



Universidad Nacional Autónoma de México

Maestría y Doctorado en Arquitectura

Campo de conocimiento: Tecnología

REAPROVECHAMIENTO DEL PLÁSTICO EN ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS

PET Reciclado para la Obtención de Elementos Modulares Plásticos

TESIS

Que para optar por el grado de:

MAESTRO EN ARQUITECTURA

Campo de conocimiento: Tecnología

Presenta:

RODRIGO RAFAEL PÉREZ GONZÁLEZ

DIRECTOR DE TESIS

Dr. en Polímeros Miguel Eguiluz Senior
Facultad de Diseño Industrial, UNAM

COMITÉ TUTOR

- Mtro. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz
Facultad de Arquitectura, UNAM
- Mtro. en Arq. Jorge Rangel Dávalos
Facultad de Arquitectura, UNAM
- Dr. en Ing. Alejandro Solano Vega
Facultad de Arquitectura, UNAM
- Mtro. en Arq. Alejandro Cabeza Pérez
Facultad de Arquitectura, UNAM

MÉXICO, D.F. JUNIO DE 2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



REAPROVECHAMIENTO DEL PLÁSTICO EN ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS

PET Reciclado para la Obtención de Elementos Modulares Plásticos

Rodrigo Rafael Pérez González



JURADO

Dr. Miguel Eguiluz Senior

DIRECTOR DE TESIS

M. en Arq. Ernesto Ocampo Ruíz

M. en Arq. Jorge Rangel Dávalos

Dr. Alejandro Solano Vega

M. en Arq. Alejandro Cabeza Pérez

SINODALES

INDICE

1. INTRODUCCIÓN	11
1.1 RESUMEN	12
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
1.2.1 ORIGEN DEL PROYECTO	13
1.2.2 FUNDAMENTACIÓN	13
1.2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	14
1.2.4 JUSTIFICACIÓN	15
1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
1.4 HIPÓTESIS	17
2. MARCO HISTÓRICO	19
2.1 HISTORIA DEL PLÁSTICO	20
2.1.1 ORIGEN, LOS EMPIRISTAS	20
2.1.2 LA EDAD DE ORO, EL CRECIMIENTO. ESTUDIO Y DESARROLLO CIENTIFICO	22
2.1.3 LA EDAD DE ORO: LA EXPANSIÓN	26
2.1.4 LA EPOCA ACTUAL	28
2.1.5 INTRODUCCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN	28
2.2 HISTORIA DEL PET	29
2.2.1 EL JUEGO DE LA BOTELLA	29
2.2.2 LOS PRETENDIENTES DEL PET	29
2.2.3 LA FORMA DE LA BOTELLA	30
2.2.4 EL PET EN LA CONSTRUCCIÓN	30
3. MARCO TEÓRICO	33
3.1 ¿QUÉ ES UN PLÁSTICO?	34
3.2 LA ERA DE PLÁSTICO	36
3.3 PLÁSTICOS HACIA LA SUSTENTABILIDAD	39

4. ESTADO DEL ARTE	43
4.1 MERCADO DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO	44
4.1.2 SITUACIÓN GENERAL EN MÉXICO	45
4.2 ¿COMO SE CLASIFICAN PLÁSTICOS?	52
4.2.1 SEGÚN SU ORIGEN	52
4.2.2 SEGÚN SU ARQUITECTURA	52
4.2.3 SEGÚN SU TIPO DE REACCIÓN (SÍNTESIS)	53
4.2.4 SEGÚN SU TÉCNICA DE POLIMERIZACIÓN	54
4.2.5 SEGÚN EL TIPO DE MONÓMERO	55
4.2.6 SEGÚN SU ESTRUCTURA MOLECULAR	55
4.2.7 SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA	56
4.2.8 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO TÉRMICO	57
4.2.9 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO	57
4.2.10 SEGÚN EL MERCADO	58
4.3 LOS PLÁSTICOS COMMODITIES	59
4.3.1 POLIETILÉN TEREFALATO	59
4.3.2 POLIETILENO	62
4.3.3 POLICLORURO DE VINILO	63
4.3.4 POLIPROPILENO	64
4.3.5 POLIESTIRENO	64
4.4 PROCESAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS	66
4.4.1 ADITIVADO	66
4.4.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN	68
4.4.3 MOLDEO POR INYECCIÓN	69
4.4.4 MOLDEO POR COMPRESIÓN	70
4.4.5 PROCESO DE TERMOFORMADO	71
4.4.6 MOLDEO POR SOPLADO	73
4.4.7 PROCESO DE ROTOMOLDEO	74
4.4.8 PROCESO DE FUNDICIÓN	75
4.4.9 PROCESO DE CALANDRADO	76
4.4.10 PROCESO DE RECUBRIMIENTO	76
4.4.11 PROCESO DE ESPUMADO	78
4.5 MATERIALES COMPUESTOS	79

4.5.1 MATERIALES COMPUESTOS PARTICULADOS	80
4.5.2 MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS	81
4.5.3 MATERIALES COMPUESTOS ESTRUCTURALES.....	84
4.6 EL PLÁSTICO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	86
4.6.1 LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	86
4.6.2 IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SOBRE LA POBLACIÓN Y LOS ECOSISTEMAS.....	88
4.6.3 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	89
4.7 EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS	91
4.7.1 SURGIMIENTO DEL RECICLAJE.....	91
4.7.2 TIPOS DE RECICLAJE.....	92
4.7.3 LOS DESECHOS PLÁSTICOS EN MÉXICO.....	93
4.7.4 LA RENCARNACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	94
4.7.5 OPORTUNIDADES EN EL RECICLAJE	96
4.7.6 CULTURA Y LEYES PARA EL RECICLADO	97
4.8 LOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN	99
4.8.1 EL MERCADO EN LA CONSTRUCCIÓN	99
4.8.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN	100
4.8.3 APLICACIONES.....	100
4.9 PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN	108
4.9.1 DESARROLLOS SUSTENTABLES.....	108

5. DESARROLLO DE UN PROTOTIPO.....127

5.1 PRINCIPIOS BÁSICOS OBSERVADOS	130
5.1.1 DIAGNÓSTICO	130
5.2 CONCEPTO DE LA TECNOLOGÍA	132
5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONCEPTO TECNOLÓGICO.....	132
5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS Y PROVEEDORES	133
5.2.3 ESCENARIOS DE USO	134
5.2.4 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO	135
5.2.5 APORTACIONES TECNOLÓGICAS	141

5.3 PRUEBAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCEPTO	143
5.3.1 ESTUDIO ESQUEMÁTICO DEL CONCEPTO	143
5.3.2 DISEÑO PRELIMINAR	144
5.3.3 PROTOTIPOS RÁPIDOS.	147
5.3.4 ENSAYO DE MATERIALES	149
5.3.5 PROTOTIPO FUNCIONAL	149
5.3.6 EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN	149
5.4 VALIDACIÓN DE COMPONENTES EN LABORATORIO	150
5.5 VALIDACIÓN DE COMPONENTES ENTORNO SIMULADO.....	151
5.6 DEMOSTRACIÓN DEL PROTOTIPO ENTORNO SIMULADO.....	152
5.7 DEMOSTRACIÓN DEL PROTOTIPO ENTORNO OPERATIVO.....	153
5.8 TECNOLOGÍA COMPLETA Y CALIFICADA	154
5.9 IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.....	155
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	157
6.1 RESULTADOS	158
6.2 CONFRONTACIÓN DE LA HIPÓTESIS	159
6.3 PROSPECTIVA	160
6.4 CONCLUSIONES	161
BIBLIOGRAFÍA REFERENCIADA.....	163

1. IN



INTRODUCCIÓN



1.1 RESUMEN

Los constructores mexicanos estamos acostumbrados a las construcciones con materiales tradicionales como la piedra, ladrillos, block, tabicones, acero y el concreto, lo que ha provocado que el cambio de cultura hacia los materiales plásticos haya sido lento. Hay que voltear hoy día a ver que a cualquier lugar en donde se dirija la vista en una vivienda, se encontraran piezas de plástico.

Al igual que los materiales tradicionales, el plástico se ha ido adaptando a las necesidades de la construcción, transformándose hasta lograr nuevos productos con diversas aplicaciones, pudiendo observar, interesantes cambios de materiales tradicionales a plásticos, desde la estructura hasta los acabados de una casa, los cuales logran abatir costos en un gran porcentaje.

Por otro lado existe un problema actual de Residuos Sólidos Urbanos el cual ha crecido constantemente en los últimos años, lo que provoca la necesidad de brindar alternativas para su posible solución, sin embargo no podemos dejar de lado que al mismo tiempo se pueden abrir nuevas oportunidades laborales en los diversos sectores involucrados como lo es el del reciclaje de plástico.

La manera de aportar soluciones para mejorar el medio ambiente deteriorado e innovar al mismo tiempo en el campo de la Arquitectura, es generando novedosos sistemas constructivos y creando nuevos materiales emergentes fabricados con plástico proveniente del reciclado.

En concreto esta tesis aborda el problema de reciclaje del plástico PET, dando una alternativa de solución para reaprovechar este material residual mediante 2 vertientes: la de proponer un nuevo material compuesto usando como base los residuos de PET, y la del diseño de un nuevo sistema constructivo en el cual este nuevo material pueda ser aplicado.



Fig. 1. Construccion Tradicional.



Fig 2. Residuos Sólidos Urbanos (RSU).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 ORIGEN DEL PROYECTO

La idea de investigar este tema podría decirse que nace “casi” de manera casual debido a la conjunción de 2 aspectos importantes de mi vida profesional.

1. Mi familia tiene la distribución exclusiva en toda la República Mexicana del material didáctico *Legó Education*, por lo tanto siempre he estado en contacto directo con este material. Básicamente se compone de ladrillos plásticos miniaturas cuya función es la de ensamblarlos para crear algún objeto; y, mediante la utilización de engranes y ejes entre otros mecanismos, lo cual les proporciona motricidad. Posteriormente mediante un lenguaje de programación, a estos objetos se les graba instrucciones complejas para realizar alguna tarea específica.
2. Mi campo de trabajo dentro de la Arquitectura, de alguna manera se enfocó al desarrollo inmobiliario. Por lo tanto, siempre he tenido la necesidad de economizar gastos en la construcción de los proyectos a ejecutar.

La fusión de estos detonantes en mi vida, concluyó en lo siguiente: El constante contacto con los ladrillos de Legó, hace surgir en mi imaginación la inquietud de querer implementar estos bloques plásticos a mi rama profesional, agrandándolos y utilizándolos como alternativa de materia prima para la construcción de muros. Pero sobre todas las cosas, seguir trabajando como hasta ahora, bajo el soporte de la sustentabilidad y la responsabilidad social como ejes rectores.

Al perseguir efectuar el proyecto, fui descubriendo cual sería el material idóneo para realizarlo. Comencé a involucrarme más en la problemática que vivimos en cuestión de desechos sólidos, y en especial, debido a un trabajo de diseño de embalaje donde requerí emplear el plástico Polietileno Tereftalato (PET), me di cuenta del camino que debía tomar mi investigación: el reciclado del material.

Al investigar con más profundidad, hallé que mi “idea innovadora” no era una primicia después de todo, puesto que ya existen proyectos de características similares. La exploración sobre lo que fui encontrando sobre esta clase de sistemas en el mercado, me hizo llegar al conocimiento de las ventajas y desventajas de estos productos, naciendo en mí, el interés de mejorar el producto resultante de mi investigación con creces a lo ya existente.



Fig 3. Ciudad Legó.

1.2.2 FUNDAMENTACIÓN

El problema del impacto ambiental, nos involucra a todos como sociedad, gobierno e industria, propiciando la necesidad de generar un nuevo prototipo de desarrollo sustentable, el cual tenga como eje rector, el equilibrio entre los aspectos sociales, económicos y ambientales.

En la actualidad, en México tenemos un consumo per cápita anual de 45 Kg de plásticos, al mismo tiempo que estamos llegando a una producción per cápita anual de 350 Kg. de basura¹. Del total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) producidos, tenemos que los residuos plásticos componen el 11% de estos, que, aunque al parecer no es un gran porcentaje debido a su peso, si lo es en relación al volumen que ocupan debido a su baja densidad.

Hoy en día se cataloga equivocadamente a los plásticos, con miles de corrientes ecologistas afirmando que son un problema en materia de residuos urbanos, lo cual ha influido de manera desfavorable en gran parte de la población, propagando la idea equivocada de que los materiales plásticos causan grave daño a la naturaleza porque tardan muchos años en degradarse. Aunque si hacemos una breve reflexión, el problema real lo tenemos nosotros, debido a la mala gestión que hemos tenido en el manejo de ese tipo de desechos al desaprovecharlos y no reciclarlos como se ha hecho con otro tipo de materiales.

Del 100% de Polietileno Tereftalato (PET) reciclado actualmente en México (90,000 T)², solamente el 15% es

1 SEMARNAT. “Informe De La Situación Del Medio Ambiente En México.” *Compendio De Estadísticas Ambientales*, SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México, 2008. p. 327-334

2 CONDE, MÓNICA; MÁRQUEZ, LORENA. “Reciclaje: Los Plásticos Giran hacia la Sustentabilidad.” *Ambiente Plástico* no. 21. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007). p. 52.

reaprovechado dentro del país. Dentro de las aplicaciones más comunes de PET reciclado, se encuentran la fabricación de fibra, producción de lámina y se usa mucho en la obtención de materia virgen para la creación de nuevas botellas. El 85% restante, es exportado a países como China, EUA, Canadá, India y Singapur principalmente. Estos países nos devuelven este plástico ya integrado en productos como juguetes, bolsas y zapatos, que por supuesto son productos mucho más caros que el propio material que se exporta... por lo que surge la pregunta: ¿Entonces dónde está el negocio? El 85% que se fuga de material reciclado se debe a que son aún muy pocas las empresas en el país, apoyando en el 15% de la cadena final del reciclaje, que serían las encargadas de transformar este material en nuevos productos.

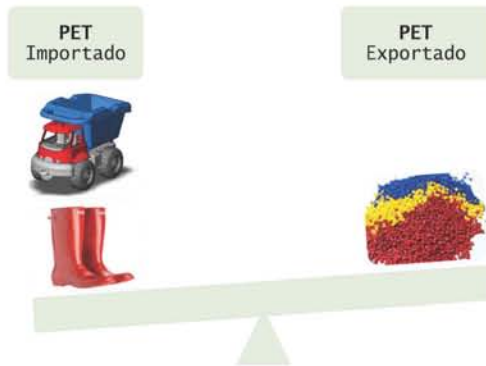


Fig 4. Balanza de Importación

1.2.3 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

Un beneficio tangible del porqué la penetración de los plásticos va en aumento en la industria de la construcción, es que debido a sus propiedades, pueden mejorar tangiblemente una vivienda gracias a las innovaciones tecnológicas que estos van adquiriendo a grandes velocidades. Los arquitectos siempre buscamos la aportación e innovación en un proyecto. Una clave para lograr esto, consiste en la generación de nuevos desarrollos tecnológicos con plástico que simulen materiales tradicionales, y que sobre todo, puedan interactuar entre ellos, explotando al máximo las propiedades que ambos materiales nos pueden ofrecer.

El buscar la integración de los materiales plásticos reciclados con los tradicionales a la estructura de una vivienda, implica el buscar y obtener soluciones en sistemas constructivos y no solamente emplear los elementos plásticos como elementos aislados que trabajen independientemente a la estructura o que funcionen como componentes de relleno o divisorios.



Fig 5. Simulación de una integración de plásticos en una construcción.

La investigación realizada tiene por objetivo desarrollar un prototipo experimental fabricado con la mezcla de algunos materiales, entre ellos: PET Reciclado, Policarbonato, Fibras de refuerzo y algunos aditivos, los cuales se analizarán a lo largo de esta tesis. Esta, se limitará a marcar las directrices de diseño para la obtención de un prototipo experimental de plástico aunque los objetivos en un inicio incluyan también incursionar en la generación de nuevos materiales de construcción. Por lo tanto, esta investigación se enfocará en un principio a tocar aspectos teóricos químicos para posteriormente marcar patrones de diseño de un nuevo producto tecnológico aplicable a la construcción de muros.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Imagen obtenida de www.lovethecupcakes.typepad.com con fines didácticos.

1.2.4 JUSTIFICACIÓN JUSTIFICACIÓN SOCIAL

La necesidad de solucionar la gestión de los residuos sólidos urbanos está impulsando el desarrollo de sistemas alternativos de reciclado y valorización de los plásticos usados. El plástico, es uno de los materiales que más ha incrementado su consumo en los últimos años, y resulta por sus características, especialmente interesante de reciclar, existiendo una importante demanda del producto reciclado en diversas aplicaciones y nuevos desarrollos tecnológicos, incluyendo la industria de la construcción. El reciclado de plástico postconsumo y su aplicación en la construcción, es una realidad viable, tanto en técnica como en cuidado ambiental, ya que da lugar a un producto con un importante valor añadido y contribuye a disminuir la generación de residuos.



Fig 6. Residuos Sólidos en la vivienda.

Imagen obtenida de www.siendo-humanos.blogspot.com con fines didácticos.

JUSTIFICACIÓN PERSONAL

Siempre he creído que proteger el planeta para las generaciones futuras no significa renunciar a nuestras vidas o abandonar las actividades diarias. Al adoptar hábitos sencillos y de sentido común, cada uno de nosotros puede ahorrar energía, disminuir la contaminación que tanto nos afecta, y conservar nuestros recursos. Con lo anterior quiero decir que este proyecto de investigación bien puede servir no solo a la sociedad, si no a mi vida personal, al conjugar todo en un buen negocio personal.



Fig 8. Todo puede concluir en un negocio personal.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

LA CASA COMO PARTE DEL CICLO ECOLÓGICO

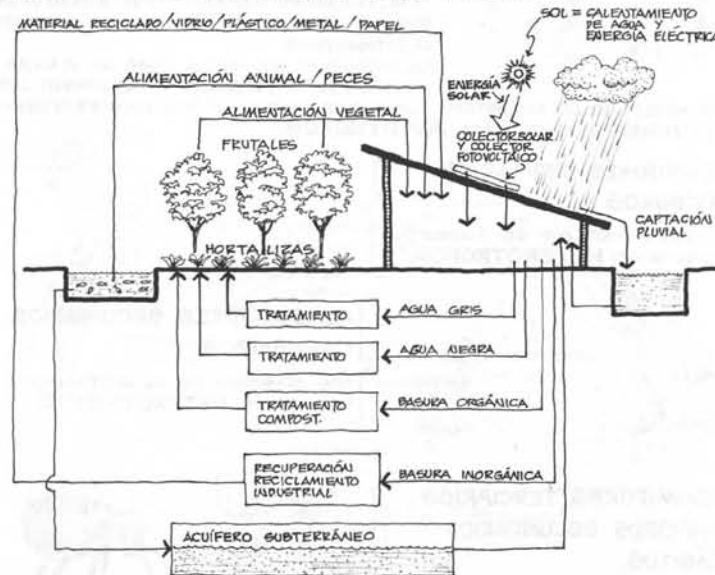


Fig 7. La casa como parte del ciclo ecológico.

Imagen obtenida de EFES CASO, ARMANDO. La Casa Ecológica Autosuficiente: Clima Cálido Y Tropical. Ed. Árbol. México 1994. con fines didácticos.

1.3 OBJETIVOS DE LA TESIS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Reutilizar el PET reciclado en la obtención de elementos modulares plásticos aplicables a la construcción de muros.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Originar materiales más baratos hechos con materia prima residual bajo criterios ecológicos.
- Aportar soluciones para la disminución de los Residuos Sólidos Urbanos que contaminan el medio ambiente.
- Crear conciencia ecológica a los habitantes del país, haciendo efectivo un verdadero régimen de reciclaje.
- Generar nichos de mercado específico en el reaprovechamiento nacional del plástico reciclado.
- Abrir una posibilidad laboral para quien aprenda a manipular dichos materiales.
- Dar opciones de solución al problema habitacional como resultado de una vivienda económica y de mejor calidad producto de la generación de nuevos materiales constructivos..
- Proporcionar elementos de información e interés común, a quienes estén interesados en construir o difundir un contexto de desarrollo sustentable y humano.

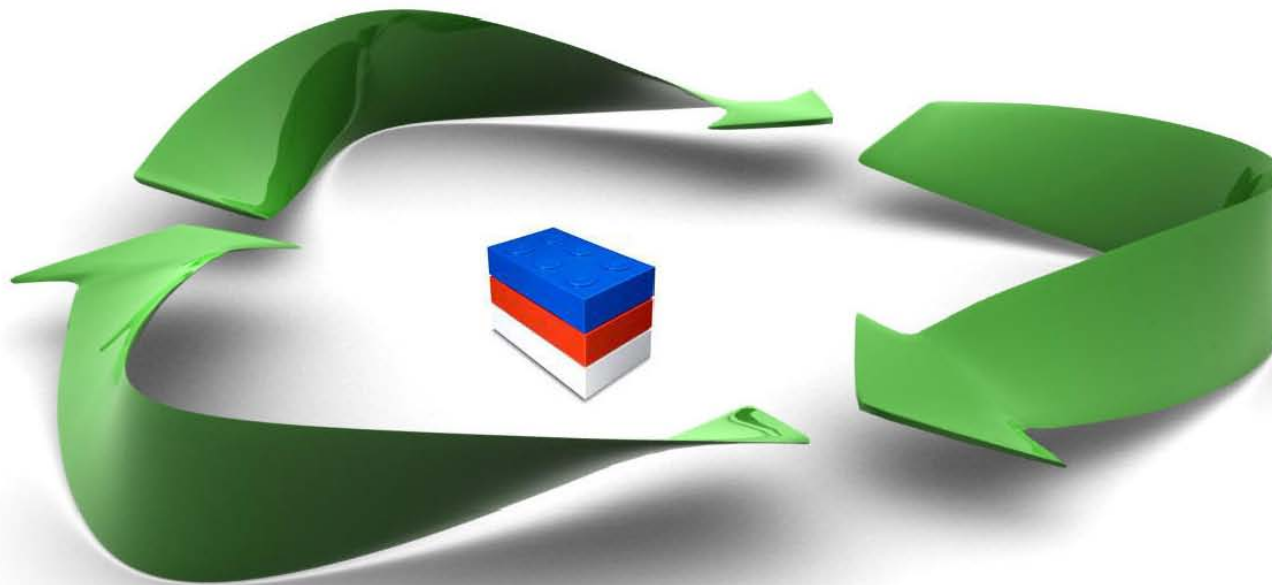


Imagen obtenida de www.iace081st.org con fines didácticos.

1.4 HIPÓTESIS

Las propiedades y costos de los elementos plásticos elaborados a base de PET reciclado aplicados a la construcción, lograrán que las edificaciones sean más económicas y de mejor calidad que una construcción hecha a base de materiales tradicionales.

La construcción logrará disminuir en altos porcentajes su huella ambiental con solo optar por la generación de prototipos plásticos hecho a base de PET reciclado.



Imagen obtenida de www.sectoralimentacion.com con fines didácticos.



Imagen obtenida de www.interpresas.net con fines didácticos.



Imagen obtenida de www.absoluteshoppingcart.co.uk con fines didácticos.



Fig 10. Ciclo sustentable de un sistema constructivo.

2 . MARCO



O HISTÓRICO



2.1 HISTORIA DEL PLÁSTICO

Los materiales plásticos alcanzaron un siglo de existencia, aunque las investigaciones que permitieron su producción datan de mucho tiempo atrás. Como el automóvil, el avión y la informática, son elementos sin los cuales la humanidad vivió todos sus milenios anteriores, pero siente hoy en día que no podría vivir sin ellos.

