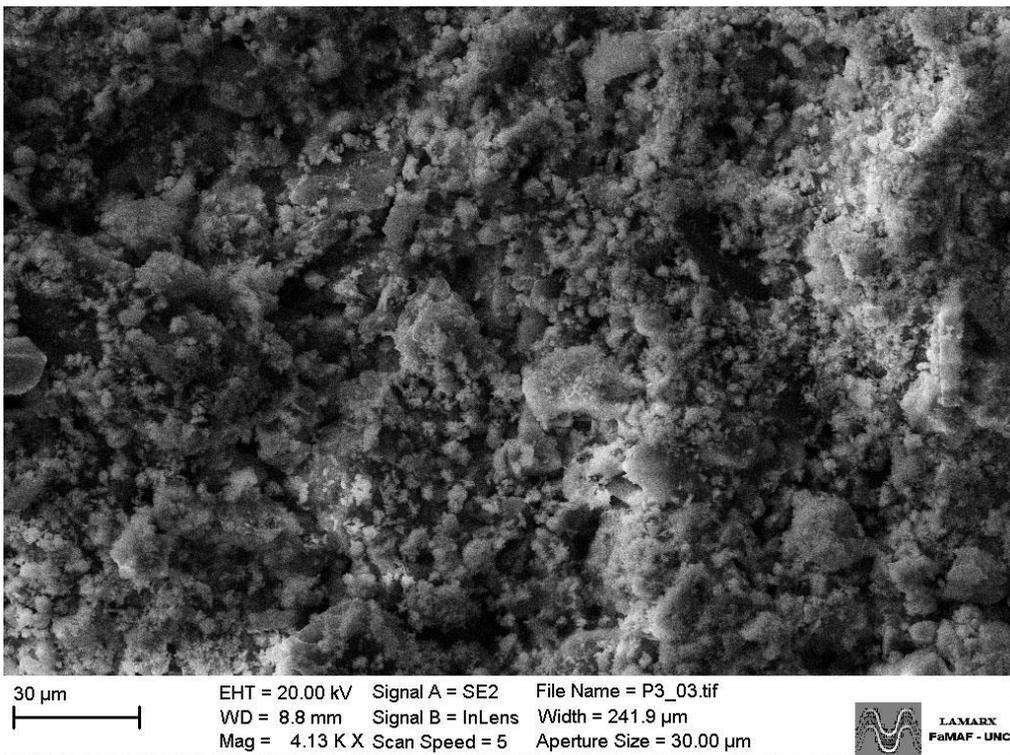


Figura 24. Sección interna del material en probetas ensayadas.