Al igual que en otros procesos productivos, los plásticos reconocen dos momentos diferenciados: la elaboración de productos plásticos a partir de fibras existentes en la naturaleza y la elaboración de productos sintéticos propiamente dichos, es decir no existentes en la naturaleza.

En relación a la historia del plástico, Roberto Bissio (2000)¹ define y clasifica la historia del plástico en diversas etapas:

2.1.1 ORIGEN, LOS EMPIRISTAS

Hasta el inicio del siglo pasado, el hombre solo conocía las macromoléculas orgánicas de origen natural, como la madera, la lana, etc. Estos materiales eran muy utilizados en la fabricación de varios objetos, en la construcción civil y en vestuario, entre otras aplicaciones.

¹ **Roberto Bissio (1952)**. Uruguayo, director del Instituto del Tercer Mundo, una organización de investigación sin fines de lucro ubicada en Uruguay. Es el Coordinador de Social Watch, una red internacional de organizaciones ciudadanas que informan sobre cómo los Gobiernos y las organizaciones internacionales implementan sus compromisos relativos a la erradicación de la pobreza y a la igualdad de género. **Social Watch**. www.socialwatch.org

El primer material polimérico del que se tiene noticia, fue producido por Charles Goodyear² en 1839. Él consiguió modificar las propiedades mecánicas de la goma natural, extraída del jébe (proveniente de Brasil) mezclándola con azufre y calentándola. Antes, en días muy tórridos se reblandecía y quedaba pegajosa, mientras que en el invierno se volvía dura como hueso. Con la modificación, el caucho permanecía seco y flexible a cualquier temperatura. Ese proceso por él patentado, quedó conocido como vulcanización. Con la vulcanización, la goma natural tuvo muchas aplicaciones, transformándose en un importante producto comercial.



Fig 11. Aplicación de la Vulcanización.

² **Charles Goodyear. (1800 - 1860)**. Estadounidense autodidacta que permaneció muchos años investigando la manera de mejorar la calidad del caucho o hule natural, de modo que no se volviera quebradizo con el frío, y blando y pegajoso con el calor. **Goodyear Corporate**. www.corporate.goodyear.com

El inglés Alexander Parkes³, creció en el culto de la ideología del invento aunque no tuvo una formación académica específica en el campo de la química y de la física. Parkes, se ocupó durante un cierto período en la elaboración de la goma natural, en un momento en el cual en este campo se avanzaba a grandes pasos con el descubrimiento de la vulcanización y de las primeras máquinas de elaboración. Desde ahí nace su interés por otras sustancias que pudieran dar resultados similares a los de la goma en algunas utilidades siempre más solicitadas por las industrias. Estudiando el nitrato de celulosa (CN) obtenido en 1845 por C.F. Shöenbein⁴, Parkes obtiene en 1855 un nuevo material, a partir del tratamiento de residuos de algodón con ácido nítrico y sulfúrico, en presencia de aceite de ricino, que podía ser “utilizado en su estado sólido, plástico o fluido, que se presentaba de vez en vez rígido como el marfil, opaco, flexible, resistente al agua, coloreable y era posible trabajarlo con un utensilio como los metales, estampar por compresión, laminar”. Con estas palabras el inventor describió la “Parkesina”, - patentada en 1861 - en una hoja publicitaria difundida en 1862, en ocasión de la Exposición Internacional de Londres donde se exhibieron las primeras muestras de la que podemos considerar la materia plástica primigenia, fuente de una gran familia de polímeros que hoy en día cuenta con algunos centenares de componentes, sin embargo en

³ **Alexander Parkes (1813 - 1890)**. Inglés, profesor de Ciencias Naturales en Birmingham. Trabajó como aprendiz en la fundición de bronce, pero no tardó mucho en inclinar su atención al proceso de fundición y galvanizado de este metal. Aquí fue donde desarrolló su capacidad inventiva; obteniendo su primera patente de un total de 80. **Britannica Online Encyclopedia**. www.global.britannica.com

⁴ **C.F. Shöenbein (1799 - 1868)**. Químico alemán. Profesor en la Universidad de Basilea, descubrió el ozono, el algodón pólvora y el colodión. sin embargo su fama se debe al descubrimiento de la nitrocelulosa. **Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea**. www.biografiasyvidas.com

su momento, estuvo lejos de ser un producto con éxito comercial debido a su alto costo de producción.



Fig 12. Peineta fabricada con Parkesina.

Situaciones similares relacionadas con la investigación de nuevos materiales incitaron en los Estados Unidos a un joven tipógrafo de Starkey, John Wesley Hyatt⁵, a seguir las huellas de Parkes. En 1860, el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10,000 dólares a quien fabricase un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Uno de los inventores que optaron al premio fue el estadounidense Wesley Hyatt, quien es conocido principalmente por la simplificación de la producción de celuloide, desarrollando un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Aunque Hyatt no

⁵ **John Wesley Hyatt (1837 - 1920)**, inventor estadounidense. Se le conoce por haber simplificado el proceso de producción del celuloide. Otras invenciones de Hyatt son los rodamientos de rodillos y múltiples máquinas de coser puntadas. Fue galardonado con la Medalla de Oro de Perkin en 1914. Escuela de Ingenierías Industriales. www.eis.uva.es

ganó el premio, su producto, patentado en 1869 como “Celuloide”, a diferencia de la parkesina, supuso un gran triunfo comercial, a pesar de ser inflamable y de su deterioro al ser expuesto a la luz. Puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico. El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, cuellos de camisas, huellas dentales, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin éste, no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica, ya que se constituiría en el material básico para las películas de lo que a partir de 1895 sería la gran revolución cultural moderna: el cine.

La primera fábrica de la nueva materia plástica artificial se llamó Albany Dental Plate Company fundada en 1870. Su nombre se explica con el hecho que uno de las primeras utilidades del celuloide fue experimentada por dentistas, felices de sustituir con este producto la goma vulcanizada, entonces extremadamente cara, que utilizaban para obtener las huellas dentales. Dos años más tarde la Dental Plate Company se transformó en Celluloid Manufacturing Company con un establecimiento en Newark en Nueva Jersey. Esta es la primera vez -1872- que aparece el término Celuloide (derivado obviamente de celulosa), marca patentada que tuvo un enorme éxito en los años siguientes tanto de convertirse en un nombre común para indicar, en general, las materias plásticas a base de celulosa y no solamente esas. Se le denomina el primer plástico industrial.

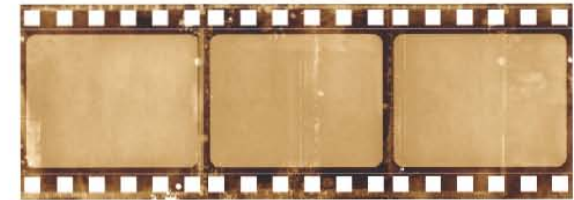


Fig 13. Cinta fotográfica de Celuloide.

En 1887, investigaciones con resinas culminan con la elaboración de los discos de pasta (de 78 r. p. m., no sustituidos por los “de larga duración” hasta mediados del siglo XX), creados por el alemán Emile Berliner⁶ a base de ebonita (goma vulcanizada dura, negra, y pizarra). Al término del siglo XIX, los únicos materiales plásticos disponibles para usos prácticos eran el Shellac (laca), la Gutta Percha, la Ebonita y el Celuloide, el ámbar y el bitúmen, moldeados en formas artesanales.



Fig 14. Disco fabricado Ebonita.

⁶ **Emile Berliner (1851-1929)**, inventor estadounidense de origen alemán del transmisor telefónico, del gramófono, de los discos de vinilo y precursor del micrófono. También dedicó gran parte de su fortuna en ayudar a reducir la mortalidad infantil. Fundó la compañía Berliner Gramophone, la Gramophone Company, la Deutsche Gramophon y la Berliner Gram-o-phone Company of Canada. **The Library of Congress. American Memory. www.memory.loc.gov**

En 1909 el químico norteamericano Leo Hendrik Baekeland⁷ sintetizó un polímero de interés comercial, a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero fácilmente mecanizable. Se le bautizó con el nombre de “Baquelita” (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. Enchufes, manijas, interruptores se empezaron a hacer de este material, y la industria eléctrica en expansión tuvo un desarrollo formidable.



Fig 15. Aplicación de la Baquelita en equipo eléctrico.

La primera guerra mundial (1914-1918) intensificó el uso del celuloide y sus derivados, como el acetato de celulosa, que permitió aplicaciones a los vehículos aéreos militares del momento (dirigibles y la incipiente aviación). Entre los productos desarrollados con

⁷ **Leo Hendrik Baekeland (1863 -1944).** Químico estadounidense, de origen belga, que inventó el papel fotográfico Velox (1893) y la baquelita (1909). Gracias al éxito de la baquelita se convirtió en multimillonario y fue portada de la revista Time el 22 de diciembre de 1924. Recibió la medalla Franklin en 1940. Es autor del libro Some aspects of industrial chemistry. **Chemical Heritage Foundation. www.chemheritage.org**

polímeros naturales alterados, se encuentra el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa. En 1929 aparecen nuevos plásticos rígidos o termoestables⁸, todavía basados en materia prima de origen natural como la urea, que constituyen una revolución estética, porque este material permite una diversidad de colores que la baquelita o la ebonita no permitían. Será el momento de los amarillos, los rojos, en la elaboración de artefactos y utensilios de la vida cotidiana.

2.1.2 LA EDAD DE ORO, EL CRECIMIENTO. ESTUDIO Y DESARROLLO CIENTIFICO

Fue Hermann Staudinger⁹, director del instituto de química de Friburgo, quien comenzó en 1920, los estudios teóricos sobre la estructura y la propiedad de los polímeros naturales (celulosa, isopreno) y sintéticos y galardonado con el Premio Nobel de Química en 1953. Acuñó el término macromolécula y sienta las bases de la polimerización. Se opuso a las teorías corrientes sobre la naturaleza de las sustancias poliméricas como compuestos de asociaciones mantenidas juntas, debido a valencias secundarias, propuso para los polímeros sintéticos del estireno y del formaldehído y para la goma natural, las fórmulas

⁸ **Plásticos termoestables o rígidos.** Hacen referencia al conjunto de materiales formados por polímeros unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura final altamente reticulada, responsable directa de las altas resistencias mecánicas y físicas. **La Web de los Adhesivos. www.losadhesivos.com**

⁹ **Hermann Staudinger (1881 - 1965).** Químico alemán. Estudió en las universidades de Halle, Darmstadt y Munich y fue profesor en las universidades de Friburgo y Estrasburgo y en la Escuela de Altos Estudios Técnicos de Karlsruhe y Zürich. Desde 1926 y hasta el final de su vida profesional trabajó en Friburgo. **Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea. www.biografiasyvidas.com**

a cadena que hoy en día son reconocidas por todo el mundo. Atribuyó las propiedades coloidales de los altos polímeros exclusivamente al elevado peso de sus moléculas, proponiendo denominarlas macromoléculas. Las teorías de Staudinger no fueron acogidas positivamente por todo el mundo y la discusión, a nivel científico, continuó durante los años Veinte. Las demostraciones experimentales evidenciaron que él tenía razón, siendo desplazados los postulados de quienes se oponían, sobre todo después de investigaciones sistemáticas a los rayos X de los diferentes polímeros y los trabajos de síntesis de Wallace Hume Carothers que demostraron en modo experimental, la estructura lineal de las macromoléculas. Los esfuerzos dedicados a demostrar esta afirmación iniciaron numerosas investigaciones científicas que produjeron enormes avances en esta parte de la química. Esta aclaración puso las bases para el desarrollo de la química macromolecular en términos científicos y no debido a inventos casuales como se había verificado con Parkes y Hyatt.

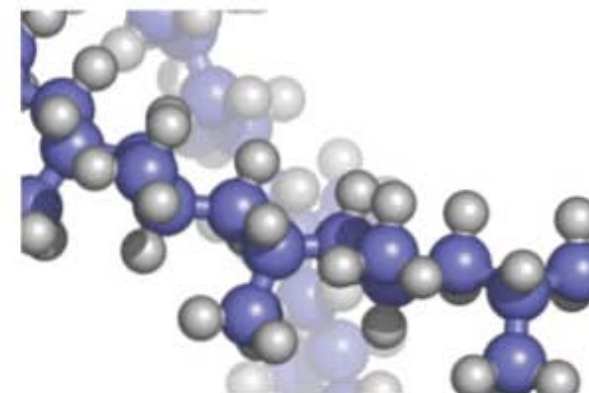


Fig 16. Macromolécula.

Entre 1920 y 1930 aparecieron gran cantidad de nuevos productos, como el etanolato de celulosa, utilizado en el moldeo de resinas y fibras; y la resina acrílica, desarrollada como un pegamento para vidrio laminado. Uno de los plásticos más populares desarrollados durante este periodo es el metacrilato de metilo polimerizado, y que se conoce popularmente como plexiglás. Este material presenta unas propiedades ópticas excelentes; puede utilizarse para gafas y lentes, o en el alumbrado público o publicitario.



Fig 17. Aplicación del Plexiglás.

Desde el punto de vista de una historia del material plástico, se podría decir que el período que se abre hacia 1930 y va hasta mediados de los 40 constituye su “edad de oro juvenil”. Es en ese período precisamente donde surge la mayor cantidad de materiales plásticos que se conocen hoy en día. No será sino hasta 1936 -con la creación del nailon- que la historia de los plásticos toma otro vuelo.

Imagen obtenida de www.istockphoto.com con fines didácticos.

El nailon es un producto sintético en toda su extensión, ya que no proviene de otros cuerpos hallados en la naturaleza sino que está constituido por elementos creados sintéticamente: las amidas. Su descubridor fue el químico Wallace Hume Carothers¹⁰ quien trabajaba para la empresa Du Pont. Descubrió que dos sustancias químicas como el hexametildiamina y ácido adípico podían formar un polímero que bombeado a través de agujeros y estirados podían formar hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como por ejemplo el orlón y el acrilán.

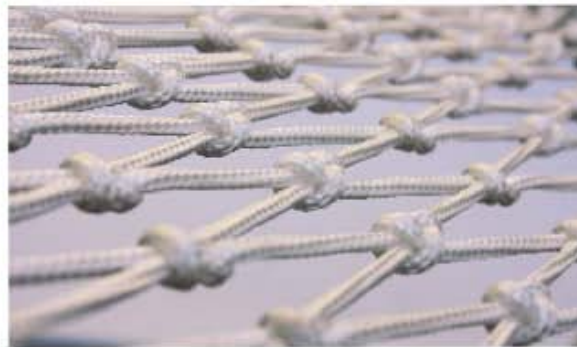


Fig 18. Cuerda de Nylon.

Imagen obtenida de www.casasgarden.com con fines didácticos.

10 Wallace Hume Carothers (1896 - 1937). Químico estadounidense. Se doctoró en 1924 por la Universidad de Illinois. En 1928 se incorporó a la compañía Du Pont, con el cargo de director de investigación de química orgánica. Especializó su trabajo en los procesos de polimerización. El reconocimiento de su gran contribución a la ciencia fue inmediato. En 1936 fue nombrado Académico de las Ciencias, un honor nunca antes recibido por un químico de su especialidad. **HERMES, Matthew.** *Enough for One Lifetime: Wallace Carothers, Inventor of Nylon.* Ed. Chemical Heritage Foundation. USA, 1996.

El poliestireno fue obtenido por primera vez en Alemania por la Farbenindustrie A. G. (hoy BASF)¹¹, en el año 1930. En ese mismo año la empresa inicia la producción industrial de poliestireno instalando una planta para producir 100 ton/año. El primer poliestireno de uso general se introdujo comercialmente en los Estados Unidos en el año 1938 y el primero de alto impacto en el año 1948.



Fig 19. Tablas de Poliestireno.

Imagen obtenida de www.amarillasmexico.net con fines didácticos.

El politetrafluoretileno, (PTFE) sintetizado por primera vez en el año de 1938 por Roy Plunkett de la empresa Kinetic Chemicals, se comercializó con el nombre de teflón en 1950.

11 BASF. El 6 de abril de 1865, a orillas del río Rin en Ludwigshafen, Alemania, se estableció la planta productiva BASF Aktiengesellschaft, con el propósito de ser la empresa química al servicio del hombre. Su nombre proviene de las siglas de la razón social original: Badische Anilin und Soda Fabrik que en español significa: “Fabrica de Anilina y Sosa de Baden”. Durante más de 130 años, BASF ha desarrollado más de 8.000 productos y patentes, que están presentes en nuestra vida diaria en la alimentación, vivienda, vestido, salud, comunicación y transporte. **BASF We create Chemistry. www.basf.com**



Fig 20. Sartén con recubrimiento de Teflón.

Mientras, se había desarrollado un nuevo material plástico: el policloruro de vinilo (PVC), empleado en tuberías y recubrimientos de vinilo. La de las resinas vinílicas, es una historia clásica que atestigua la tenacidad y la obstinación requeridas en los investigadores para llegar al éxito. Fue E. Baumann¹², en 1872, quien estudiaría el procedimiento de polimerización del cloruro de vinilo y pondría la atención en la importancia del producto termoplástico que era posible obtener. Fue necesario esperar a la profundización en los conocimientos sobre la síntesis del cloruro de vinilo de F. Katte y del mecanismo de polimerización por parte del químico ruso Ivanovic Ostromislenski (1880-1939), para poder empezar con la producción industrial de los polímeros vinílicos. En 1927 la americana “Union Carbide Chemicals” produjo los primeros copolímeros cloruro-acetato de vinilo, pero fueron fabricados en escala industrial hasta 1939.

12 **Eugen Baumann (1846 - 1896)**. Químico alemán. Fue el primero en sintetizar el PVC, aunque hasta 1912 no aparecería un proceso de síntesis comercial del polímero. También fue descubrió la reacción Schotten-Baumann, un método de obtención de amidas a partir de aminas y cloruros de acilo, de manera conjunta junto al también alemán Carl Schotten. **IHDE, Aaron J.** *The Development of Modern Chemistry*. Ed. Courier Corporation. USA, 1970.

Imagen obtenida de www.hist25.com con fines didácticos.



Fig 21. Tubería de PVC.

Durante la II Guerra Mundial, ambos bandos sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas y aquí, la industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, al perder sus fuentes naturales de látex, desarrolló un caucho sintético. La entrada de Japón en el conflicto cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nailon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.



Fig 22. Gorro de Poliester.

Imagen obtenida de www.jonobras.pt con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.tamisportalmateria.com con fines didácticos.

Tras muchas investigaciones efectuadas en Estados Unidos y el Reino Unido durante los años treinta sobre el proceso de fabricación de polímeros con productos basados en aceite, en 1941 se descubrió y patentó el poliéster gracias a dos químicos, Winfield y Dickson¹³, Calico Printers Association, con sede cerca de Manchester, en el Reino Unido. Durante la Segunda Guerra mundial su desarrollo continuó en secreto, y en 1946 le cedieron los derechos de fabricación a DuPont¹⁴ (para Estados Unidos) e ICI (resto del mundo). El poliéster se utilizó inicialmente para producir fibras y se convirtió en tejidos sintéticos revolucionarios. Dacron®, creada en los inicios de los años cincuenta, fue la marca de los primeros tejidos sintéticos del mundo lavables y que no necesitaban plancha. En 1943, se crean los clorofluorocarbonados (CFC que logran una serie de éxitos tecnológicos en la refrigeración, los aerosoles y las siliconas.

Durante la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales

13 **John Rex Whinfield y James Tennant Dickson** observaron que Carothers no había investigado el poliéster formado a partir de etilenglicol y ácido tereftálico. Whinfield y Dickson junto con los inventores W.K. Birtwhistle y C.G. Ritchie crearon la primera fibra de poliéster llamada Terylene en 1941, fabricada por primera vez por Imperial Chemical Industries o ICI. La segunda fibra de poliéster fue el Dacron de DuPont. El polietileno tereftalato, por tanto, es la base de fibras sintéticas como poliéster Dacron y Terylene. **Escuela de Ingenierías Industriales. www.eis.uva.es**

14 **DuPont. Abreviación usual de E. I. du Pont de Nemours and Co.** Es una empresa multinacional estadounidense, dedicada fundamentalmente a varias ramas industriales de la química. Es una de las más grandes empresas de química del planeta. Es famosa por haber desarrollado materiales tan conocidos como el Vespel, el Neopreno, el Nylon, la Lycra, el Plexiglas, Teflón, Kevlar, el Nomex, el Tyvek, Sontara o el Corian. Debido a su costumbre de registrar como marcas sus avances, muchos de sus productos son aún más famosos que la propia compañía. **DuPont. www.dupont.com**



Fig 23. Aplicación del Aerosol.

sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. Contemporáneamente se aclaraban los aspectos esenciales del mecanismo químico de la polimerización y de la copolimerización, estudios que culminaron con los descubrimientos de K. Ziegler y de G. Natta¹⁵ sobre los catalizadores de polimerización del etileno. En 1953, el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno (PE). En 1954 el italiano Giulio Natta y sus colaboradores del Politécnico de Milán y de la Montecatini obtienen con catalizadores de polimerización del etileno, una clase de polímeros altamente cristalinos que fueron denominados isotácticos, porque se caracterizaban por la presencia de largas secuencias de unidades monoméricas con

¹⁵ **Karl Ziegler and Giulio Natta.** En 1963 obtuvieron el premio Nobel de Química con Karl Ziegler por sus descubrimientos en el campo de la química y la tecnología de los macropolímeros. **The Official Web Site of the Nobel Prize.** www.nobelprize.org

Imagen obtenida de www.fotosquid.com con fines didácticos.

la misma configuración. Uno de estos polímeros es el polipropileno (PP) Moplen, desarrollado y producido industrialmente por primera vez en 1957 en el establecimiento Montedison de Ferrara (Italia), no obstante existieron algunas controversias legales concernientes a la propiedad de este invento. El polipropileno se revela inmediatamente como un polímero de enorme importancia industrial y su producción aumenta rápidamente en todo el mundo, en particular en los Estados Unidos, Japón, Gran Bretaña y obviamente en Italia. La presión requerida para lograr la polimerización del etileno era demasiado alta, por ello es que la investigación sobre catalizadores realizada por el Alemán Karl Ziegler y el italiano Giulio Natta, que dio origen a los catalizadores Ziegler-Natta valió el reconocimiento del más famoso premio a la ciencia a nivel mundial, el premio Nobel en 1963 por su aporte científico a la química. Con estos catalizadores se logra la polimerización a presión normal. Ambos inventos son los dos plásticos más utilizados en la actualidad.



Fig 24. Bolsas de Polietileno.

Imagen obtenida de www.istockphoto.com con fines didácticos.

El policarbonato (PC), aún teniendo una historia de laboratorio que nace en el siglo pasado (1898). Para el año 1952, el científico H. Schnell de la firma Bayer¹⁶, cumple con éxito los primeros estudios en laboratorio para la fabricación de policarbonatos. Paralelamente a los estudios de H. Schnell otros científicos también fueron activos para entonces. En 1953 Daniel Fox de la mercantil General Electric descubre en el laboratorio la producción de este polímero. En el año 1954, Schnell de la Bayer, presenta la patente tan solo 9 días antes que la de General Electric. Este motivo hace necesario una intervención política para evitar un enfrentamiento entre las dos sociedades. El policarbonato se produce en cantidades comerciales solamente hasta 1959 en Alemania y, aproximadamente en los mismos meses, en los Estados Unidos. Hoy en día el policarbonato es considerado un tecnopolímero o plástico de ingeniería con propiedades superiores a la media y es utilizado, entre otras cosas para los escudos antiproyectiles.



Fig 25. Casco de Policarbonato.

¹⁶ **Bayer.** Empresa químico-farmacéutica alemana fundada en Barmen Alemania por Friedrich Bayer en 1863. Es bien conocida por su marca original de la aspirina, sin embargo la empresa también es un proveedor de polímeros de alta tecnología y desarrolla soluciones para una amplia gama de aplicaciones de interés para la vida cotidiana. **Bayer. Science for a Better Life.** www.bayer.com

Imagen obtenida de www.politecne.com con fines didácticos.

El conocimiento de la existencia de compuestos poliméricos se debe a Simon¹⁷, quien en 1839 observó que el estireno, líquido incoloro y poco viscoso, se transformaba en una resina cuando se exponía a la acción de la luz o el calor durante un tiempo. Berthelot¹⁸ denominó a este proceso polimerización, pues comprobó que los compuestos estireno y la resina que se obtenía, tenían la misma fórmula empírica aunque diferente peso molecular.

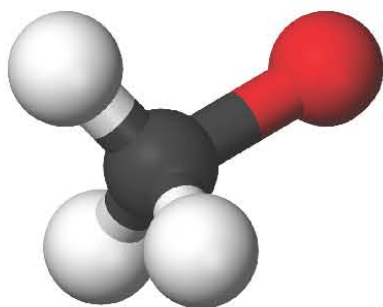


Fig 26. Polímero.

El polimetilpentene (TPX) es un compuesto individualizado y polimerizado por Julio Natta, pero desarrollado en 1965 por ICL. A partir de 1975 la sociedad japonesa Mitsui Petrochemical lo ha

¹⁷ **Eduard Simon (1789 – 1856)**, Boticario alemán. En 1839, Accidentalmente separó los componentes del estoraque (resina de un árbol) por medio de la destilación. Una de las fracciones que obtenía era una sustancia aceitosa que parecía ser un sólo compuesto; Simon le dio el nombre de estireno. **Historias de Empaques.** www.historiasdeempaques.wordpress.com

¹⁸ **Marceline Berthelot (1827 - 1907)**, Químico e historiador francés, en 1846 obtuvo el “prix d’honneur” de filosofía. Hacia 1860, la química de los compuestos orgánicos había alcanzado altura suficiente para permitir a Berthelot demostrar que todas las clases de compuestos orgánicos entonces conocidos estaban formados por los siguientes elementos: carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. **Biografías y Vidas.** [La Enciclopedia Biográfica en Línea.](http://LaEnciclopediaBiograficaEnLinea.com) www.biografiasyvidas.com

Imagen obtenida de www.jalopnik.com con fines didácticos.

valorizado, sobre todo para la producción de artículos para laboratorios clínicos, por cuanto resiste en modo fantástico a la esterilización y tiene una transparencia. También las poliamidas se mantienen estables si se someten durante períodos muy largos, que pueden llegar hasta las cinco mil horas, a temperaturas del orden de 300°C. Estas resinas termofraguantes pueden dar una idea del nivel de prestaciones alcanzadas hoy por las materias plásticas en lo concerniente a la resistencia mecánica, térmica y a la fatiga. Efectivamente las poliamidas han sustituido a los metales especiales en la producción de palas para turbinas de aviones y otras partes de los motores de los aviones a reacción y en la producción de pistones y juntas para automóviles. Estamos ya cerca al motor compuesto por materiales poliméricos.



Fig 27. Probetas fabricadas de Polimetilpentene.

Imagen obtenida de www.ynsadit.com con fines didácticos.

2.1.3 LA EDAD DE ORO: LA EXPANSIÓN

A partir del fin de la Segunda Guerra Mundial se produce una expansión formidable de la industria de los plásticos. En el Reino Unido, entre 1950 y 1961 se cuadruplica la producción: pasa de 150 mil toneladas anuales a 600 mil.



Fig 28. Alza en la demanda del Petróleo.

Imagen obtenida de www.istockphoto.com con fines didácticos.

El volumen de la producción mundial anual de plásticos en los 90 se equiparó al de la producción mundial total de metales. La época de expansión más acelerada (con tasas de crecimiento superiores al 20% anual), los 50 y 60, se caracteriza por dos elementos disímiles pero significativamente simultáneos: un optimismo tecnológico radical, que permitía hablar, por ejemplo, de la “impar resistencia” de los CFC “a casi todos los productos químicos y solventes”, y la materia prima extraordinariamente barata¹⁹.

¹⁹ **Biblioteca Digital del Instituto Latinoamericano de la Comunicación Educativa (ILCE).** www.biblioteca digital.ilce.edu.mx

Este segundo aspecto del momento “glorioso” de la industria que a esta altura del proceso tecnológico ya se puede llamar petroquímica se explica por el precio irrisorio del petróleo un producto usado como combustible desde la antigüedad. Su producción desde los inicios de su explotación industrial, a fines del siglo XIX hasta 1945, no sobrepasó nunca de las 300 mil toneladas anuales. Desde 1945 hasta 1973 en cambio, se multiplicó por siete su uso, pasando de constituir un cuarto del suministro energético mundial al finalizar la guerra (momento de baja demanda), a la mitad en 1973 (momento de altísima demanda energética). ¿A qué se debía la disponibilidad tan generosa del petróleo (del que la petroquímica insume aproximadamente un décimo)? Las empresas del ramo, casi todas de origen estadounidense, británico y holandés, se fueron emplazando, mediante concesiones más o menos generosas, en los más remotos puntos del planeta donde se verificara la existencia de yacimientos. Y la extracción se hizo durante todas esas décadas con costos mínimos, puesto que los países en donde se asentaban esos yacimientos apenas percibían ingresos por ellos. Los principales países productores estaban alojados en el Tercer Mundo: México, Venezuela, Irak, Irán, Arabia Saudita, Libia, Kuwait, a los que había que agregar Estados Unidos y la ex-URSS, pero estos últimos no eran exportadores de petróleo, con lo cual su situación era radicalmente distinta²⁰.

Así se explica la expansión colosal en las ramas de actividad que el plástico «conquista» en los 50 y los 60: caños y tubos, recipientes del más diverso tipo, objetos

de uso doméstico como baldes, palas o peines, la industria automotriz (carrocerías, tableros, engranajes), expansión hacia la industria de la construcción e ingreso arrollador en la industria del envase. En 1973, los países exportadores de petróleo, deciden no mantener más un precio congelado del petróleo ya que durante décadas han visto incrementar los precios de los productos que importaban con la «exportación» de petróleo. Lo que se ha llamado «el deterioro de los términos del intercambio» había llegado a un punto crítico. Ese año marca un freno relativo en el uso del petróleo; los productos plásticos dejan de «costar una bagatela».

Toda esa etapa «gloriosa» se movió exclusivamente por el lucro y la retribución económica altísima, para diseñadores de nuevos compuestos y artículos. Todavía en la década de los sesenta se podía escribir, sin problemas de conciencia: «entre todos los factores que han de incidir para que se puedan aplicar los materiales de que se dispone a campos más amplios, el precio de venta es el más importante».



Fig 29. Petróleo sangriento.

Con el tiempo, el cálculo puramente monetario de los costos a corto plazo, cede el lugar a otras consideraciones, como el del «producto final» de desecho o basura. Y simultáneamente, la industria petroquímica se ve sometida a un análisis crítico de todas las virtudes que hasta entonces se le habían asignado. El año de 1974 es a este respecto un año clave: en EE.UU. se acepta por fin, que decenas de obreros muertos, todos ellos vinculados a las cadenas productivas de polimerización de PVC, habían fallecido por intoxicación en los mismos procesos productivos; en ese año aparece el primer informe de investigadores que vinculan el «agujero de ozono» con la acción deletérea de los CFC en la estratosfera, que por lo visto no sólo eran «extraordinariamente resistentes a los productos químicos» sino que a su vez atacaban a algunos de ellos, en este caso al vital ozono²¹.



Fig 30. Los CFC dañan la capa de Ozono.

21 CHAVEZ VEGA, ERIC. *Administración de Materiales*. Ed. EUNED Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica, 2005.

20 FIGUEROA, EMILIO. *El Comportamiento Económico del Mercado del Petróleo*. Ed. Díaz de Santos. España, 2006.

2.1.4 LA EPOCA ACTUAL

La tendencia en la síntesis de nuevos productos de naturaleza polimérica continúa por modificación de los ya conocidos mediante aplicación de diferentes tipos de reacciones habituales utilizados en los laboratorios de química: modificación de la estructura, formación de copolímeros, mezclas o aleaciones poliméricas o bien por adición de todo tipo de elementos de refuerzo o relleno. Los últimos avances en la ciencia y tecnología de los polímeros se dirigen hacia la obtención de polímeros de alto desempeño. Entre los más conocidos se encuentran los cristales líquidos polímeros, las polietercetonas, los polímeros con aplicaciones biológicas y *composites*.

Desde la vieja y apreciada celuloide de Hyatt, material sustituto de sustancias más nobles y apreciadas que se incendiaba como una cerilla y a veces explotaba, hemos llegado en más o menos cien años a estos superpolímeros bajo muchos aspectos superiores a los metales, a la cerámica y a los materiales tradicionales y por lo tanto ya insustituibles en los usos más

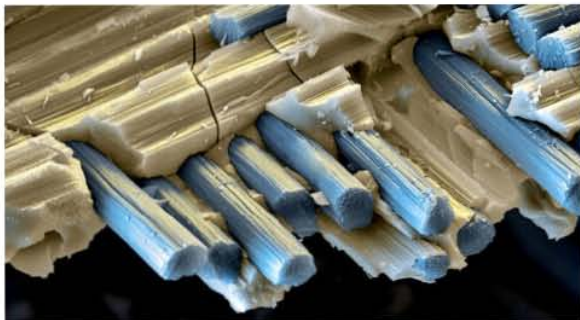


Fig 31. Composites.

Imagen obtenida de www.pbs.org con fines didácticos.

avanzados de la tecnología moderna. “La nuestra será recordada como la era de los polímeros”, dijo el Premio Nobel Paul John Flory. “El futuro pertenece a los tecnopolímeros y polímeros especiales que serán producidos a lo mejor en cantidades un poco reducidas pero que serán esenciales para el progreso de la humanidad”²².



Fig 32. Corazón artificial.

2.1.5 INTRODUCCIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN

Los polímeros se han utilizado en la construcción ya desde el año 4,000 Antes de Cristo, cuando los muros de ladrillo de arcilla de Babilonia fueron construidos utilizando un polímero natural en el mortero. El templo de Ur-Nina (rey de Lagash), en la ciudad de Kish²³, tenía albañilería construida a base de mortero fabricado

22 BISSIO, ROBERTO; INSTITUTO DEL TERCER MUNDO. *Guía del mundo, 1999-2000: el mundo visto desde el sur*. Ed. Instituto del Tercer Mundo. Uruguay, 2000.

23 Kish. Ciudad situada al norte de la antigua Baja Mesopotamia, actual Irak y noreste de Siria. *Diccionario Geográfico Universal*. www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx

con un 25 a 35% de bitumen²⁴, marga (una roca), y pedacería de caña o paja. Las paredes de Jerico²⁵ fueron construidas usando tierra bituminosa alrededor de los años 2,500-2,000 A.C. Muchos polímeros naturales han sido usado en los antiguos morteros como el albumen, el arroz, etc.

La diversidad de sus propiedades y la posibilidad de adaptación al trabajo humano, ha permitido que los plásticos a través del tiempo hayan ganado una ventaja real sobre otros materiales constructivos Desde principios de 1959 el consumo de los materiales plásticos fue de un considerable 5% de todos los materiales de construcción, por 1971 había sobrepasado el 12%, y aumentó al 20% en 1995. La industria de la construcción moderna hace actualmente de una gran variedad de materiales plásticos y composites²⁶.



Fig 32.1. Monte de las Tentaciones, Jericó

24 Bitumen. Llamado también betún. Mezcla de sustancias orgánicas altamente viscosa, negra, de alta densidad compuestas principalmente de carbono e hidrógeno, que se encuentran en la naturaleza y arden con llama, humo espeso y olor peculiar. No confundir con Asfalto y/o Alquitrán. *Online Language Dictionaries*. www.wordreference.com

25 Jericó. Ciudad que durante 400 años fue parte del Imperio Otomano, situada en la actual Palestina. *Diccionario Geográfico Universal*. www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx

26 AKOVALI, GÜNERI. *Polymers In Construction*. Ed. Rapra Technology. UK, 2005

Imagen obtenida de www.gettyimages.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.gamasdeviajar.com con fines didácticos.

2.2 HISTORIA DEL PET

Para Enrique Chao (2007), existen muchos factores y protagonistas involucrados en la historia del PET:

2.2.1 EL JUEGO DE LA BOTELLA

El PET es un material caracterizado por su gran ligereza y resistencia mecánica a la compresión y a las caídas. Tiene un alto grado de transparencia y brillo, y conserva el sabor y el aroma de los alimentos. Es reciclable 100%, y hoy se presenta una demanda creciente en todo el mundo. Desde un inicio, al poliéster se le reconocieron excelentes cualidades, entre las cuales se encuentran su alta resistencia a la deformación y su estabilidad dimensional, además del fácil cuidado de la prenda una vez tejida.



Fig 33. Fibras de Poliester.

Primero en Europa, a partir de 1974, se comenzó a producir la botella de PET, pero su comercialización inicial se llevó a cabo en 1976 en Estados Unidos¹.

1 ARCHUNDIA PEÑA, OSCAR ABELARDO. *Análisis de la problemática del reciclado de PET y propuestas alternativas de solución*. (Ingeniero Mecánico Electricista) UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 1995.

Desde ese lanzamiento, el PET goza de una demanda continua, un crecimiento sin pausa y una aceptación de todos los sectores. Y eso tiene mucho sentido, ya que el PET contiene cualidades favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo.



Fig 34. Botellas de PET.

Después de la exitosa aplicación del PET en el envasado de bebidas carbonatadas, aguas minerales, bebidas isotónicas, vinos y bebidas alcohólicas, también se han comenzado a fabricar para otros productos, como los farmacéuticos y los alimenticios, como aceite, miel, mermeladas, jugos, té y salsas. Últimamente, el PET contiene detergentes y productos de limpieza, cosméticos, químicos, lubricantes y para tratamientos agrícolas. Desde que comenzó este nuevo milenio, el PET se emplea también para envasar cerveza. Además, el PET se desempeña muy bien en el sector automotriz, de la construcción, y en la fabricación de materiales como fibra textil, alfombras, tuberías, perfiles y piezas inyectadas.

2.2.2 LOS PRETENDIENTES DEL PET

Wallace Carothers, el mismo inventor del "Nailon", fue el primero en descubrir la síntesis de este polímero en el año de 1929, sin embargo, fue hasta el año de 1941, que John Rex Whinfield patentó al lado de James Tennant Dickson el PET como polímero para la fabricación de fibras, y eso le dio un lugar destacado en la historia de este plástico².



Fig 35. De izquierda a derecha: James Tennant Dickson y John Rex Whinfield.

El Reino Unido se hallaba entonces en plena guerra, y existía una apremiante necesidad de buscar cuanto antes una fibra textil como sustituto para el algodón y el lino, los cuales se importaban de Egipto. Desde 1946 se empezó a utilizar el Poliéster industrialmente como fibra y su uso textil prosigue hasta la fecha, apareciendo las primeras camisas 100% poliéster que no requerían planchado y aunque esta nueva versión no resultó muy exitosa, en la actualidad se confeccionan prendas con mezclas de poliéster y algodón o con otras fibras.

2 SANCHEZ ROQUE, MARTHA VIRGINIA. *El propósito doble del envase de PET: ojos arquitectónicos en lo que antes se desechara*. (Maestría en Arquitectura (Tecnología)) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 1999.

2.2.3 LA FORMA DE LA BOTELLA

El PET se comenzó a emplear en 1952 en forma de película para envasar alimentos. Pero, a partir de 1976, resurgió convertido en otra aplicación que se volvió en su principal mercado, la de los envases rígidos, que pudo abrirse camino gracias a la aptitud particular que tiene este material para la fabricación de botellas para bebidas poco sensibles al oxígeno, como por ejemplo el agua mineral y los refrescos carbonatados. El PET se convirtió en uno de los poliésteres termoplásticos más importantes, pero Rex Whinfield murió en 1966 y no pudo palpar el enorme éxito que tuvo su hallazgo poco más tarde.



Fig 36. Empaque de PET.

En este punto es cuando aparece Nathaniel Wyeth³,

3 Nathaniel Wyeth (1911 - 1990). Ingeniero e Inventor Estadounidense. Miembro de una famosa familia de artistas. Se graduó de la Universidad de Pennsylvania en 1936. Nombrado primer becario de ingeniería de alto nivel en DuPont. Después de diseñar una nueva válvula para una máquina de producción, fue trasladado al laboratorio de desarrollo mecánico. Es dueño de 25 patentes. **Biografías y Vidas. La Enciclopedia Biográfica en Línea.** www.biografiasyvidas.com

hermano del famoso pintor Andrew Wyeth. El inventor concibió la manera de producir la botella de refresco de la manera más ingeniosa y dejó abierta la posibilidad de reciclar el PET para otros artículos. Wyeth causó una grata impresión en DuPont Corporation.



Fig 37. Nathaniel Wyeth.

Alrededor de 1973, la industria del plástico buscaba desarrollar un material irrompible, ligero y transparente para producir botellas para bebidas carbonatadas. Wyeth intuyó que se podía crear un contenedor de plástico más fuerte a los que existían. Después de perseverar con algunos materiales, descubrió que el hilo de Nylon se estiraba forzando a sus moléculas a alinearse. El desafío que encaró fue estirar el plástico tanto que sus moléculas prefirieran alinearse en dos dimensiones en vez de en una sola. Se desarrolló un nuevo método de moldeo denominado inyección sopló biorientado. Para ello creó un molde y una preforma para la botella, un objeto parecido a un tubo de ensayo, pero con una rosca y no en una sola espiral, sino en

un patrón entrecruzado en forma de diamante. Cuando el plástico era presionado o extruido a través de este molde las moléculas se alineaban de modo biaxial. Su hallazgo fue mejorado con Polietilén Tereftalato, PET, el cual ofrecía mejores propiedades elásticas a lo utilizado. El producto final fue un envase ligero, nítido, resistente y seguro, el cual apareció hasta el año de 1976⁴.



Fig 38. Preforma PET.

En 1984 se desarrollaron, además de las botellas, envases de boca ancha, es decir, tarros y frascos para mercados de conservas alimenticias, alimentos en polvo, pastas y mieles. Actualmente, el PET en sus diferentes variantes ha probado ser un material ideal para el sector de envase, sin embargo, su resistencia térmica es limitada, por esta razón, actualmente existen diferentes sistemas de transformación para modificar las características estructurales del polímero permitiendo su uso en envases para llenado en caliente.

4 Nathaniel Wveth Biography (1911-1990) How Products are made. www.made-how.com



Fig 39. Envase de conserva de PET.

En 1994, la empresa Amoco desarrolló una nueva materia prima para producir poliéster, denominada Naftaleno Dicarboxilato (NDC) con la que fue posible producir PEN (Polietilén Naftalato) que presenta mejores propiedades que el PET, abriendo nuevas posibilidades en el envasado de alimentos. Shell Chemical anunció la polimerización de un nuevo tipo de poliéster en 1995 denominado Politrimetilén Tereftalato. En la actualidad, se emplea para fabricar fibras de alfombras con características superiores al Nylon y otros tipos de Poliéster⁵.

2.2.4 EL PET EN LA CONSTRUCCIÓN

El uso del PET en la construcción, aún se encuentra en sus primeros años de estudio. Existe a nivel mundial una gran variedad de propuestas para reutilizar y reciclar el pet de distintos modos en la construcción de vivienda, con la finalidad de favorecer a las comunidades de escasos recursos, ayudar a mejorar

5 CHAO ENRIQUE, "El Juego De La Botella". *Ambiente Plástico*, no. 20 (2007), p. 106-109.

Imagen obtenida de www.uniquedolores.es/in con fines didácticos.

el ambiente, e incluso, contribuir a la generación de nuevos y propositivos materiales constructivos. La reutilización y reciclaje ha tenido éxito en los últimos años en países Lationamericanos y del mundo como Honduras, Uruguay, Chile, México, Argentina, Estados Unidos, Italia, Reino Unido, Suiza, Letonia y Nueva Zelanda donde han tenido gran auge los proyectos con eco-tecnologías, de los cuales, se hablará con mayor profundidad en el capítulo 4.9 de esta Tesis, correspondiente al tema "Plastico Reciclado en la Construcción".



Fig 39.1. Harvey Lacey con su proyecto Byfusion en Nueva Zelanda, 2010.

Con respecto a la construcción de vivienda con residuos, Ruiz, López, Cortes, y Froese (2012), han generado algunos antecedentes que podemos rescatar:

Existen varios varios referentes nivel mundial del uso del PET como materia prima en la industria de la construcción. El primero documentado son las construcciones desarrolladas por Michael Reynolds en la década de 1970 en los Estados Unidos. Estos desarrollos, principalmente eran construidos con

Imagen obtenida de www.byfusion.net con fines didácticos.

botellas de vidrio (Reynolds, 1990)⁶. Luego en el año 2005, se encuentra el segundo referente, edificado en Serbia por el profesor de ciencias físicas Tomislav Radovanovic. En Kragujevac, 130 kilómetros al sur de Belgrado, Radovanovic edificó una casa de 60 m2 sustituyendo los ladrillos por 14.000 botellas de plástico rellenas con tierra (El Clarín, 2007)⁷. Posteriormente, en el 2007, se documenta un templo localizado en Tailandia, construido por monjes budistas llamado Wat Pa Maha Chedi Kaew en la provincia de Sisaket, unos 600 kilómetros al nordeste de Bangkok. Para su construcción se emplearon más de un millón de botellas recicladas de vidrio. Con su disciplina, los monjes buscaban crear conciencia ambiental mediante la recolección de botellas de color ámbar y verde, creando una edificación útil y estéticamente bella^{8,9}.



Fig 39.2. Michael Reynold en su documental "Garbage Warrior", 2007.

6 REYNOLDS, M. EARTSHIP. *How to Build your Own*. Vol. 1. Taos: Solar survival Architecture Press. 1990.

7 El Clarín. "Una casa hecha solamente con botellas de plástico." *Periódico El Clarín*, (2007, agosto 28) Sección curiosidades.

8 El País. Una 'casita encantada', armada con botellas, causa sensación. *Periódico El País de Cali*. (2009) Recuperado de: <http://historico.elpais.com.co>

9 RUIZ, D., LÓPEZ, C., CORTES, E., FROESE, A. "Nueva alternativa de construcción: Botellas PET con relleno de tierra." *Apuntes 25* (2012) p. 292-303

Imagen obtenida de www.ytuong.com.vn con fines didácticos.

3 . MAP



ARCO TEÓRICO



3.1 ¿QUÉ ES UN PLÁSTICO?

Hace cien años, el término plástico se podía entender como algo relativo a la reproducción de formas o a las artes plásticas, la pintura, la escultura o el moldeado. En la actualidad, esta palabra se utiliza con mayor frecuencia y tiene un significado que implica no sólo arte, sino también tecnología y ciencia.

Según el Diccionario de la Lengua Española de la Real Academia Española (2010)¹:

Plástico, ca. (Del latín *plasticus* “modelar”, y este del griego *πλαστικός* (*plastikós*))

- I. Adj. Relacionado con el arte y la técnica de modelar: escuela de artes plásticas.
- II. Se dice del [material] que puede cambiar de forma y conservar esta de modo permanente, a diferencia de los cuerpos elásticos: los materiales plásticos cambian de forma sin necesidad de elevar su temperatura.
- III. Se dice de ciertos [materiales] sintéticos, polímeros del carbono, que pueden modelarse fácilmente.
- IV. MED. Se dice de la [rama de la cirugía] que se ocupa de corregir ciertos defectos físicos o rasgos antiestéticos y de los médicos que la practican: fue a un cirujano plástico para operarse la nariz.
- V. Se dice del [estilo, lenguaje, imagen, etc.], muy expresivos: su pintura es muy plástica.

- VI. F. Arte y técnica de modelar: los alfareros aprenden plástica.
- VII. Adj. Dicho de un joven: Frívolo y acomodado. Que demuestra o aparenta provenir de clase alta.



Fig 40. Plástica - Modelar.

En relación a la palabra *plástico*, Ricardo Soca (2005), profundiza en la investigación acerca de su origen:

El origen más remoto que se conoce de esta palabra es el griego *plastikós*, un adjetivo que se refiere al arte de modelar en cera o arcilla -que los griegos llamaban *plasma*-, cuyo resultado recibía el nombre de *plastos* ‘formado’, ‘modelado’, palabras emparentadas con el verbo *plassein* ‘amasar’, ‘modelar’.

En las lenguas modernas, *plastic* aparece en 1632 en inglés para designar a las artes plásticas; en 1791, como adjetivo que se aplica a aquello que puede ser modelado, y en 1879, como la cirugía tendiente a eliminar cicatrices o a modelar el rostro o los miembros: *plastic operation*.



Fig 41. Cirugía Plástica.

En español, *plástico* aparece por primera vez como adjetivo en el Diccionario Castellano, de Enrique de Terreros (1765, 1783), pero como sustantivo no surgió hasta 1950, a lomos de la vertiginosa expansión de los “materiales plásticos” derivados de hidrocarburos, que, a partir de esa época, se convirtieron en materia prima de millares de productos industriales².



Fig 42. Material Plástico.

¹ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. *Diccionario de la Lengua Española*. 22.ª Edición. España, 2014. www.rae.es

² SOCA, RICARDO. *La Fascinante Historia De Las Palabras*. Ed. Asociación Cultural Arturo Nebrija. Montevideo, Uruguay, 2005.

En realidad, la designación general de “materiales plásticos” para esta clase de sustancias, tampoco es la más adecuada. En mecánica, se designa como *plástico* a cierto tipo de comportamiento de los materiales que ceden fácilmente a los esfuerzos de deformación, y mantienen pasivamente la forma que se les quiso impartir. El comportamiento opuesto es el *elástico*: un cuerpo elástico, sometido a un esfuerzo, se deforma mientras éste se aplica, y vuelve a su forma original no bien cesa el esfuerzo. El comportamiento de los materiales plásticos es sumamente variado: algunos son, en efecto, plásticos a ciertas temperaturas y rígidos a otras, inferiores. Esto es lo que permite su moldeo en las formas más variadas. Pero otros no poseen esa propiedad. Lo que sí agrupa a todas las sustancias de esta enorme familia, es una característica común de su estructura molecular: todos ellos son materiales de muy alto peso molecular (macromoléculas), formados por unidades más sencillas que se enlazan químicamente unas con otras en cadenas de longitud indefinida³.



Fig 43. Comportamiento Plástico es el efecto contrario al Elástico.

3 CALLISTER, WILLIAM D. *Materials Science And Engineering*. Ed. John Wiley & Sons, Limited. Utah, 2010.

Los *plásticos*, son materiales compuestos principalmente de *polímeros* de orígenes naturales y modificados o de *polímeros* hechos artificialmente que a veces contienen aditivos como fibras, cargas, pigmentos y otros similares que mejoran aún más sus propiedades. En su proceso de elaboración, cuentan con un momento de calentamiento de la materia prima (generalmente a cientos de grados centígrados), a partir del cual los cuerpos, presionados, toman su forma y consistencia, es decir, que es posible moldearlos mediante procesos de transformación aplicando calor y presión⁴.

Polímero es una palabra que probablemente surge del Alemán *polymere* (Berzelius, 1830), y esta a su vez de πολυμερεια (*polymeres*), de origen griego, que se puede llegar a traducir literalmente como “Muchas Partes” (Πολι (*Poli*) “muchas” y μερος (*meros*) “partes”, “unidad”)⁵.

En este contexto, Askeland (2003) afirma que “el término *meros* se refiere a un grupo unitario de átomos o moléculas que define un arreglo característico para un polímero. Un polímero, es un material constituido al combinar varios meros o unidades. Los polímeros son materiales que consisten en moléculas gigantes o macromoléculas en cadena y que se forman al unir muchos meros o unidades mediante enlace químico. La mayoría de los polímeros, sólidos o líquidos, son orgánicos basados en el carbono; sin embargo, también pueden ser inorgánicos⁶.”

4 JONES MORTON. *Procesamiento De Plásticos: Inyección, Moldeo Y PVC*. Ed. Limusa. México, 1993.

5 BILLMEYER, FRED W. *Ciencia De Los Polímeros*. Ed. Reverte. México, 1975.

6 ASKELAND, DONALD R. *Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*. Ed. Thomson. México, 2004.

Podemos concluir en este momento, que los plásticos y los polímeros suelen distinguirse en que los primeros se han obtenido de los segundos, mientras que los segundos son materiales derivados de productos naturales o sintéticos. Los plásticos a manera general, son polímeros que ya han sido modificados, procesados y moldeados por diversas técnicas, de los cuales se hablarán a lo largo de esta tesis. Para efectos prácticos, en ésta tesis, utilizaremos los términos *plásticos* y *polímeros* de manera intercambiable en algunas ocasiones.

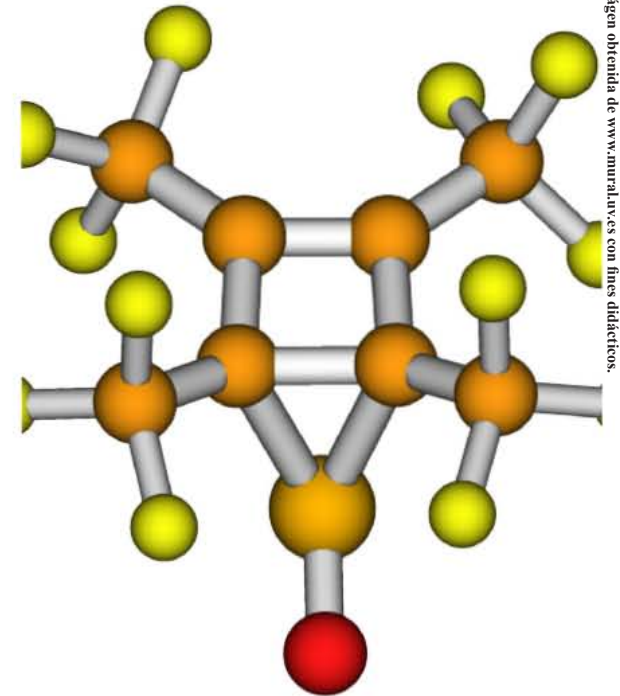


Fig 44. Polímero.

3.2 LA ERA DE PLÁSTICO

Tomas Buch (1996) escribió sobre la tecnología, el señala que:

En las últimas décadas han visto un desarrollo vertiginoso de la tecnología. Ésta se encuentra cada vez más presente en la vida cotidiana de los seres humanos. De ahí que se hable de la llegada de una nueva etapa en el devenir histórico, llamada “era tecnológica”.

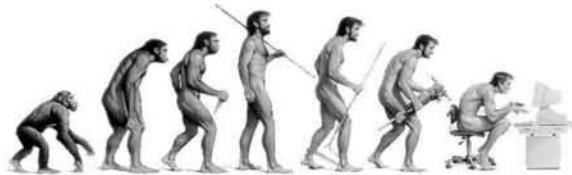


Fig 45. Era Tecnológica.

Referente al párrafo anterior, si se quisiera caracterizar nuestra era por un tipo de material predominante en la fabricación de artefactos, como se ha llamado a otras épocas “La Edad de Piedra, de Cobre, de Bronce o de Hierro”, la nuestra se debería llamar “La Era de Plástico”; debido a que ningún otro tipo de material ha demostrado mayor versatilidad ni mayor capacidad de penetración en las aplicaciones más diversas¹.



Fig 46. La era de Plástico.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.wikibooks.org con fines didácticos.

A la par del descubrimiento de los materiales poliméricos por Charles Goodyear en 1839 y la síntesis de la Parkesina en 1862 por el inglés Alexander Parkes, la creatividad del hombre ha ideado diversas formas para moldear los materiales plásticos con el objeto de satisfacer sus necesidades. Por ejemplo: ha sido posible la sustitución de los materiales tradicionales como el vidrio, metal, madera o cerámica, por otros nuevos que permiten



Fig 47. El Plástico en la actualidad se ha vuelto un material insustituible.

Imagen obtenida de www.gazeta.lv y www.thegeoparkbackcountry.com con fines didácticos.

¹ BUCH, TOMÁS. *El Tecnoscopio*. Ed. AIQUE. Argentina 1990.

² EGUILUZ SENIOR, MIGUEL. *Diagnóstico de la Industria de los Polímeros en México*. México, 1983. p. 35

De acuerdo a datos de consumo obtenidos de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico, ANIPAC (2008)³, en México, se consumieron la cantidad de 4,850,000 Toneladas de plástico. Al analizar lo anterior con datos de consumo obtenidos de la Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero, CANACERO (2010)⁴, se pudo encontrar que los plásticos sólo se encuentran por debajo del consumo del hierro y el acero, pero debe tomarse en cuenta, que estos últimos tienen una densidad entre seis y siete veces mayor a la de los plásticos. Por esta razón, si comparamos el consumo de estos materiales desde la perspectiva de consumo volumétrico, en vez de un consumo en kilogramos, actualmente el consumo de plásticos es mayor al del acero. Durante los últimos cincuenta años la industria de los materiales plásticos ha tenido un desarrollo de proporciones gigantes, superando con creces al de la industria del acero.

En la época actual resultaría difícil imaginar que alguno de los sectores de nuestra vida diaria, de la economía o de la técnica, pudiera prescindir de los plásticos. Sólo basta con observar

a nuestro alrededor y analizar cuántos objetos son de plástico para visualizar la importancia económica que tienen estos materiales.

La *polimerización* es el proceso mediante el cual pequeñas moléculas de una sola unidad (conocidas como *monómeros*) o de unas cuantas unidades (*oligómeros*) se unen químicamente para crear moléculas gigantes. Por lo común la polimerización comienza con las largas cadenas en las cuales los átomos están fuertemente unidos mediante un *enlace covalente*⁵.



Fig 49. Macromoléculas.



Fig 48. Consumo de Acero vs. Plástico México. Fuente: Anipac (2010) y Canacero (2010)

3 ANIPAC. "Consumo Mundial de Plásticos." *Asociación Nacional de la Industria del Plástico*. (2008) www.anipac.com

4 CANACERO. "Indicadores de la Industria Siderúrgica Mexicana." *Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero*. (2008) www.canacero.org.mx

5 YURKANIS BRUICE, PAULA. *Química Orgánica*. Quinta Edición. Ed. Pearson Educación. México, 2008.

Los plásticos se utilizan en una increíble cantidad de aplicaciones, incluyendo prendas de vestir, juguetes, utensilios domésticos, elementos estructurales y decorativos, recubrimientos, pinturas, adhesivos, neumáticos para automóvil, materiales biomédicos, defensas e interiores para automóvil, espumas y empaques. Los polímeros se utilizan con frecuencia en materiales compuestos, tanto en forma de fibras como para la matriz. Las pantallas de cristal líquido (LCD) se fabrican a base de polímeros. También los utilizamos en los lentes fotocromáticos. También se usan para fabricar componentes electrónicos debido a su capacidad aislante y a su constante dieléctrica baja. Recientemente, se han logrado adelantos significativos en el área de dispositivos electrónicos flexibles basados en las propiedades útiles de piezoelectricidad, semiconductividad, óptica y electroóptica que se encuentran en algunos polímeros. Hay polímeros como el acetato de polivinilo (PVA) que son solubles en agua o en solventes orgánicos, y muchos de estos, se utilizan de aglutinantes, surfactantes o plastificantes en el procesamiento de los materiales cerámicos, los semiconductores y como aditivos para muchos productos de consumo. El polivinil butiral (PVB), es un polímero que forma parte de los vidrios laminados que se utilizan en los parabrisas de los automóviles. Posiblemente, los polímeros se utilizan en más áreas tecnológicas que cualquier otra material⁶.



Fig 50. También existen Polímeros conductores.

6 ASKELAND, DONALD R. *Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*. Ed. Thomson. México, 2004. p. 670.

Los polímeros comerciales o commodities, es decir, materias primas estándar, son materiales ligeros, resistentes a la corrosión, baja resistencia y rigidez, y no son adecuados para ser utilizados a elevadas temperaturas. Sin embargo, estos polímeros son relativamente económicos y se pueden moldear fácilmente en una diversidad de formas, desde bolsas de plástico o engranes mecánicos, hasta tinas de baño. Los polímeros de ingeniería están diseñados para dar una mejor resistencia o un mayor desempeño a temperaturas elevadas. Estos materiales se producen en cantidades relativamente pequeñas y suelen ser costosos. Algunos de los polímeros de ingeniería pueden funcionar a temperaturas tan altas como 350 °C; otros, usualmente como fibras, tienen resistencias superiores a las del acero.



Fig 51. Algunos usos de los Polímeros de Ingeniería.

Los polímeros también tienen muchas propiedades físicas útiles. Algunos, como, por ejemplo, los acrílicos como el Plexiglás™ y la Lucita™ son transparentes y pueden reemplazar al vidrio. Aunque la mayoría de los polímeros son aislantes eléctricos, ciertos polímeros especiales (como son los acetales) y los materiales compuestos base polímero poseen una conductividad eléctrica útil. El Teflón™ tiene un bajo coeficiente de fricción y es el recubrimiento utilizado en los utensilios de cocina antiadherentes. Igualmente, los polímeros resisten la corrosión y el ataque químico⁷.

7 ASKELAND, DONALD R. *Ciencia E Ingeniería De Los Materiales*. Ed. Thomson. México, 2004. p. 670.

En la presente década, principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del Polietileno Tereftalato (PET), material que viene desplazando al vidrio y otros plásticos, en el mercado de envases. El PET, es uno de los materiales que generan más contaminación en el mundo en la actualidad, también se va consolidando como útil en la vida cotidiana. Ante esta disyuntiva, su reciclaje se convierte en un nicho de posibilidad de negocios poco explotada⁸.



Fig 52. El Reciclado ha sido un mercado poco explotado.

8 LUGO DE LILLE, MICHELLE. "La Historia del Plástico." ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química – México). *Ingeniería Plástica*. www.ingenieriaplastica.com

Imagen obtenida de www.librizol.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.activrain.com con fines didácticos.

3.3 PLÁSTICOS HACIA LA SUSTENTABILIDAD

Es evidente que el uso de los plásticos tiene muchas ventajas contra otros materiales tradicionales como son el vidrio, el papel, el metal; principalmente porque se requiere menos energía en el proceso de transformación, se requiere menos agua en su procesamiento y se tienen productos de menor peso. A pesar de que la mayoría de los plásticos son inertes, es decir, no reaccionan químicamente, ni con el suelo, ni con el agua, ni con el aire, se han convertido en protagonistas de una complicada historia asociada con la basura.



Fig 53. Mito del plástico.

En la actualidad, se han buscado formas de controlar los desechos, por lo que la industria del plástico ha evolucionado las alternativas viables para evitar el problema de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). A continuación, definiremos algunos términos de importancia para poder entrar en tema de reciclaje y aclarar algunas “confusiones” que se han venido generando dentro del mercado de los plásticos. Digo confusiones, porque muchas empresas oportunistas, con tal de vender un producto, abusan de la terminología utilizando la bandera de “verdes” o “sustentables” cuando en realidad no siempre lo son; haciendo creer a la población, algo distinto.

Imagen obtenida de www.malforcaifos.com con fines didácticos.

- **PLÁSTICOS BIODEGRADABLES.** Son materiales plásticos completamente asimilables por los microorganismos presentes en un medio biológico activo, que lo utilizan como alimento y fuente de energía. El carbono de la estructura de los plásticos debe convertirse completamente en CO₂ durante la actividad microbiana. La biodegradabilidad de un material no depende del origen del material sino de su estructura química y molecular¹.



Fig 54. Plásticos Biodegradables.

- **PLÁSTICOS OXO-BIODEGRADABLES.** Polímeros de origen fósil o natural a los cuales es añadido un aditivo que permite su oxidación y su posterior reincorporación al medio ambiente. Estos materiales se activan por 3 factores: los rayos del sol, que funcionan como principal catalizador, la humedad y el calor. Estos aditivos fragmentan la cadena de sus moléculas hasta un nivel que pueden ser procesados o metabolizados

¹ CASTELLÓN, HELLO. “Plásticos Oxo-Biodegradables vs. Plásticos Biodegradables: ¿Cuál es el Camino?” *Ejecutivo de Servicios Técnicos Corporación Americana de Resinas, CORAMER, CA.* (2010)

por hongos y bacterias². Estos materiales están diseñados para degradarse y luego biodegradarse si llega al medio ambiente. Hay que aclarar que todos los plásticos eventualmente se fragilizarán, fragmentarán y serán bioasimilados, y la única diferencia hecha por la tecnología oxo-biodegradable es que el proceso es acelerado. Estos se han empleado en últimos meses en la fabricación de bolsas para los supermercados, suponiendo que así se evitará un daño ambiental³.



Fig 55. Plásticos Oxo-biodegradables.

- **PLÁSTICOS DEGRADABLES.** Aunque suena muy parecido a biodegradable, se refiere a un proceso diferente. En el estricto sentido de lo que implica el término “degradable”, todos los plásticos son degradables a mayor o menor grado, por lo que hay que tener cuidado con este término⁴.

² PLÁSTICOS 2K. “Tecnología Oxo Biodegradable.” *Plásticos 2k S.R.L.* (2010) www.p2k.com.do

³ SCOTT, GERALD; LEMAIREL, JAQUES; JAKUBOWICZ, IGNACY; OJEDA, TELMO; HEBBAR, PRAKASH. “La Oxo-Biodegradable Plastics Association Responde al Ataque de la Industria de los Hidro-Biodegradables.” *Oxo-Biodegradable Plastics Association.* (2009) www.biodeg.or

⁴ PRODUCTOS FLOWER. “Bolsas: compostables, biodegradables, oxodegradables, fotodegradables, hidrosolubles o reciclables?” *Compostadores. Sostenibilidad en Estado Puro.* www.compostadores.com

Imagen obtenida de www.jumbointernet.cl con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.mrpackagingpr.com con fines didácticos.



Fig 56. Plásticos Degradables.

- **PLÁSTICOS BIOBASADOS O BIOPLÁSTICOS.**

Productos que no son elaborados a partir del petróleo, sino de fuentes naturales renovables o biomasa, evitando así, los grandes consumos de combustibles fósiles. Estos provienen principalmente de almidones obtenidos del maíz, papa y trigo; del Ácido Poliláctico (PLA) obtenido de lácticos derivados del almidón de maíz y otras sustancias ricas en carbohidratos, como el azúcar y el trigo; y de los Polihidroxialcanoatos (PHA), producidos por el procesamiento de glucosa o almidones de ciertas bacterias; entre otros. Los bioplásticos o biopolímeros, pueden ser biodegradables o no, por lo que es muy importante aclarar que los plásticos basados en la biomasa no son siempre biodegradables y que los plásticos biodegradables no siempre provienen de la biomasa⁵.

- **PLÁSTICOS COMPOSTABLES.** Son materiales plásticos que son biodegradables bajo condiciones de compostaje, tales como: temperatura, humedad, presencia de microorganismos, en un espacio de tiempo

Imagen obtenida de www.dhlogyerde.com con fines didácticos.



Fig 57. Biopolímeros.

determinado. Por definición, un plástico compostable debe ser también biodegradable, pero un plástico biodegradable no necesita ser compostable. Estos son hasta un 400% más caros que los plásticos ordinarios, son más gruesos y si son enterrados en un relleno sanitario, pueden emitir metano, un gas de efecto invernadero 23 veces más poderoso que el CO₂, lo cual contribuye al cambio climático en lugar de mejorar el suelo, a menos que se controlen estas emisiones transformándolas en combustible⁶.



Fig 58. Polímeros Compostables.

⁶ QUIÑONES, IBER JAMES. "Vigilancia tecnológica aplicada para identificar las tendencias tecnológicas en los biopolímeros y plásticos degradables." *Informador técnico*, no 73. (2009) p. 53-65.

Imagen obtenida de www.uk.codra.net con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.kunststofforum.de con fines didácticos.

De las definiciones anteriores podemos concluir que los plásticos a base de petróleo, especialmente si se reciclan, tienen un mejor análisis de ciclo de vida que los plásticos bioplásticos. Los plásticos oxo-biodegradables, pueden ser reciclados en la misma forma que los plásticos normales y no necesitan puntos de recolección especiales. En contraste, los plásticos compostables y bioplásticos, no pueden ser reciclados aún con el plástico común, y arruinan el proceso de reciclado si entran en el flujo de estos residuos, por lo que estos deberán abrir su propio camino dentro del mercado de reciclaje.

La durabilidad y resistencia de los plásticos es una de sus características principales, y en estas, reside su enorme valor. Gracias a esta muy lenta degradación, los materiales plásticos son recuperables. Bajo estas premisas podríamos preguntarnos en este momento: ¿qué es más conveniente, reciclar o biodegradar? Supongamos que la tendencia a seguir consumiendo plásticos biodegradables sigue en aumento. A la larga, provocaría la falta de atención a la problemática provocada por los RSU, ya que la población tendrá la idea errónea de que estos desechos se desintegrarán en algún momento del camino, propiciando e



Fig 59. Contaminación.

Imagen obtenida de www.bloggrafico.com con fines didácticos.

⁵ DE ALMEIDA, ALEJANDRA "Bioplásticos: una alternativa ecológica." *Revista Química Viva*, no 3. (2004)

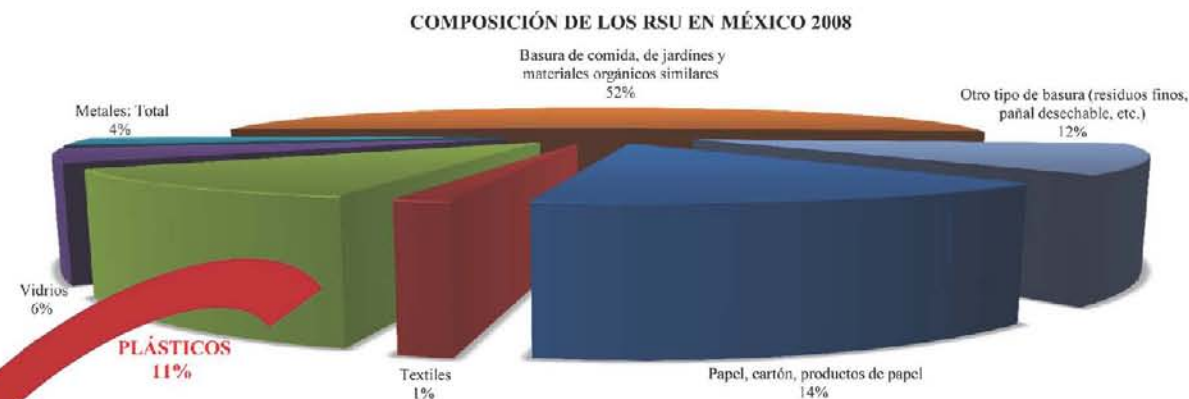
incentivando de nuevo la generación de basura entre la comunidad, en lugar de encontrarle un valor añadido a esta. Podemos decir que es una salida fácil el crear leyes destinadas al uso obligatorio de plásticos biodegradables, debido a que no se ataca el problema de los RSU y su impacto ambiental desde la raíz. Con esto, lo único que se logra, es evitar las responsabilidades correspondientes entre gobierno y sociedad. Lo que hace falta en verdad, es crear un efectivo plan de gestión en materia de reciclaje, descubrir y generar una economía en relación a esta industria y dejar de desperdiciar recursos que pueden generar grandes dividendos y hasta fuentes de trabajo. El objetivo no es descalificar a los productos biodegradables, simplemente se debe promover su uso en artículos de los cuales no queda más remedio que desecharlos, como es el caso de los Residuos de Manejo Especial (RME), por ejemplo, los desechos plásticos de hospitales.



Fig 60. Composición de los RSU en México. Fuente: SEMARNAT, 2008⁷.

Nunca será tarde para crear conciencia acerca de los problemas que nos involucran a todos como sociedad. El reciclaje óptimo no consiste en realizar solamente 2 separaciones de basura en nuestras casas: en orgánico e inorgánico. No estamos

Imagen obtenida de www.incom-europeo.com.ar/itl con fines didácticos.



en tiempos de hacer cambios paulatinos, sino de tomar medidas radicales que generen acciones tangibles a corto plazo. La composición de la basura en México, se basa principalmente en 7 compuestos distintos⁷. Si queremos que la industria del reciclaje funcione correctamente, una verdadera gestión de la basura, implica el que la sociedad transforme su manera de entregar la basura de su propio hogar; clasificando los residuos correctamente, en 7 diversos compuestos para una fácil selección posterior en los camiones recolectores o los vertederos finales, y de allí, a las industrias transformadoras. Con esto quiero decir que los RSU, son un problema de irresponsabilidad que puede solucionarse cambiando los hábitos y el comportamiento de la gente, más que modificando los productos que se desechan.

Para que un sistema generalizado de reciclaje pueda tener éxito, es necesario que se establezcan una alianza entre autoridades de todos los niveles, pepenadores, comerciantes en residuos y chatarra, empresas recicladoras y nuevos desarrolladores

tecnológicos. Cada quien tiene un rol importante que desempeñar en las diversas etapas del reciclaje de los desechos sólidos⁸.

El impacto ambiental de los productos de desecho, se basa en el análisis completo de su ciclo de vida, desde su producción, hasta el tratamiento final del mismo. Es decir, parte de la problemática de los residuos plásticos post-consumo, radica en la gran cantidad en que estos son desechados, cuando actualmente debemos tener ya en la mira de un futuro cercano, el nuevo mercado de reciclaje que poco a poco se irá adaptando a las necesidades de desarrollar nuevas tecnologías en esta materia. Cabe destacar la importancia de la generación reciente de nueva investigación multidisciplinaria de la UNAM, para enlazarla con la industria del país, intentando avanzar en la propuesta de nuevos desarrollos científicos donde se pueda emplear el material obtenido del reciclaje; dándole así, un nuevo valor agregado a los productos recuperados, ayudando a cerrar también, el círculo completo de la cadena de reaprovechamiento.

⁷ SEMARNAT. Informe De La Situación Del Medio Ambiente En México. Compendio De Estadísticas Ambientales. Edición 2008. México, 2008. p. 332.

⁸ SEDESOL-INE. Manejo Y Reciclaje De Los Residuos De Envases Y Embalajes. México, 1993. p. 22.

4. ESTAD



DO DEL ARTE



4.1 MERCADO DE LA INDUSTRIA DEL PLÁSTICO

Monica Conde (2004) a través de entrevistas con los responsables de los diversos sectores, logra obtener un informe donde se presentan datos con los que se espera ver el comportamiento de la industria del plástico en los próximos años:

4.1.1 SITUACIÓN GENERAL EN EL MUNDO

Desde el inicio de la década, a pesar de la situación económica y política que ha suscitado el terrorismo internacional, la industria del plástico presenta excelentes perspectivas que permiten prever un crecimiento sostenido de dos dígitos en países Latinoamericanos y Asiáticos, y de un dígito en regiones que incluyen los países altamente desarrollados, como Norteamérica y Europa.

El Consumo Mundial de Plásticos en el año 2004 fue de 210 millones de toneladas. Estados Unidos es el país de mayor consumo, con 54.6 millones de toneladas. China ocupa el segundo lugar, con 25 millones de toneladas presentando un índice de crecimiento anual

del 12%. Alemania se mantiene en el tercer lugar, con 16 millones de toneladas, muy cerca de Japón, con 15 millones de toneladas. México, ocupa la posición número 12 en el mundo, con 4.5 millones de toneladas, y es el segundo país en consumo de Latinoamérica,

después de Brasil que alcanza los 7 millones de toneladas de consumo de plásticos¹.

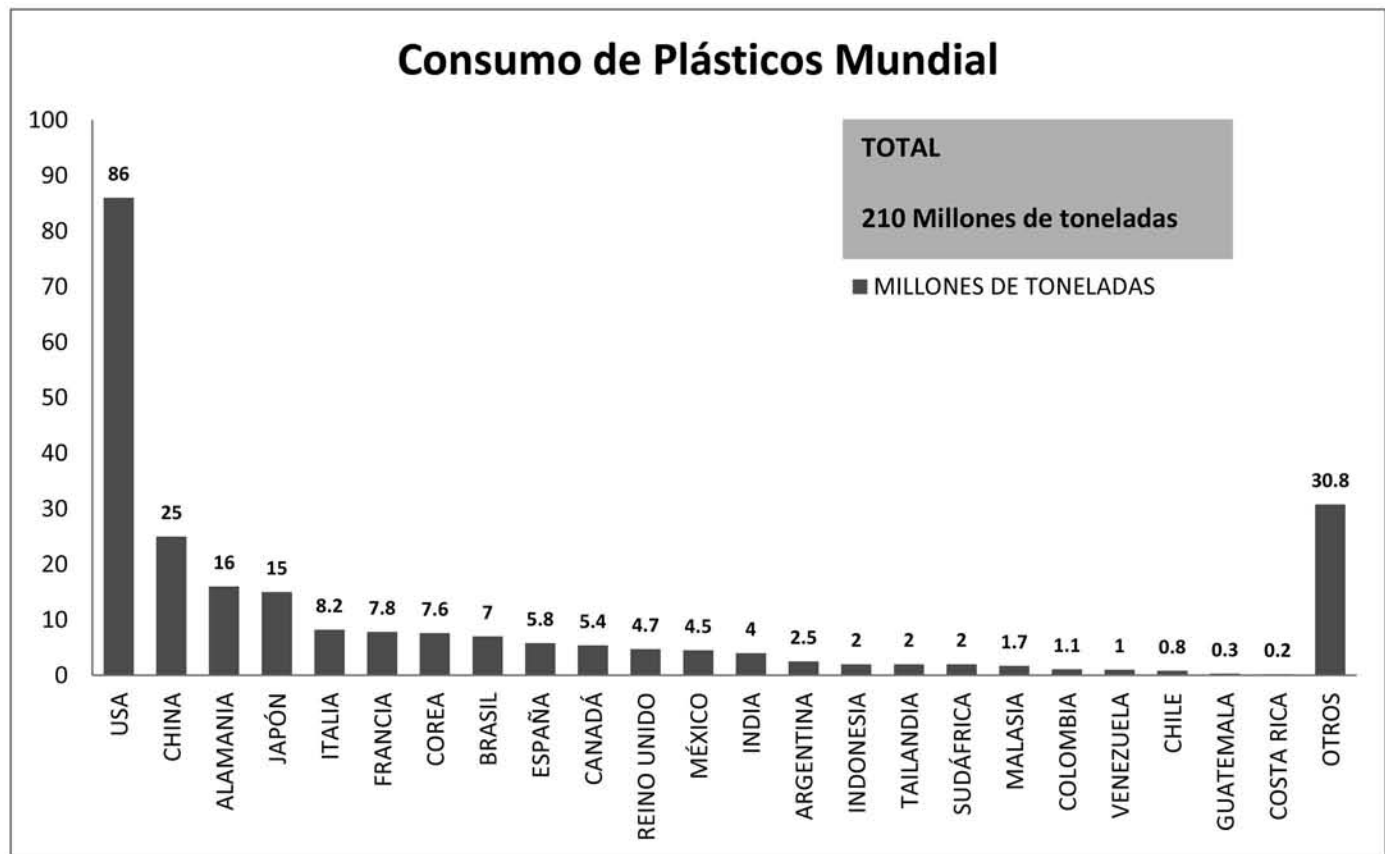


Fig 61. Consumo Mundial de plástico. Fuente: Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 2007¹.

¹ CONDE, MÓNICA. "Industria del Plástico en México y el Mundo." IMPI, Instituto Mexicano del Plástico Industrial, Centro Empresarial del Plástico, (2007) www.plastico.com.mx

4.1.2 SITUACIÓN GENERAL EN MÉXICO

Existe una clara debilidad en la producción de monómeros y polímeros como consecuencia de las políticas industrial y fiscal actuales. Esto, además, ha tenido como consecuencia que toda la industria química haya mostrado una caída en su participación dentro del PIB en menos de diez años, pasando de 5.3% en 1995 al 2% el año pasado, incrementando de manera sustancial el déficit en la balanza comercial. La incongruencia es que siendo México un país con altas reservas de crudo y gas natural y un tamaño importante de mercado para petroquímicos, dependamos de las importaciones para abastecer un mercado creciente como es la industria del plástico. La razón es la falta de disponibilidad de insumos petroquímicos competitivos, como el gas natural y derivados como el etano, los derivados de refinación (naftas y propileno) y el suministro de energía eléctrica es deficiente y tiene uno de los precios más altos del mundo.



Fig 61. La electricidad es muy cara en el país.

Imagen obtenida de www.diaridosenavarras.com con fines didácticos.

TRANSFORMADORES

La industria de transformación de plásticos formada por 4,500 empresas de acuerdo con cifras oficiales del país, enfrenta una problemática grave de competitividad, siendo un síntoma muy claro de esto el dramático deterioro de las exportaciones, la pérdida de participación en el mercado estadounidense y el acelerado crecimiento de las importaciones de productos terminados.

Sin afán de generalizar, en una gran mayoría de empresas transformadoras de los productos están medio hechos, los procesos son ineficientes, la calidad es heterogénea e inconsistente, falta servicio técnico al usuario, los mercados y clientes son inestables, existe un gran desconocimiento de materiales y propiedades y persiste una escasa cultura en plásticos en todos los niveles con una mínima orientación hacia la innovación y desarrollo.



Fig 62. Problema de Competividad.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Aunado a todo esto, durante 2004 los directivos de las empresas transformadoras han tenido que enfrentar incrementos de precios sin precedentes en sus materias primas y no han tenido la oportunidad de negociar con sus proveedores. Es un hecho que los productores no están dispuestos a absorber los incrementos en los costos de producción por los que los transformadores han estado obligados a pagar este incremento para poder adquirir sus materias primas.

El resultado esperado al final del año es que el problema de liquidez se acentúe, provocando que los transformadores tengan que disminuir sus niveles de producción comprando menos cantidad y consuman todos sus inventarios, ya que todavía será muy difícil para ellos transmitir los incrementos de precios al consumidor final.

Como en las crisis siempre hay ganadores y perdedores, la industria del reciclaje se coloca en los primeros, ya que ante los altos precios de materias primas, las empresas que se dedican a la recuperación de desperdicios industriales han incrementado considerablemente sus márgenes de utilidad.



Fig 63. El reciclaje ha ido ganando terreno.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Durante el 2004, se vivió por distintas causas, un fenómeno sin precedentes, donde el crudo alcanzó precios históricos, por arriba de los \$50 dólares por barril, lo que provocó que todas las materias primas derivadas del petróleo elevaran también sus precios. Propiciados por los costos estratosféricos del petróleo crudo y el gas natural, y por algunos petroquímicos como el etileno, el propileno y el benceno, los precios de las resinas en México tuvieron incrementos en el período de diciembre del año 2003 a octubre de 2004 que van desde el 21% para el caso del PET —que es el plástico que más tiempo tardó en aplicar aumentos—, hasta casi el 82% para el Poliestireno, que es el polímero que más se vio afectado por el precio del benceno.



Fig 64. El precio del Petroleo es muy cambiante.

Desafortunadamente para los transformadores, los productores de resinas esperan que estos precios se mantengan en alto en lugar de bajar. La buena noticia para los transformadores es que la demanda de los consumidores está creciendo, lo cual ha motivado que sus propias ventas estén por arriba de lo estimado a principios de año, contribuyendo así a que algunos incrementos de resinas bajen un poco más fácil.

Pero la pregunta es, ¿qué sucederá si la economía global mejora y los precios de resinas no pueden disminuir? Hasta ahora, los transformadores han sido capaces de absorber gran parte de estos incrementos ante la rígida economía y la elevada competencia, sin embargo, si los incrementos continúan, muchos directivos expresan que ya no podrán seguir fabricando productos sin impactar los incrementos a sus clientes finales.

Es un hecho que el proceso de globalización está originando las grandes fusiones entre empresas, de manera que cada vez habrá menos jugadores y los lineamientos comerciales serán cada vez más rígidos.



Fig 65. La Fusión entre empresas ha sido buena alternativa.

PLÁSTICOS COMMODITIES

Este grupo de plásticos representa el 80% del consumo de plásticos en México y se estima que al cierre del 2004 crecerá un 7% global. En el año 2004 se estima que las importaciones de Plásticos Commodities llegarán a 1,855 millones toneladas con un crecimiento del 3% con respecto al año anterior. La producción crece considerablemente, en un 43%, debido a que la operación de la mayoría de las empresas productoras

está ya en sus tasas más altas para abastecer tanto al mercado local como a los mercados de exportación.

Aunque existe la promesa de la construcción de nuevas plantas en México, tanto de Polietileno como de Polipropileno, que son los plásticos con mayor volumen de importación, éstas no serán suficientes, ya que la demanda seguirá creciendo y, por el momento, no existen anuncios de expansión o construcción de nuevas plantas en Estados Unidos que son nuestros principales proveedores (como Dow, Exxon, Fina), debido a que los márgenes actuales no son adecuados para pensar en ello.

El PET (Polietilén Tereftalato) es el plástico con mayor tasa de crecimiento, y está alcanzando las 812 mil toneladas de consumo. Actualmente, es el plástico que tiene la mayor capacidad instalada, con 880 mil toneladas anuales, repartida entre M&G, como el mayor productor en México, seguido de Invista (antes KOSA), Voridian y Kimex. El mercado principal es el de envases para bebidas carbonatadas, aguas y aceites, y con gran potencial para crecer en los envases para conservas, productos médicos, agroquímicos, vinos, licores y productos industriales.



Fig 66. Pet es el plástico con mayor tasa de crecimiento.

Imagen obtenida de www.iStockphoto.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.iStockphoto.com con fines didácticos.

Si se suman los diferentes tipos de Polietileno que hay en México ocuparían el primer lugar en consumo de plásticos en el sector, y la suma de ellos podría equivaler al 34% del volumen del mercado total, con 1,527,000 toneladas durante el año 2004. No existen cambios en la capacidad instalada del Polietileno Baja Densidad, y su crecimiento es bajo (2%), debido a que está siendo sustituido, en muchas aplicaciones, por Polietileno Lineal de Baja Densidad, el cual, a su vez, muestra un crecimiento del 8%.

En el caso de Polietileno de Alta Densidad, la capacidad instalada en el año 2004 se mantiene en 200,000 toneladas anuales, por parte de Pemex, con expectativas de crecimiento a 315,000 toneladas para fines del año 2005, debido al arranque de la planta swing que producirá grados de rotomoldeo e inyección en PEAD, además de grados de extrusión de Polietileno Lineal de Baja Densidad, el cual es el tipo de mayor crecimiento (8%), y hasta ahora, se tiene que importar en su totalidad. En general, los mercados del Polietileno siguen siendo las películas para diversos usos, tubería, tinacos y artículos para el hogar.



Fig 67. El Polietileno es el plástico de más consumo.

Imagen obtenida de www.industriascondor.com.co con fines didácticos.

El Polipropileno se ubica como el segundo plástico de mayor consumo en México, y se estima que cerrará con 740,000 toneladas este año, lo que representa un 7% de incremento con respecto al año 2003. Sus principales aplicaciones son: Película para Envase, Tapas, Sillas y Compuestos para uso técnico. Su capacidad instalada es de 230,000 toneladas a cargo de la firma Indelpro, que recientemente ha anunciado para el 2006 que tendrá una nueva planta con capacidad adicional de 350 mil toneladas.



Fig 68. El Polipropileno es el 2o plástico de más consumo.

En el mercado del Poliestireno, todo lo que sucede con esta materia prima lleva inscrita la palabra "benceno", un producto de la refinería de petróleo que se emplea para hacer el monómero de estireno, el cual permanece por arriba de \$1 dólar por litro, casi cuatro veces su promedio histórico.

Imagen obtenida de www.chairsline.com con fines didácticos.

El efecto en el PS ha sido muy violento, con incrementos de precio del orden de 76% total, en un período de diciembre del 2003 a octubre de 2004. Ese es un número que nadie pudo haber imaginado al inicio del año.

Por mucho tiempo, el benceno fue poco atractivo, por el margen de ganancias, y varias compañías que desde el año 2000 habían estado produciendo benceno disminuyeron su capacidad. Actualmente, con la cantidad de comestibles que se está demandando en el mundo, mucho del benceno y su precursor, el tolueno, se está usando en gasolina, por su valor de alquilación como un ingrediente de gas. Así que el benceno resulta insuficiente. No obstante, el Poliestireno en México presentó un crecimiento del 2% en el consumo.

Los mercados más activos fueron el de la refrigeración, el de los televisores y el de los envases para alimentos, además del grado de PS expansible, el cual sigue siendo atractivo para la construcción.



Fig 69. El Poliestireno es el plástico que subió más su costo.

Imagen obtenida de www.kdreepjlast.com con fines didácticos.

Por otro lado, el PVC tuvo este año un incremento del 12% en la capacidad instalada, como consecuencia de mantenimientos y adecuaciones que se hicieron en las plantas de Grupo Primex y Mexichem, para alcanzar las 617,000 ton/año.

Es el plástico que más se exporta de México, con niveles de 165,000 ton/año. Sus mercados nacionales están concentrados en la tubería para uso en construcción, por lo que sus crecimientos están muy ligados al desarrollo de este sector.

Otro uso importante de este polímero es el calzado, donde también ha tenido fuertes contracciones debido a las importaciones de productos terminados de origen asiático y brasileño.

Uno de los problemas que enfrenta este polímero en México es el limitado abasto de monómero de vinilo de producción nacional y aunado al alto precio que se tuvo, los productores trabajaron en tasas moderadas de producción, aunque al final del año la situación se mejora. Se estima que el consumo al final del año tenga un ligero retroceso en el consumo del 1% con respecto al 2003.



Fig 70. El PVC es el plástico que más se exporta.

Imagen obtenida de www.plastic-trends.com con fines didácticos.

PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

Los Plásticos de Ingeniería o Técnicos representan un impacto del 7.3% en el consumo total de plásticos en México, con un volumen de 330,500 toneladas para el año 2004, siendo los Copolímeros de Estireno (ABS, SAN, ASA) los de mayor participación, seguidos por el Policarbonato y las Poliamidas. A partir de este año se integró a este grupo de plásticos, el copolímero en bloque SBS, que si bien no es un plástico técnico, sí resulta ser una especialidad porque sus aplicaciones en México se encuentran en período de desarrollo.

En general, los plásticos técnicos se estima tendrán un crecimiento del 8% para el año 2004, orientados principalmente a los mercados Automotriz, Refrigeración y Electrodomésticos.

Aunque en México la construcción de autos bajó casi un 1%, el mercado automotriz abarca cerca del 40% del total de aplicaciones para este tipo de plásticos. Sin embargo, cada vez se utilizan más plásticos técnicos en cada vehículo, de modo que se verifica un efecto multiplicador que motiva el crecimiento de las ventas, aún cuando los precios de estos polímeros se han disparado al menos en 30%.

El ABS y otros Copolímeros de Estireno tendrán un crecimiento del orden del 12% en el consumo. Su principal aplicación está en la Refrigeración, los Televisores, los Electrodomésticos y la industria automotriz. En la práctica, se exporta casi un tercio de la producción principalmente hacia los Estados Unidos para abastecer aplicaciones del mercado de

construcción, como tubería y marcos para ventanas, productos que en México no se han desarrollado. Los incrementos están en el orden de los 30 a 40 centavos por kilogramo de resina este año. Debido a la nueva capacidad de un millón de toneladas en el 2003, las tasas de operación globales de ABS permanecen aún bajas. La mayor parte de esta nueva capacidad se ha dado en Asia, pero BASF también ha añadido 200,000 toneladas en los Países Bajos, y aún tiene capacidad disponible en su planta de México, con capacidad de 150 mil toneladas.



Fig 71. ABS tendrá buen crecimiento.

Como un derivado de la cadena del Benceno, el Policarbonato ha tenido incrementos sustanciales en precios del orden de los 0.35 ¢ de dólar/kg, pero la demanda ha permanecido fuerte y no se esperan reducciones en los niveles de precios alcanzados. A pesar de esos retos, las expectativas de un fuerte crecimiento continúan para el 2005. Los proveedores de Policarbonato en México esperan un crecimiento no menor a 8% para el siguiente año, con un cierre de tasa

Imagen obtenida de www.respec.cz con fines didácticos.

de crecimiento de 6% en el 2004.

El aumento de ventas para discos digitales, forman parte de la razón de este optimismo, además de que hay buenos resultados en botellas para agua, alimentos y láminas, los cuales están posicionados como productos de alta calidad y que estimulan una diferenciación de producto.

Se espera que el desarrollo de ventanas a base de PC para automóviles incremente su consumo sustancialmente en el año 2006. A nivel global, se espera que las tasas de operación del PC permanezcan en el rango de entre 85 y 90 %.

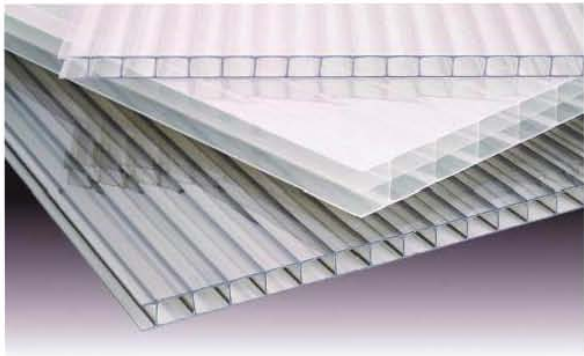


Fig 72. El PC no frenará su crecimiento.

Los elastómeros termoplásticos operan en el extremo más alto del mercado de resinas, tanto en el margen de precios como en el de ganancias, pero al igual han sido afectados por la presión de las materias primas este año. Las ventas de TPE han crecido en el orden del 5%, pero en México la producción nacional aún están orientadas

principalmente al mercado de calzado y recubrimiento de alambre y cable. Otros mercados, como el automotriz, demandan grados que no se producen en el país por lo que tienen que ser importados.

En el mercado automotriz, los TPE han reemplazado de manera continua a los compuestos de PVC y otros plásticos de ingeniería.



Fig 73. Los TPE han comenzado a quitar mercado al PVC.

En el caso de las Poliamidas, las oportunidades siguen en el reemplazo de metal en áreas donde se requiere mayor tenacidad, ligereza y resistencia química mecánica en general. También están reemplazando a los Plásticos Termofijos en partes eléctricas y electrónicas para autos. El crecimiento en México debe estar cerca del 5 %, pero si la industria automotriz baja, podría haber una pérdida.



Fig 74. Las Poliamidas siguen reemplazando a los metales.

Por otro lado, los acetales mantienen un ritmo del 4% en crecimiento, en mercados automotriz, electrónico y juguetes. El acrílico integrando aplicaciones de lámina y granulado creció en el orden del 2%. Para moldeo, este plástico se utiliza principalmente en la industria automotriz con grados que se importan al país. Otros plásticos técnicos como los Poliésteres Termoplásticos (PET y PBT) y los plásticos especiales, tienen importantes desarrollos y se orientan en gran medida al abasto de firmas transnacionales de altos estándares de calidad.



Fig 75. Los Acrílicos crecieron un 2%.

PLÁSTICOS TERMOFIJOS

Este grupo de materiales representa en México un gran dilema. No es fácil detectar los números de volumen de mercado, en parte, porque las resinas se utilizan en forma de compuestos con cargas y refuerzos, de manera que los datos pueden ser interpretados de diversas formas. Con todo, este es un primer intento del Centro Empresarial del Plástico para integrar información publicada oficialmente y con datos obtenidos de manera directa a través de entrevistas a proveedores y transformadores de estos polímeros.

Se estima que su consumo crecerá en el orden del 6%, siendo el Poliuretano el plástico que ocupa el primer lugar en consumo de este grupo, seguido de la resina Poliéster Insaturada (UP). La capacidad instalada incluye prácticamente a todos los plásticos, con excepción de las Resinas Epóxicas (EP), aunque cabe hacer notar que la capacidad referida para Poliuretanos (PUR) incluye exclusivamente la formulación de sistemas, de los cuales existe una parte de los Polioles requeridos de producción nacional y otra de importación, además de los Isocianatos, que tampoco son producidos en México.

Las aplicaciones del Poliuretano se dividen principalmente en Sistemas Rígidos y Sistemas Flexibles con una participación aproximada de del 50% y 44% respectivamente. Los primeros tienen su principal mercado en la industria de refrigeración (que es uno de los mercados que más está creciendo en México), así como aplicaciones en construcción. Los Flexibles se utilizan principalmente en el mercado

de muebles y colchones e industria automotriz y el mercado de calzado también utiliza sistemas flexibles y semirrígidos. El 6% restante del mercado lo ocupan los adhesivos y recubrimientos. La producción equivale a la formulación de sistemas, puesto que todo el isocianato es importado. Las empresas que formulan en México son: Bayer MaterialScience, Polioles (BASF), Dow Chemical y Huntsman (antes ICI), más algunas firmas pequeñas dedicadas principalmente a formulación de recubrimientos y adhesivos. Desde hace dos años, también participa en el mercado mexicano la firma Shell.



Fig 76. El Poliuretano tiene una gran participación en el mercado.

La resina UP (Poliéster Insaturado) se aplica tanto en mercados de construcción, decoración y embarcaciones ligeras; además, en la industria, para la elaboración de tanques industriales. En México, es producido por siete firmas sobresaliendo por su tamaño, Grupo Químico Toluca, Reichhold y AOC Mexicana de Resinas.



Fig 77. El Poliéster Insaturado se usa mucho en la producción de embarcaciones.

Las resinas de Urea Formaldehído (UF) y Melamina Formaldehído (MF) se aplican principalmente en tablas aglomeradas para la fabricación de muebles, donde existe además un alto índice de importación de productos terminados con características diferentes a los de producción nacional. También son utilizadas junto con otros tipos de resinas en la producción de diversos tipos de recubrimientos, pinturas y barnices.



Fig 78. Las Resinas UF se utilizan en barnices.

Las Resinas Epóxicas crecen moderadamente debido a sus aplicaciones en recubrimiento para pisos industriales, adhesivos y moldeo de partes para la industria eléctrica.



Fig 79. Las Resinas Epoxi se usan mucho en adhesivos.

La industria de los aditivos está enfrentando un fenómeno muy similar al de las resinas plásticas: megafusiones, incrementos de precios hasta de un 70 y 80%; en algunos casos, hubo oferta limitada por China, y hacia el final del año, incertidumbre general. Aún así, en México, al tener un uso tan incipiente, los aditivos tienen un gran potencial de crecimiento y este año cierra con 300 mil toneladas, lo cual representa un crecimiento del orden del 11% con respecto al de 2003.

Uno de los principales alicientes que ofrece el uso de aditivos es, que permiten elaborar formulaciones donde se puede lograr abatir costos en el producto final, ya sea por disminución en el ciclo de proceso, empleo de mayor contenido de cargas, ligereza o incremento en el margen de utilidad debido al valor agregado general que imparten, lo cual suena muy bien en un entorno donde las utilidades de los transformadores están cada vez más oprimidas. Las acciones por parte de los proveedores de aditivos en México están orientadas a motivar la cultura de uso, y afortunadamente, cada vez con más frecuencia, están sembrando la inquietud en las áreas tecnológicas y de desarrollo de las empresas medianas y grandes. Este año, las empresas fabricantes de compuestos como EIQSA, A. Schulman. Dispersiones Plásticas, LNP y DuPont lograron producciones récord, lo cual no deja de ser un signo importante en la industria de los aditivos.



Fig 80. Los aditivos lograron producciones récord.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

MOLDES, MAQUINARIA Y EQUIPO

Muchos fabricantes y proveedores de maquinaria, tradicionalmente presentes en el mercado mexicano, coinciden en que todos estamos pasando por la peor crisis de los últimos 20 años y comentan que, ahora, es diferente, pero no por una devaluación como la de 1994, o por una caída de precios del petróleo, sino que, esta vez, por una crisis de Confianza.

Esta situación trae como consecuencia que las empresas, al no encontrar certeza en sus negocios, no están invirtiendo. Pero la realidad, en opinión de los proveedores de equipos, es que muchos empresarios no tienen capacidad para hacer negocios, ya que el mercado existe pero es cada vez más exigente en aspectos como la calidad, la precisión, el servicio, la innovación, el desarrollo continuo... Por desgracia, éstas no son características de la industria del plástico mexicana, al menos en su gran mayoría.

Otro factor que ha influido que las ventas no hayan despegado como esperaban muchas firmas reconocidas a principios de año, es que existe una competencia muy agresiva, y algunas veces deshonesta, que se aprovecha de la falta de información de los industriales y ofrecen resultados que nunca cumplen, pero con condiciones muy atractivas para la adquisición de equipos.

No obstante, las ventas en valor esperadas para el 2004 reflejan un ligero incremento del 2% respecto del año anterior, particularmente en lo que se refiere a adquisición de moldes (nuevos y usados); en segundo

lugar, máquinas inyectoras, y en tercero, maquinaria para soplado. Las inversiones en equipo de extrusión se ubican principalmente en el rango de gran tamaño para producción de película biorientada.

También se registraron ventas en equipos de acabado, desde impresoras pequeñas hasta las de gran tamaño, así como equipos periféricos, en general. Aún así, no se han alcanzado las cifras que se obtuvieron en el año 2002 por concepto de venta de maquinaria.

La gran esperanza es que el próximo año los empresarios que están visualizando nuevas oportunidades, también crean en la capacitación continua, inviertan en la investigación y desarrollen nuevos productos. Ellos son los que impulsarán la economía de este sector, modernizando la planta productiva y elevando su nivel de competitividad global².



Fig 81. Las ventas de maquinaria no aumentaron como se esperaba.

2 CONDE, MÓNICA. "Mercado de la Industria del Plástico". *Ambiente Plástico*, no. 09. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2004), p. 32-47.

Imagen obtenida de www.plasticosmademol.jimdo.com con fines didácticos.

4.2 ¿COMO SE CLASIFICAN PLÁSTICOS?

Los plásticos, como los humanos, se pueden clasificar en un sinnúmero de posibilidades; ya sea por su altura, su género, su complejidad, su nacionalidad, su raza, su manera de alimentarse, etc. Al clasificar los polímeros o materias plásticas, se pueden hacer muchas y muy distintas clasificaciones, siendo todas igualmente válidas, puesto que no existe una sola que agrupe a toda la gran variedad de materiales plásticos que existen. A continuación se procede a introducir las principales clasificaciones que con ellos se pueden hacer.

4.2.1 SEGÚN SU ORIGEN

NATURALES

Son todos aquellos que se forman en un estado natural y provienen de los seres vivos, por lo tanto, dentro de la naturaleza podemos encontrar una gran diversidad de ellos. Por ejemplo, las proteínas (compuestas de aminoácidos), los ácidos nucleicos (formados por nucleótidos), los polisacáridos (como la celulosa y la quitina), el hule o caucho natural, la lignina, entre otros.



Fig 82. El Algodón es un polímero natural.

Imagen obtenida de www.Florence.de con fines didácticos.

SEMISINTÉTICOS

Son el resultado de modificar de manera completa o parcial ciertos polímeros naturales mediante procesos químicos. Por ejemplo, la seda artificial obtenida a partir de la celulosa, el caucho vulcanizado y la nitrocelulosa.



Fig 83. El resultado de la vulcanización es un polímero semisintético.

SINTÉTICOS

Son todos aquellos creados por el hombre. Estos se obtienen por síntesis química ya sea en una industria o en un laboratorio y están conformados a base de monómeros naturales. Por ejemplo, el nylon, el policloruro de vinilo (PVC) y el polietileno (PE).



Fig 84. El Nylon es un ejemplo de polímero sintético.

4.2.2 SEGÚN SU ARQUITECTURA

POLÍMEROS LINEALES

Compuesta por monómeros que se arreglan formando una larga cadena en forma de espagueti. Esta cadena se denomina *cadena principal*. Por ejemplo, el polietileno (PE) y el alcohol polivinílico.

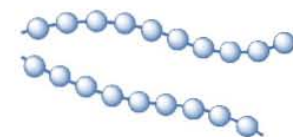


Fig 85. Polímero Lineal.

POLÍMEROS RAMIFICADOS

Estos polímeros tienen otras ramificaciones o cadenas secundarias conectadas lateralmente a la cadena principal. A estas cadenas o ramificaciones que se pueden presentar de mayor o menor tamaño, se les denominan *grupos pendientes*. Esta división puede ser producida bien por impurezas o también por la presencia de monómeros que tengan varios grupos reactivos. Por otra parte cuanto más largas sean las cadenas más fácilmente se enroscarán unas alrededor de otras dificultando el movimiento de las mismas y provocando mayor rigidez. Como ejemplo tenemos al policloruro de vinilo (PVC) y al poliestireno (PS).

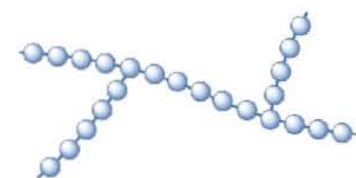


Fig 86. Polímero Ramificado.

Imagen obtenida de www.pyreviews.co.uk con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.imagedirect.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.textoscience.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.textoscience.com con fines didácticos.

POLÍMEROS RETICULADOS

En este tipo de polímeros, dos o más cadenas están unidas por cadenas secundarias. Con un grado pequeño de entrecruzamiento, se obtiene una red poco compacta, esencialmente de forma bidimensional. Muchos tipos de caucho, como el poliisopreno y el polibutadieno, son polímeros entrecruzados.

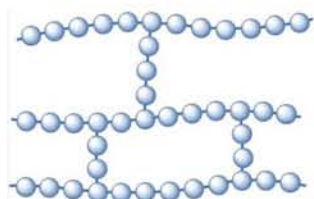


Fig 87. Polímero Reticulado.

POLÍMEROS ENTRECruzADOS

Son polímeros con grados elevados de entrecruzamiento, dando lugar a redes compactas tridimensionales. Todos los tipos de entrecruzamientos son producidos por reacciones químicas. Por ejemplo, la baquelita y el epoxi.

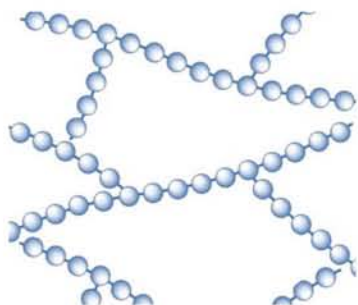


Fig 88. Polímero Entrecruzado.

4.2.3 SEGÚN SU TIPO DE REACCIÓN (SÍNTESIS)

POLÍMEROS DE ADICIÓN

Tiene lugar por la unión sucesiva de varias unidades de monómeros y son el resultado de la reorganización de enlaces que se produce entre ellas. Esta polimerización se genera cuando un “catalizador” -que funciona como motor de arranque- inicia la reacción. Este catalizador separa la unión doble carbono en los monómeros, luego aquellos monómeros se unen con otros debido a los electrones libres, y así se van uniendo uno tras uno hasta que la reacción termina. Decimos que una polimerización es por adición, si la molécula entera es adicionada al polímero en su totalidad. Como ejemplo tenemos el caso del polietileno (PE), formado por la unión de varias moléculas de eteno (etileno).

Imagen obtenida de www.extostocientificos.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.extostocientificos.com con fines didácticos.

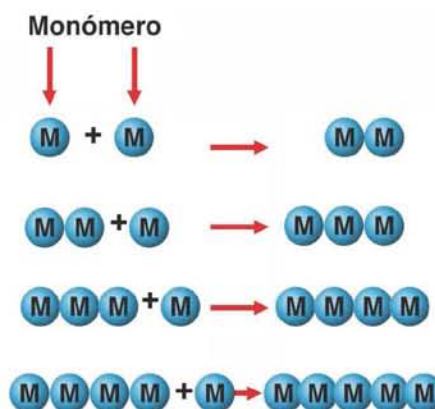


Fig 89. Polímero en Adición.

POLÍMEROS DE CONDENSACIÓN

Tiene lugar mediante reacciones de condensación entre los monómeros, los cuales se combinan en una molécula más grande. Llamamos a la polimerización por condensación, si parte de la molécula de monómero se pierde cuando esta pasa a formar parte del polímero; esto implica, a cada paso, la formación de una molécula de baja masa molecular; por ejemplo, el agua, etanol y metanol. Las polimerizaciones por condensación generan subproductos, las polimerizaciones por adición, no. Un ejemplo importante, es la polimerización del dimetiltereftalato y del etilenglicol -que también se utiliza como refrigerante en los radiadores de automóvil- al formar un poliéster.

Imagen obtenida de www.educarchile.cl con fines didácticos.

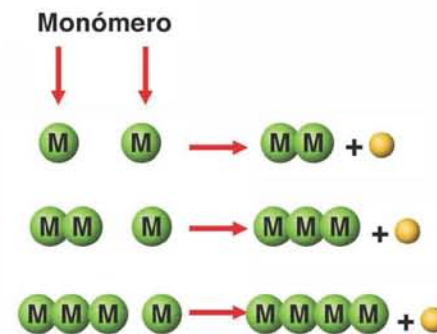


Fig 90. Polímero en Condensación.

Imagen obtenida de www.educarchile.cl con fines didácticos.

4.2.4 SEGÚN SU TÉCNICA DE POLIMERIZACIÓN

POLIMERIZACIÓN EN MASA

Se mezclan los monómeros directamente con el catalizador. Como la reactividad de los grupos funcionales aumenta con la temperatura, la reacción suele llevarse a cabo a temperaturas elevadas (por ejemplo, a 200°C). A estas temperaturas la masa está en forma fundida. No hay resto de autocalentamiento explosivo (como ocurre en el caso de adición) porque la reacción entre grupos no es exotérmica, en general.

POLIMERIZACIÓN EN DISOLUCIÓN

Se lleva a cabo a temperaturas más bajas, próximas al ambiente, por lo que no existe riesgo de descomposición térmica. A cambio, a esas temperaturas, la reactividad de los grupos suele ser muy baja, y para acelerar la reacción, se recurre a grupos modificados que sean más reactivos que los originales.

POLIMERIZACIÓN EN SUSPENSIÓN

La polimerización en suspensión es también llamada polimerización en perlas. La polimerización es heterogénea y el monómero y el iniciador son insolubles en agua que actúa como medio dispersante. La polimerización ocurre dentro de las partículas en suspensión de 2-10 mm. de tamaño medio, y que contiene el monómero y el iniciador. La velocidad de agitación determina el tamaño de las partículas. Además el sistema cuenta con agentes tensoactivos que mantienen separadas y no adheridas entre sí las partículas y evitan su precipitación como perlas.

POLIMERIZACIÓN EN EMULSIÓN

La polimerización en emulsión es una polimerización heterogénea en un medio líquido que requiere una serie de aditivos con funciones específicas: Emulsionante (generalmente un detergente), protectores, reguladores de tensión superficial, reguladores de polimerización (modificadores), activadores (agentes de reducción).

El iniciador es soluble en agua, mientras que el monómero es apenas parcialmente soluble. Esto motiva el empleo del *emulsionante* que tiene como objeto formar micelas de 1 mm. formadas por el monómero. Algunas micelas son activas, pues la reacción de polimerización ocurre dentro de ellas, mientras que otras son inactivas (gotas de monómeros). Siendo apenas una fuente de monómero, el progreso de la reacción provoca que las micelas inactivas sean consumidas por las activas que crecen formando gotas de polímero y finalmente el polímero sólido. La velocidad de reacción y conversión es alta, y resulta sencillo el control de la agitación y a temperatura, Los polímeros obtenidos tienen pesos moleculares grandes pero son de purificación compleja debido a la gran cantidad de aditivos.

POLIMERIZACIÓN INTERFACIAL

Aquí, la polimerización ocurre en la interface entre dos solventes inmiscibles, en que cada uno de los monómeros está en una de las fases. El polímero se forma en esta interface, luego se remueve a fin de permitir la continuidad de la polimerización. Este método es limitado a un pequeño número de polimerizaciones en etapas, debido a las condiciones de reacción necesarias.

POLÍMEROS FORMADOS POR REACCIÓN EN CADENA

La característica esencial de la polimerización en cadena es la presencia de un punto activo al final de algunas cadenas, que permite el crecimiento del polímero. El crecimiento se efectúa por adición sucesiva de monómeros al nivel del punto activo. Este punto puede moverse sobre la misma cadena. Así, podemos tener cadenas ramificadas.

POLÍMEROS FORMADOS POR ETAPAS

La característica principal de este tipo de polímeros es el crecimiento lento de las cadenas de una manera sistemática y escalonada. Los monómeros se combinan entre sí para dar dímeros, es decir las cadenas en crecimiento pueden reaccionar entre sí para formar cadenas aún más largas. Este dímero, puede reaccionar con uno de los monómeros para formar un trímero, puede reaccionar con otro dímero para formar un tetrámero, o hasta reaccionar con un trímero para formar un pentámero y así crecer y crecer hasta que los oligómeros sean lo suficientemente grandes como para transformarse en polímeros.

4.2.5 SEGÚN EL TIPO DE MONÓMERO

HOMOPOLÍMEROS

Son polímeros constituidos por la repetición de un único monómero formando una cadena homogénea. Ejemplos de homopolímeros son, el polietileno (PE) y el poliestireno (PS).



Fig 91. Homopolímero.

COPOLÍMEROS

Polímero constituido por dos o más monómeros formando una cadena heterogénea. Existen cuatro formas de disponer la estructura de los monómeros en la cadena:

COPOLÍMEROS AL AZAR O ALEATORIOS.

La cadena principal del polímero tiene monómeros unidos en una secuencia desordenada a lo largo de la cadena.



Fig 92. Copolímero al Azar.

COPOLÍMEROS ALTERNADOS. La cadena principal del polímero tiene los monómeros unidos en forma alternada.



Fig 93. Copolímero Alternados.

COPOLÍMEROS EN BLOQUES. La cadena principal del polímero tiene los monómeros unidos en una secuencia formada tramos más o menos largos de un tipo, cada uno seguido por un tramo de otro tipo.



Fig 93. Copolímero en Bloque.

COPOLÍMEROS DE INJERTO. La cadena principal del polímero tiene apenas unidades de un mismo monómero, mientras que el otro monómero solo forma parte de ramificaciones laterales o injertos.

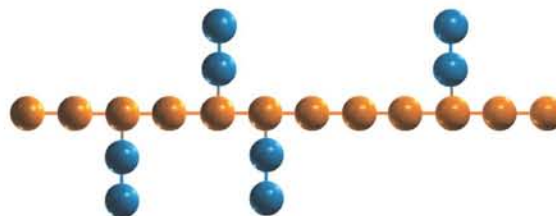


Fig 94. Copolímero de Injerto.

TERPOLÍMEROS. Es la manera de nombrar en particular, a los copolímeros formados por tres monómeros reiterativos diferentes. Un ejemplo típico es el acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS).



Fig 95. Copolímero Terpolímeros.

4.2.6 SEGÚN SU ESTRUCTURA MOLECULAR

CRISTALINOS

La *fusión*, es una transición que se manifiesta en estos polímeros, y ocurre cuando las cadenas poliméricas abandonan sus estructuras cristalinas y se transforman en un líquido desordenado. Al fundirse las cadenas se desordenan creando una masa amorfa que al solidificar, es de forma cristalina dando una elevada rigidez. Las propiedades mecánicas y físicas de los polímeros cristalinos, están muy influenciadas por el grado de esta propiedad. Conforme se incrementa, los polímeros se hacen más rígidos, más duros, menos dúctiles, más densos, menos semejantes al hule y más resistentes a los solventes y al calor.

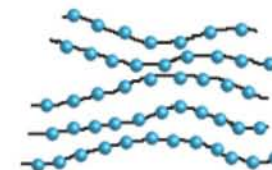


Fig 96. Polímero Cristalino.

AMORFOS

Estos polímeros, sufren un cambio claro en su comportamiento mecánico en un rango de temperatura angosto. Esta propiedad, se logra de una manera muy interesante, y es que existe una temperatura más o menos definida, en la cual, al elevarse, las cadenas adquieren suficiente energía como para desplazarse unas respecto a otras, volviéndose blandas y dúctiles, semejantes al hule o correosos; por el contrario, a temperaturas bajas, son duros, rígidos, frágiles y vidriosos. A esta temperatura de se le denomina *temperatura de transición vítrea*. Los polímeros

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

amorfos debido a la falta de regularidad en su estructura, tacticidad, o por la falta de conformación helicoidal, no pueden formar cristales, los cuales para formarse, requieren de un orden en las cadenas del polímero. La organización amorfa de las cadenas de polímero a menudo quedan descritas como un plato de espagueti o como gusanos en una cubeta. Los polímeros que son completamente amorfos pueden ser transparentes, como los acrílicos. Algunos polímeros son empleados a temperaturas por encima de sus temperaturas de transición vítrea y otros por debajo.

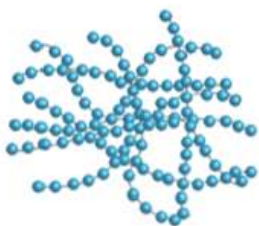


Fig 97. Polímero Amorfo.

SEMICRISTALINOS

Las regiones cristalinas en los polímeros se llaman *cristalitas*. Estos cristales se forman al colocarse las moléculas largas de forma ordenada, similar a una manguera de incendio en su vitrina. Podemos considerar a un material parcialmente cristalino, como un material de dos fases, siendo una fase cristalina y la otra amorfa.

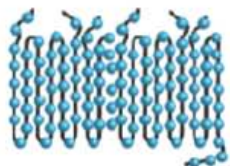


Fig 98. Polímero Semicristalino.

4.2.7 SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

POLIOLEFINAS

Todo aquel polímero obtenido mediante la polimerización de olefinas. Entre las poliolefinas se incluyen: polietileno, polipropileno, polibutadieno, poliestireno.

POLIÉSTERES

Categoría de polímeros que contiene el grupo funcional éster en su cadena principal. Entre otros se incluyen: polietileno tereftalato, policarbonato.

POLIÉTERES

Son aquellos polímeros que tienen varios éteres en su estructura como: poli(óxido de etileno), poli(óxido de fenileno).

POLIAMIDAS

Polímero que contiene enlaces de tipo amida como: ceda, nylon, kevlar.

POLÍMEROS CELULOSOS

Son polímeros producidos por modificación química o natural de la celulosa como: nitrato de celulosa, acetato de celulosa.

POLÍMEROS ACRÍLICOS

Son polímeros a base de polimetacrilato de metilo.

POLÍMEROS VINÍLICOS

Polímeros obtenidos a partir de monómeros vinílicos; es decir, pequeñas moléculas de dobles enlaces carbono-carbono como el policloruro de vinilo.

POLIURETANOS

Denominación genérica para los polímeros que son derivados de isocianatos y polioles.

RESINAS FORMALDEHIDO

Aldehído (el más simple de ellos) que se obtiene por oxidación catalítica del alcohol metílico. como: resina fenol-formol, resina urea-formol.



Fig. 99. También existe una clasificación de acuerdo a la composición química.

Imagen obtenida de www.ternoplas.blogspot.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ternoplas.blogspot.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.sahideta-euskadi.eus con fines didácticos.

4.2.8 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO TÉRMICO

TERMOPLÁSTICOS

Son los polímeros que son llamados simplemente *plásticos*. Estos, adquieren la propiedad de reblandecimiento, ablandándose y fundiéndose con el calor y permitiendo que las estructuras puedan desliarse y resbalar unas sobre otras confiando al material el llamado estado *viscoelástico*. También sufren el endurecimiento al enfriarse, sin debilitar los enlaces ni perder propiedades a lo largo de su vida. Durante el calentamiento las uniones intermoleculares se deshacen liberando a las moléculas, y en el enfriamiento se vuelven a crear estas uniones. Son los más fáciles de reciclar. Ejemplos, PET, PP, PE, PVC, etc.



Fig 100. Termoplástico.

TERMOESTABLES

También llamados *Termorrígidos*, *Termoduros* o *Termofijos*. No se funden al calentarse, sino que empiezan a degradarse. La razón de tal comportamiento estriba en que las largas cadenas moleculares de estos están fuertemente unidas por enlaces cruzados, formando estructuras de redes tridimensionales. Estos parecerían un manojo de hilos tejidos entre sí en varios sitios y no sólo enmarañados. Tienen varias ventajas sobre los termoplásticos como, mejor resistencia a los solventes, a la permeabilidad de gases y a las temperaturas extremas. Entre las

desventajas se encuentran, la dificultad de su reprocesamiento haciendo difícil su reciclaje, la necesidad del curado, el carácter quebradizo del material y el no presentar reforzamiento al someterlo a tensión. Los termoestables que se presentan en resina, se puede reforzar en forma relativamente fácil con fibras, como las de vidrio, formando así, los plásticos reforzados.

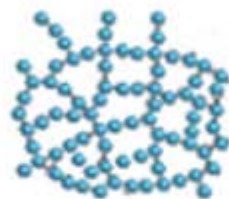


Fig 101. Termorrígido.

4.2.9 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO MECÁNICO

ELASTÓMEROS

Conocidos también como *hules* o *cauchos*. Son polímeros amorfos, cuya temperatura de transición vítrea es baja. Tienen una capacidad de deformación elástica mayor del 200% sin llegar a la ruptura y son blandos. Los elastómeros son materiales de moléculas grandes en forma de espiral, las cuales después de ser deformadas a temperatura ambiente, recobran su tamaño y geometría primitiva al ser liberada la fuerza que los deforma.



Fig 102. Elastómeros.

PLÁSTICOS

Son polímeros que durante alguna etapa de fabricación son llevados al estado líquido para moldearse por calor o presión en un molde. Una vez que las piezas hayan solidificado el material es químicamente muy estable bajo condiciones ambientales normales. Ejemplos de estos materiales son, polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS).



Fig 103. Plásticos.

FIBRAS

Son polímeros cuyas cadenas están extendidas en línea recta -o casi recta- una al lado de la otra a lo largo de un mismo eje. Son materiales que tienen una relación longitud/diámetro muy grande. Si bien poseen buena resistencia a la tensión, es decir que son resistentes cuando se las estira, por lo general tienen baja fuerza a la compresión, o sea, son débiles cuando se aprietan. Además las fibras tienden a ser resistentes en la dirección que están orientadas. Las fibras frecuentemente son usadas para reforzar a los polímeros termoestables y a esta unión se le denomina como *material compuesto*. Ejemplos son los poliésteres y el nylon.



Fig 104. Fibras.

Imagen obtenida de www.termoplastics.blogspot.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.electrolux.se con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.termoplastics.blogspot.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.3-evezred.hu con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.3-evezred.hu con fines didácticos.

4.2.10 SEGÚN EL MERCADO DE INGENIERÍA

Llamados también *técnicos* o *tecnopolímeros*. Son materiales que presentan propiedades térmicas y mecánicas superiores a los plásticos de uso común. Entre las características que ofrecen estos se incluyen: resistencia a elevada temperatura, resistencia mecánica, rigidez, estabilidad química y retardancia a la flama. Asimismo, se venden en menores cantidades y son más caros por unidad de peso que los commodities. Por ejemplo el Policarbonato (PC) se usa en cascos para motociclistas.



Fig 105. Polímeros de Ingeniería.

COMMODITIES. Llamados también *plásticos estándar* o *de alto tonelaje*. Dentro de los plásticos commodities se encuentran los que se usan para aplicaciones de alta producción y alto consumo, en las que las propiedades de los materiales usados no son decisivas ni en la producción, ni en su uso. En este tipo están entre otros: el polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE), el polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS) y el policloruro de vinilo (PVC).



Fig 106. Polímeros Commodities.

SPECIALITIES. También llamados *de especialidad* o *de alto desempeño*. Se encuentran los que se han diseñado químicamente de forma especial para aplicaciones en concreto. No suelen estar asociados a aplicaciones de alta producción ni de alto consumo, ya que las propiedades de estos materiales son

decisivas a la hora de la producción o en el momento del uso de esos productos. En esta categoría están por ejemplo, los polímeros de cristal líquido (LCP), el polisulfuro de fenilo (PPS) y el politetrafluoroetileno (PTFE).

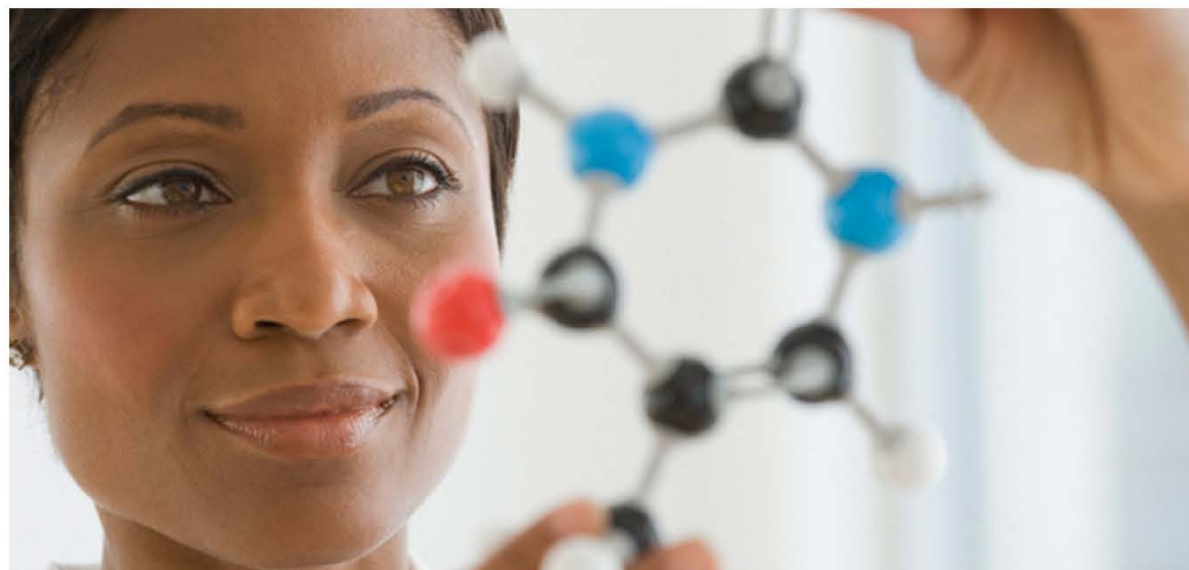


Fig 107. Los Polímeros Specialities se diseñan químicamente para aplicaciones en concreto.

Imagen obtenida de www.honch.net.au con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ajipubnow.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.gettyimages.com con fines didácticos.

4.3 LOS PLÁSTICOS COMMODITIES

Casi todos conocemos el símbolo formado por un número rodeado por un triángulo de flechas que a menudo vemos en el fondo de los recipientes plásticos, aunque quizás no siempre sepamos el significado detrás de los símbolos. Estos símbolos desarrollados en 1988 por la Sociedad de la Industria de Plásticos (SPI por sus siglas en inglés), identifican el contenido de resina del recipiente en el que se han colocado los símbolos. Durante más de 20 años, el sistema del Código de Identificación de Resinas de la SPI ha facilitado el reciclaje de los plásticos después de utilizados por el consumidor.

A medida que un número creciente de comunidades ponía en práctica programas de reciclaje en los años 80, se hizo evidente la necesidad de un código coherente y uniforme que identificara el contenido de resina en cada contenedor plástico. La clasificación del control de calidad antes del reciclado es importante para garantizar que el plástico reciclado sea lo más homogéneo posible para los usuarios finales.

La finalidad de estos códigos fue ofrecer una categorización para los seis tipos de resinas más comunes, y una séptima categoría para todos los otros tipos que no estén dentro de los códigos 1 al 6.



Fig 107. Simbología de los Polímeros Commodities.

4.3.1 POLIETILÉN TEREFALATO

ANTECEDENTES

El Instituto del Plástico Industrial (2000) detalla que:

Los Poliésteres son polímeros que contienen eslabones éster en su estructura molecular; estos pueden ser Termoplásticos o Termofijos, dependiendo de su composición química.



Fig 108. Simbología del PET.

En cuanto a consumo de Polietilén Tereftalato (PET) en el mundo México ocupa en estos días el segundo lugar, después de Estados Unidos. Existen diferentes grados de PET, los cuales se diferencian por su peso molecular y cristalinidad. Los que presentan menor

peso molecular se denominan grado fibra, los de peso molecular medio, grado película y, de mayor peso molecular, grado ingeniería. A mayor peso molecular mejores propiedades mecánicas y resistencia en estado fundido; si se incrementa la cristalinidad, el material aumenta su resistencia a elevadas temperaturas. Los diferentes Poliésteres con elevado nivel de cristalinidad, normalmente se utilizan modificados con cargas y refuerzos como plásticos de ingeniería.

El Polietilén Tereftalato es un plástico que se caracteriza por sus propiedades de resistencia mecánica, transparencia y barrera a gases. Es utilizado para fabricar envases para infinidad de usos. Este material presenta mejor barrera al oxígeno y al bióxido de carbono que la mayoría de otros plásticos. Se procesa mediante un sistema especial denominado "Inyección Soplo Biorientado" con el que se incrementa la barrera a los gases, resistencia al impacto y transparencia, logrando así la sustitución con ventajitas de envases de vidrio, lata y cartón.

PRODUCCIÓN

Los Poliésteres Termoplásticos son el resultado de una reacción de policondensación entre un Ácido Dicarboxílico y Glicoles. Para el caso del PET se utilizan Ácido Tereftálico o Dimetil Tereftalato más Etilén Glicol. La producción del PET se realiza en dos etapas. La primera consiste en calentar Dimetil Tereftalato junto con el Etilén Glicol para lograr una mezcla de Dihidroxietil Tereftalato y Oligómeros. Posteriormente, a 270°C, bajo condiciones de vacío y en presencia de un catalizador se produce el Polímero final.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

MÉTODOS DE OBTENCIÓN

El tipo de polimerización para producir Poliésteres es policondensación, que se efectúa principalmente en *estado líquido*. Para uso textil es suficiente lograr pesos moleculares de 16,000 g/gmol, que pueden hilarse para producir fibras o entregarse a usuarios en forma de granulado. Para la fabricación de envases como botellas y lámina para termoformado, se requiere elevar el peso molecular a 23,000 g/gmol para incrementar la resistencia mecánica y facilitar el moldeo. Esto se logra a través de un sistema conocido como *Policondensación en estado sólido*, en el cual, el granulado amorfo se somete a un tratamiento de varias etapas en su estado sólido lográndose, además, un polímero de alta pureza.

CLASIFICACIÓN

De acuerdo con su estructura molecular, los Poliésteres Termoplásticos pueden ser *Amorfos o Cristalinos*. Esta estructura se modifica mediante el proceso de transformación o mediante el uso de aditivos como los agentes nucleantes. Los fabricantes de láminas para termoformado distinguen los tipos de PET como APET para indicar que es lámina Amorfa y CPET a la Cristalizable.

GRADOS

Las propiedades físicas varían en función del peso molecular y grado de cristalinidad; por esto, las características específicas pueden cambiar según el grado de Polietilén Tereftalato, que puede ser:

GRADO ENVASE. Utilizado para fabricar botellas, debido principalmente a que el PET ofrece características favorables en cuanto a resistencia contra agentes químicos, gran transparencia, ligereza, menores costos de fabricación y comodidad en su manejo. Hoy se encuentran disponibles envases para llenado a temperaturas normales y para llenado en caliente; también se desarrollan envases muy pequeños desde 10 mililitros hasta garrafones de 19 litros. Los tarros de boca ancha son utilizados en el envasado de conservas alimenticias.



Fig 109. PET grado envase.

GRADO PELÍCULA. Las aplicaciones pueden dividirse en cinco segmentos: envase, medios magnéticos, eléctrico, industrial y artes gráficas. El PET se utiliza también en gran cantidad para la fabricación de envolturas y film; en la práctica, todas las películas fotográficas, de rayos X y de audio están hechas de PET. Este segmento también abarca diversos tipos de películas y aplicaciones desde las películas ultradelgadas para capacitores de un micrómetro o menos hasta de 0.5 mm. utilizadas para aislamiento de motores. Los capacitores tienen material dieléctrico una película PET empleada para telecomunicaciones.



Fig 110. PET grado película.

GRADO LÁMINA. Los grados especiales para producir láminas amorfas o cristalinas, transparentes o blancas y opacas de PET, están diseñados para proveer la claridad, alta pureza, barrera y resistencia que requieren los empaques de acuerdo a su uso. Tienen aplicación en sectores de comida rápida donde el atractivo del empaque representa una ventaja competitiva en el aspecto comercial pues el producto puede ser preparado, congelado, transportado, calentado, exhibido y servido en el mismo contenedor.



Fig 111. PET grado lámina.

GRADO FIBRA. En industria textil la fibra de Poliéster sirve para confeccionar gran variedad de telas y prendas de vestir. Debido a su resistencia, se emplea en telas tejidas y cuerdas, partes para cinturones de seguridad, hilos de costura y refuerzo de llantas. Su baja elongación y alta tenacidad se aprovechan en refuerzos para mangueras. Su resistencia química permite su aplicación para cerdas de brochas para pinturas y cepillos industriales.



Fig 112. PET grado fibra.

GRADO RPET. Otros grados que ofrecen los productores de PET son los grados reciclados denominados RPET. Algunos de estos grados provienen de desperdicios industriales o de post-consumo, regenerados a través de sistemas químicos y físicos, que son recomendados para envases de productos no alimenticios, o bien, para fabricar productos moldeados, fibras no tejidas, lámina, fleje y en algunos países, madera plástica.



Fig 113. PET grado reciclado.

PROPIEDADES

FÍSICAS. El PET amorfo tiene una densidad de 1.33 g/cm³ y el PET cristalino de 1.38 g/cm³. La densidad cambia como producto terminado a 1.35 g/cm³ dependiendo del nivel de biorientación. El Polietilén Tereftalato en estado amorfo es transparente y en estado cristalino es opaco de color blanco, pero una vez biorientado, el material alcanza en ambos casos, un alto nivel de transmitancia.

En las aplicaciones donde la transparencia es un factor importante, este material se utiliza en su forma natural sin pigmentar, presentando una excelente claridad y brillo superficial. Para productos sensibles a la luz, el PET puede colorearse utilizando una gran variedad de pigmentos comunes.

El PET presenta mejor barrera al Oxígeno y al Dióxido de Carbono que cualquiera de los plásticos commodities. Esta propiedad se mejora considerablemente como resultado de la biorientación del material. Con este plástico se prolonga la vida de anaquel debido a que ayuda a prevenir la pérdida o ganancia de constituyentes o sustancias ya sean deseables o indeseables.

MECÁNICAS. El PET tiene dureza, rigidez, resistencia mecánica elevada y tenacidad, incluso en temperaturas de -30°C. La estructura cristalina en láminas resiste mayor impacto que la amorfa, esta última se comporta de manera similar pero, con menor dureza y rigidez. Por otro lado, tiene mejor resistencia a la deformación plástica cuando está sometido a tensiones mecánicas continuas. Transformado y biorientado, ambos tipos adquieren propiedades similares.

ELÉCTRICAS. El PET tiene buenas cualidades de aislamiento eléctrico, además de un excelente comportamiento térmico y químico, razones suficientes para producir películas aislantes empleadas en bobinas eléctricas y cintas adhesivas. En promedio presenta una constante dieléctrica de 3.3 a 60 hertz y 25°C. La capacidad de aislamiento eléctrico del PET es elevada, superada solamente por el Poliestireno y Polietileno, sin embargo, la ventaja del Poliéster en las aplicaciones eléctricas es gracias a su mejor resistencia térmica. El PET es considerado clase dieléctrica B y está limitado a 130°C de temperatura de uso continuo.

TÉRMICAS. En estado fundido, el PET presenta baja resistencia mecánica. Por esta razón, no es posible fabricar envases por procesos de extrusión-soplo convencionales debido a que el parison extruido no resistiría su propio peso, presentando rupturas antes que pudiera ser soplado.

El PET cristaliza a un alto grado, pero, en un rango limitado de temperatura. El control de este comportamiento durante el proceso de transformación determina las características de los productos finales.

La Distorsión térmica ocurre debido a que la temperatura de transición vítrea del Polietilén Tereftalato es de 67 a 81°C y la temperatura de distorsión de 70°C; sin embargo, cuando este material presenta mayor cristalinidad, está menos sujeto a la deformación bajo estrés, especialmente a temperaturas elevadas.

QUÍMICAS. El PET tiene elevada resistencia a alcoholes, ácidos débiles inorgánicos y orgánicos, grasas y agua, permitiendo con excelentes resultados el envasado de vinos, licores, vinagres, cosméticos, farmacéuticos, así como, en películas para aislamiento de bobinas de motores eléctricos. Algunas sustancias alcalinas especialmente fuertes, hidrocarburos clorados y algunas cetonas pueden afectar al Polietilén Tereftalato provocando la fragilización en paredes delgadas. En particular, el PET es susceptible a la hidrólisis a elevadas temperaturas. Por esta razón, es necesario secar al material antes del moldeo y solo puede ser esterilizado en un ambiente de óxido de etileno o por irradiación¹.

La Asociación Nacional de la Industria Química, ANIQ (2008), en su página de internet define el resto de los plásticos commodities como:

4.3.2 POLIETILENO

Antiguamente llamado “Polimetileno”, el Polietileno (PE) pertenece al grupo de las Poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con dobles enlaces). Son polímeros de alto peso molecular y poco

reactivos debido a que están formados por hidrocarburos saturados. Sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados. Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también propiedades como la rigidez, dureza resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación. Los Polietilenos se clasifican principalmente en base a su densidad como:

POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD



Fig 114. Simbología del LDPE.

El Polietileno de Baja Densidad (PEBD), es un material translúcido, inodoro, con un punto de fusión promedio de 110°C. Tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.) y como aislante (baja y alta tensión).



Fig 115. Bolsas de PEBD.

POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD



Fig 116. Simbología del HDPE.

El Polietileno de Alta Densidad (PEAD), presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión), debido a su mayor densidad. Tiene fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos. Sus principales aplicaciones son bolsas, botellas para leche y yoghurt, cajas para transporte de botellas, aislantes, recipientes, tubos, mangueras, artículos de cordelería, bandejas, botes para basura, cubetas, platos, tapicerías juguetes, etc.



Fig 117. Envases de PEAD.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Imagen obtenida de www.ecoindex.com.mx con fines didácticos.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Imagen obtenida de www.english.ruvra.com con fines didácticos.

¹ IMPI. INSTITUTO MEXICANO DEL PLÁSTICO INDUSTRIAL. Enciclopedia Del Plástico 2000. Centro Empresarial del Plástico. Ed. IMPI. México, 2000.

4.3.3 POLICLORURO DE VINILO



Fig 118. Simbología del PVC.

El Policloruro de Vinilo (PVC) es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo. Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que le ha hecho ocupar, por su consumo, el segundo lugar mundial detrás del Polietileno. El PVC puede clasificarse de cuatro maneras:

El PVC es esencialmente amorfo con porciones sidiotácticas que no constituyen más de 20% del total, generalmente cuenta con grados de cristalinidad menores. La gran polaridad que imparte el átomo de cloro transforma al PVC en un material rígido. Algunos de sus grados aceptan fácilmente diversos plastificantes, modificándolo en flexible y elástico. Esto explica la versatilidad de este polímero, empleado para fabricar artículo de gran rigidez y accesorios para tubería, productos semiflexibles como perfiles para persianas y otros muy flexibles como sandalias y películas.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González



Fig 119. Balón de PVC.

El PVC es un polvo blanco, inodoro e insípido, fisiológicamente inofensivo. Tiene un contenido teórico de 57% de cloro, difícilmente inflamable, no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón. El diámetro varía dependiendo del proceso de polimerización. Del proceso de suspensión y masa, se obtienen partículas de 80 a 200 micras, por dispersión de 0.2 a 4 micras y por solución de 0.2 micras. La configuración de las partículas de PVC, varía desde esferas no porosas y lisas hasta partículas irregulares y porosas.

El PVC especial para compuestos flexibles, debe poseer suficiente y uniforme porosidad para absorber los plastificantes rápidamente. Para compuestos rígidos, la porosidad es menos importante, debido a que a menor rango se obtiene mayor densidad aparente. Para formular un compuesto de PVC, se requiere escoger la resina conforme a los requerimientos en propiedades físicas finales, como flexibilidad, procesabilidad y aplicación para un producto determinado.

Imagen obtenida de www.icedodgez.com con fines didácticos.



Fig 120. Conexiones sanitarias de PVC.

Imagen obtenida de www.ricoh.com con fines didácticos.

4.3.4 POLIPROPILENO



Fig 121. Simbología del PP.

El Polipropileno (PP) es un termoplástico que pertenece a las Poliolefinas y se obtiene a partir de la polimerización del propileno, el cual es un gas incoloro en condiciones normales de temperatura y presión, que licúa a -48°C . También se conoce al Propileno como "Propeno". El Polipropileno puede clasificarse por las materias primas que se utilizan en su elaboración en:

POLIPROPILENO HOMOPOLÍMERO

Presenta alta resistencia a la temperatura, puede esterilizarse por medio de rayos gamma y óxido de etileno, tiene buena resistencia a los ácidos y bases a temperaturas debajo de 80°C , pocos solventes orgánicos lo pueden disolver a temperatura ambiente. Posee buenas propiedades dieléctricas, su resistencia a la tensión es excelente en combinación con la elongación, su resistencia al impacto es buena a temperatura ambiente, pero a temperaturas debajo de 0°C se vuelve frágil y quebradizo. El Polipropileno Homopolímero tiene las aplicaciones de película, rafia y productos médicos.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González



Fig 122. Rafia fabricada de PP.

POLIPROPILENO COPOLÍMERO

Presenta excelente resistencia a bajas temperaturas, es más flexible que el tipo Homopolímero, su resistencia al impacto es mucho mayor y aumenta si se modifica con hule EPDM, incrementando también su resistencia a la tensión al igual que su elongación; sin embargo, la resistencia química es inferior que el Homopolímero, debilidad que se acentúa a temperaturas elevadas. El Polipropileno Copolímero Impacto se utiliza en tubos, perfiles, juguetes, recipientes para alimentos, cajas, hieleras, acumuladores, tableros, cafeteras, carcazas, entre otros.



Fig 123. Tubería hidráulica de PP.

Imagen obtenida de www.polyrafia.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.rotoplus.com con fines didácticos.

4.3.5 POLIESTIRENO



Fig 124. Simbología del PS.

El Poliestireno (PS) es un polímero que se obtiene a partir de un monómero llamado Estireno, el cual también se conoce con los nombres de vinilbenceno, feniletileno, estírol o estíroleno. Este material ha tenido gran desarrollo en los últimos años y ha formado un grupo de plásticos denominados familia de Polímeros de Estireno, en los que se incluyen:

POLIESTIRENO CRISTAL

Es un material amorfo de alto peso molecular (200,000 a 300,000 (g/gmol), de baja densidad, duro, con buenas propiedades ópticas, mínima absorción de agua, buena estabilidad dimensional y aislamiento eléctrico. Resiste ácidos orgánicos e inorgánicos concentrados y diluidos (excepto los altamente oxidantes), alcoholes, sales y álcalis. Es atacado por ésteres, cetonas, hidrocarburos aromáticos, clorados y aceites etéreos. Tiene brillo y transparencia. Es sensible a la luz solar, por lo que para

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

retardar su degradación se deben adicionar absorbedores de luz ultravioleta. Presenta baja resistencia al impacto y estabilidad térmica. Se obtiene en forma de gránulos parecidos al vidrio. Se utiliza en la fabricación de envases para productos alimenticios, farmacéuticos y cosméticos como blister, vasos, tapas.



Fig 125. Vaso de PS.

POLIESTIRENO EXPANDIDO

El Poliestireno Expandido (EPS) es un material dúctil y resistente a temperaturas bajo cero, pero a temperaturas elevadas, aproximadamente a 88°C, pierde sus propiedades. Debido a ello, y a su bajo coeficiente de conductividad térmica, se utiliza como aislante a bajas temperaturas. Posee poder de amortiguamiento, es decir, permite absorber la energía producida por golpes y vibraciones. Flota en el agua y es completamente inerte a los metales. Resiste la mayoría de los ácidos, soluciones

alcalinas y saladas, sin importar su concentración. También resiste a la temperatura e intemperie, no es tóxico. Sin embargo, no es resistente a solventes orgánicos o aceites minerales. Debido a su estructura celular presenta valores bajos de transmisión de vapor y de absorción de agua. Es combustible, por lo que en ocasiones se la adicionan retardantes de flama. Es resistente a los microorganismos y cuenta con buenas propiedades de aislamiento acústico. Una aplicación importante es la perla expandida para protección, las cuales sirven para rellenar las cajas de cartón corrugado donde se contengan productos frágiles. El EPS es uno de los termoplásticos más versátiles por lo que tiene aplicación en varios sectores como la edificación, vivienda, especialidades industriales, cuerpos moldeados, envases.



Fig 126. Cajas de PS Expandido.

POLIESTIRENO GRADO IMPACTO

El Poliestireno Grado Impacto (PS-I), presenta propiedades similares a las del PS. Su color natural va de translúcido a opaco. Se ve afectado con la exposición continua a las radiaciones de luz UV, ofrece limitada resistencia a solventes aromáticos y clorados. Posee alta rigidez y dureza, presenta baja propiedad barrera, poca resistencia a la grasa y a temperaturas elevadas. Con un adecuado balance de propiedades tiene excelente procesabilidad para inyección, extrusión y termoformado. Es estable térmicamente, tiene niveles muy bajos de materia volátil y posee una resistencia al impacto entre dos y cuatro veces superior al PS Cristal, según el contenido y tipo de elastómero. Resiste con limitaciones ácidos y álcalis, no resiste disolventes orgánicos como bencina, cetonas, hidrocarburos aromáticos y clorados, ni aceites etéricos. El PS-I se puede aplicar en piezas rígidas con brillo, industria del envase y empaque, artículos escolares, juguetes, asientos sanitarios, cubiertas de discos compactos².



Fig 127. Caja de CD de PS.

2 ANIQ. ASOCIACIÓN NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA. "Clasificación de los Plásticos." www.aniq.org.mx

Imagen obtenida de www.ecyma.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.styrofoam-compacto.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.almacen-informatico.com con fines didácticos.

4.4 PROCESAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS

Una variedad de técnicas son las empleadas en la formación de los materiales poliméricos. El método ideal para formar un polímero en específico depende de diversos factores:

- Si el material es termoplástico o termoestable.
- De su temperatura de ablandamiento.
- De la estabilidad atmosférica del material manipulado.
- De la geometría y tamaño del producto terminado.

Existen numerosas similitudes entre algunas de estas técnicas, y algunas también son utilizadas en el fabricación de metales y cerámicas.

La fabricación de materiales plásticos normalmente ocurre a una elevada temperatura y seguido por una aplicación de presión. Los termoplásticos son formados basándose en su temperatura de transición vítrea, si son amorfos; o basados en su temperatura de fusión, si son semicristalinos; una presión debe ser aplicada y mantenida hasta que la pieza sea enfriada y el artículo formado sea capaz de mantener su forma. Un beneficio económico a tomar en cuenta del uso de termoplásticos es que pueden ser reciclados, pedazos de desechos de termoplásticos pueden ser fundidos de nuevo y transformados para obtener nuevas formas.

La fabricación de los polímeros termoestables es normalmente acompañada de 2 etapas. La primera viene con la preparación de un polímero lineal líquido (en ocasiones llamado prepolímero) obteniendo un bajo peso molecular. Este material se convierte en un producto final duro y rígido durante la segunda etapa, la cual es normalmente llevada a cabo en un molde con la forma deseada. Esta segunda etapa denominada “curado”, puede ocurrir durante el calentamiento y/o al adicionar un catalizador, y seguido bajo presión. Durante el curado, los cambios químicos y estructurales ocurren a nivel molecular, mediante

el entrecruzamiento o estructuras en forma de red. Después del curado, los polímeros termoestables pueden ser removidos del molde mientras sigue caliente, hasta que sean dimensionalmente estables. Los polímeros termoestables son difíciles de reciclar, no se mezclan, son usables en temperaturas mayores que los termoplásticos y son químicamente más inertes.

La obtención de objetos útiles, fabricados con materiales poliméricos, se engloba dentro del término general Procesado de Polímeros. Ello implica la utilización de una serie de variadas tecnologías, de las cuales las más importantes se revisarán en este capítulo. Pero antes de entrar en materia conviene profundizar en el proceso previo al propio procesado de los polímeros, el aditivado.

4.4.1 ADITIVADO

Areizaga, Cortazar, Elorza, e Irvin (2002) en su libro Polímeros, describen el aditivado de la siguiente manera:

Cuando se procesa un termoplástico, la materia prima está en la mayoría de los casos, en forma de polvo o en forma de granza. En el primero de los casos, se trata del producto directo de métodos de polimerización de los cuales ya se han hablado, como es el caso de



Fig 128. Los aditivos muchas veces vienen en formas de pellets.

las llevadas a cabo por emulsión y suspensión. La granza, granulado o pellets, es un condensado de mayor tamaño, usualmente en forma de pequeños cilindros o cubos de unos pocos milímetros, fabricados mediante extrusión, técnica que enseguida veremos más en detalle.



Fig 129. Los aditivos pueden venir también en polvo.

Esta materia prima polimérica pulverulenta, granceada o pelletizada, es la que se funde y transforma en el objeto útil. Sin embargo, ninguno de estos contiene, en la mayoría de los casos, un polímero en estado puro. De cara a su transformación en objetos útiles, la materia prima polimérica suele estar convenientemente aditivada. Esto quiere decir que un análisis químico convencional de granza, pellets o polvo polimérico revela que existen una serie de aditivos que acompañan al polímero con objeto de cumplir una serie de objetivos que el propio polímero no cumple en estado puro. Estos ingredientes utilizados para alterar o perfeccionar los plásticos, pueden ser: antioxidantes, agentes antiestáticos, colorantes, agentes de copulación, agentes de curado, retardadores de llama, agentes de espumado, estabilizantes térmicos, modificadores de impacto, lubricantes, plastificantes, conservantes, auxiliares de

tratamiento, estabilizantes de UV, refuerzos, cargas, etc. Y así, se suele adicionar al polímero sustancias, poliméricas o no, conocidas como plastificantes, cuyo principal papel es rebajar la temperatura de transición vítrea de polímeros básicamente amorfos de forma que puedan emplearse en aplicaciones donde el polímero puro no podría emplearse. La mayor parte de los objetos fabricados por razones de estética, requieren tener un color, por lo que se suelen emplear pigmentos que confieren al material el color deseado y evitan el posterior pintado de la pieza fabricada, proceso que suele resultar complicado en el caso de los polímeros por la propia incompatibilidad entre polímero y recubrimiento (otro polímero en muchos casos).



Fig 130. Los pigmentos dan color a los polímeros.

Se adicionan sustancias de relleno, como sales inorgánicas, para reducir el precio del material u otros rellenos que mejoran las propiedades mecánicas del polímero base, como las fibras de vidrio en composites de matriz polimérica.



Fig 131. La fibra de vidrio puede reforzar mecánicamente un polímero.

Se adicionan también estabilizantes dedicados a preservar el polímero de los efectos degradantes que ejercen la luz, el calor, el oxígeno. Relacionados con estos aspectos degradativos, están otros aditivos que retardan la inflamabilidad de muchos polímeros como materiales orgánicos que son. Entre estos podemos citar los hidróxidos de aluminio y los derivados del fósforo. Para el propio procesado es importante añadir agentes lubricantes como los estearatos, que al no disolverse por completo en el polímero fundido, forman una especie de recubrimiento resbaladizo que impide la formación de grumos durante el procesado.

En casos muy importantes, tecnológicamente hablando, se aditiva el polímero con agentes de espumado. Polímeros tan importantes como el poliestireno y los poliuretanos se fabrican en forma de materiales espumados, de baja densidad y alto valor aislante. Para ello, el polímero se mezcla con un aditivo que, en adecuadas condiciones de temperatura, se descompone para dar lugar a algún gas que, al tratar de abandonar el polímero, lo espuma.



Fig 132. Los agentes de espumado dan ligereza a los polímeros.

En el caso de los termoestables, el aditivado supone, en algunos casos, la adición de los adecuados agentes de reticulación que provoquen la reacción del mismo nombre. En definitiva, la aditivación de plásticos es un mundo sobre el que se puede encontrar variada y extensa información. En la mayor parte de los casos, el aditivado es un proceso previo al propio procesado. Las grandes multinacionales de los termoplásticos y termoestables proporcionan la materia prima convenientemente aditivada en función de la aplicación que se exija a la pieza a fabricar. Este proceso de mezclado de polímero y aditivos (compounding) se realiza en mezcladoras industriales adecuadas¹.

Las numerosas técnicas de moldeo utilizadas incluyen Extrusión, Inyección, Compresión, Termoforado, Soplado, Rotomoldeo, Fundición, Calandrado, Espumado y Recubrimiento. Para cada uno, un fino pelletizado es forzado a una elevada temperatura y presión con técnicas diversas a fluir y rellenar una cavidad moldeada con la forma deseada.

¹ AREIZAGA, JAVIER; CORTÁZAR, M. MILAGROS; ELORZA, JOSÉ M.; IRVIN, JUAN J. *Polímeros*, Ed. Síntesis. España, 2002. p. 351.

4.4.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN

Areizaga, Cortazar, Elorza, e Irvin (2002), describen la extrusión de la siguiente manera:

Entre los métodos de procesado, la extrusión es el método convencional en más del 50% de los termoplásticos que se utilizan en el mundo. La extrusión es un proceso en continuo que da lugar a productos de muy variadas secciones transversales y longitud infinita, que por supuesto después puede cortarse en tamaños adecuados. La materia prima en forma de polvo o granza se alimenta mediante una tolva a un cilindro caliente en el que se mueve un tornillo rotatorio llamado husillo. Gracias a la acción del husillo y al calentamiento del cilindro, la materia prima se funde hasta convertirse en líquido viscoso, se mezcla, se homogeniza y es transportada mediante el husillo cruzando dicho cilindro hasta que llega a una salida o boquilla, a través de la que sale al exterior para ser enfriada (en muchos casos por agua) y conseguir así la estabilización dimensional adecuada.

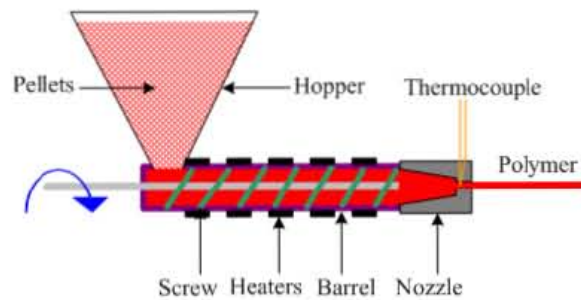


Fig 133. Proceso de Extrusion.

Gracias a las variadas formas que puede exhibir una boquilla, la sección transversal de las piezas de longitud infinita, continuamente saliendo del extrusor, puede ser muy variada. Como se ha mencionado esos extruidos pueden cortarse después a las longitudes adecuadas, obteniéndose filmes de longitud controlada, tubos, perfiles para diversos usos, fibras, etc.



Fig 134. Boquillas para extrusión.

Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la sección del objeto así fabricado, puede ser ligeramente diferente a la de la propia boquilla. Una de las razones es el hinchamiento postextrusión debido al carácter viscoelástico de los fundidos poliméricos. El efecto de ese hinchamiento puede ser particularmente dañino en el caso de objetos de perfiles con bordes afilados, que pueden resultar gravemente alterados.



Fig 135. Perfiles extruidos.

Está también muy extendida la tecnología de la Coextrusión, en la que dos o más extrusores convergen en una común salida. Esta técnica se utiliza en la fabricación de materiales multicapa. Cada una de las capas es un polímero distinto, y con ello se logra reunir en un solo material la combinación de las propiedades de todos ellos, lo que no podría lograrse con un único material. También se utiliza cuando se quiere ahorrar material, relleno con un material barato el interior de un semielaborado cuyas capas externas deben tener altas prestaciones o viceversa.



Fig 136. Cables fabricados por proceso de Coextrusion.

Particularmente interesante es la Extrusión por Soplado de Filmes, en el que la salida del extrusor con boquilla preparada para producir un tubo hueco, se habilita un procedimiento por el que se inyecta aire en el interior del tubo, consiguiendo la formación de una especie de globo polimérico de paredes sumamente delgadas y de diámetro variable, según la extensión de la boquilla y la presión del aire. Esta tecnología constituye la base de la producción de filmes y bolsas de variado tamaño y uso.



Fig 137. Extrusión por Soplado.

Imagen obtenida de www.dinotec.com.ar con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.indunet.com.mx con fines didácticos.

La extrusión está también en el origen de la fabricación de fibras sintéticas, un proceso que revolucionó en su día la industria textil. La fabricación de fibras, mediante el Hilado, no supone más que un caso especial de la extrusión cuando la boquilla está provista de una serie de agujeros suficientemente finos (hileras) que permiten la obtención de fibras de variado tamaño. En el procedimiento más convencional, el fundido sale a través de las hileras, tras las que la temperatura del hilo cae bruscamente y solidifica mediante una combinación de vitrificación y cristalización. Un adecuado estiramiento en desde unos de los extremos del hilo provoca un esfuerzo continuado sobre él, a medida que va saliendo de la boquilla, contribuyendo a incrementar su longitud, disminuir su sección transversal y, en muchos casos, aumentar la cristalización en la propia dirección del estirado².



Fig 138. El Hilado es una técnica de Extrusión.

Imagen obtenida de www.italiantextil.com con fines didácticos.

² AREIZAGA, JAVIER; CORTÁZAR, M. MILAGROS; ELORZA, JOSÉ M.; IRVIN, JUAN J. Polímeros. Ed. Síntesis. España, 2002. p. 352.

4.4.3 MOLDEO POR INYECCIÓN

Areizaga, Cortazar, Elorza, e Irvin (2002), describen la inyección de la siguiente manera:

Una máquina de inyección consta de una tolva de alimentación y un cilindro con un husillo que calienta, mezcla, homogeniza y empuja el fundido. Sin embargo, en lugar de fluir continuamente por una boquilla como en la extrusión, el material es inyectado cíclicamente en un molde, mediante el movimiento del husillo hacia el molde, lo que supone la aplicación de una cierta presión. Cada ciclo supone las siguientes etapas:

- Un fundido se homogeniza en el extrusor.

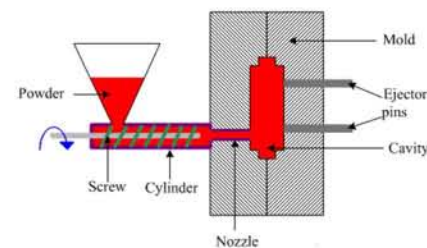


Fig 139. Proceso de Inyección.

- El molde vacío se cierra, se inyecta el fundido preparado en el molde así cerrado y frío.
- El fundido se mantiene a una cierta presión mientras se enfría para que no se generen huecos derivados de la contracción del fundido al enfriarse.
- Se abre el molde y se expulsa la pieza enfriada.
- Se cierra el molde y se reinicia el ciclo de nuevo³.

³ AREIZAGA, JAVIER; CORTÁZAR, M. MILAGROS; ELORZA, JOSÉ M.; IRVIN, JUAN J. Polímeros. Ed. Síntesis. España, 2002. p. 353.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.



Fig 140. Máquina de Inyección.

Probablemente la mejor característica de esta técnica es la velocidad con la cual piezas especiales pueden ser producidas. Para los polímeros termoplásticos, la solidificación de la carga inyectada es casi inmediata, en consecuencia, los tiempos del ciclo para este proceso son cortos (comúnmente de 10 a 30 segundos). La popularidad de este método se explica con la versatilidad de piezas que pueden fabricarse, la rapidez de fabricación, el diseño escalable desde procesos de prototipos rápidos, altos niveles de producción y bajos costos, alta o baja automatización según el costo de la pieza, geometrías muy complicadas que serían imposibles por otras técnicas, las piezas moldeadas requieren muy poco o nulo acabado pues son terminadas con la rugosidad de superficie deseada, color y transparencia u opacidad, buena tolerancia dimensional de piezas moldeadas con o sin insertos y con diferentes colores.



Fig 141. Piezas fabricadas por Inyección.

Imagen obtenida de www.dir-indiamart.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.pccomponents.com con fines didácticos.

Los polímeros termoestables, pueden ser moldeados también por inyección, realizándose la solidificación mientras el material está bajo presión en un molde caliente, lo cual resulta en un ciclo más largo en tiempo que el de los termoplásticos. Este proceso es comúnmente llamado Moldeo por Inyección a Reacción (RIM).

Este último es un proceso relativamente nuevo, desarrollado en Alemania en finales de los 60's. En esta técnica no hay extrusor, sino un sistema de almacenamiento y suministro de las resinas reactivas que sintetizaran un polímero. En este compartimento el polímero es simultáneamente sintetizado y moldeado para formar el producto terminado. Cantidades estequiométricas (relaciones cuantitativas entre reactivos) de monómeros (incluyendo catalizadores y otros aditivos) son colocados en dicha unidad mezcladora y rápidamente inyectados en un molde donde la polimerización ocurre. La temperatura y presión en este proceso es relativamente menor que en un proceso de inyección normal, lo que conlleva a un menor consumo de energía en el proceso.

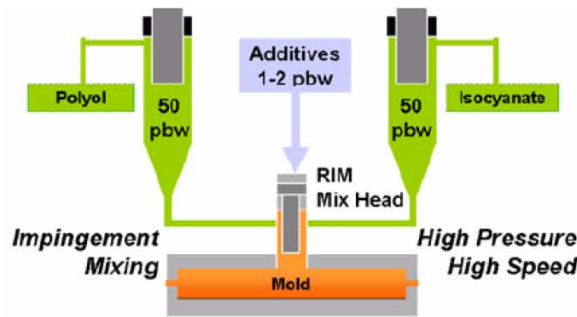


Fig 142. Proceso de Inyección a Reacción.

4.4.4 MOLDEO POR COMPRESIÓN

Para el Moldeo por Compresión, se colocan las cantidades apropiadas de una mezcla minuciosa de polímeros y aditivos necesarios entre unas piezas machihembradas de un molde. Ambas piezas del molde son calentadas, sin embargo, solo una es móvil. El molde es cerrado y se aplica calor y presión, ocasionando que el material plástico se vuelva viscoso y adquiere la forma del molde.



Fig 143. Molde para Compresión.

Antes del moldeo, las materias primas pueden ser mezcladas y presionadas en frío en forma de disco o lámina, la cual es llamada preforma. El precalentamiento de la preforma reduce el tiempo de moldeo y de aplicación de presión, extiende el tiempo de vida útil, y produce una pieza uniformemente mejor terminada.

Imagen obtenida de www.osborneindustries.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.especialidadestermicas-mx.com con fines didácticos.

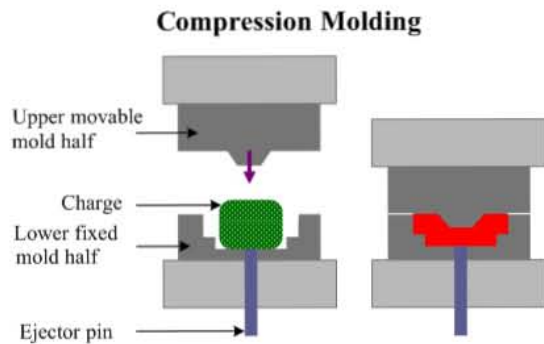


Fig 144. Moldeo por Compresión.

Esta técnica de moldeo se utiliza en la transformación de los polímeros termoplásticos y termoestables. En el caso que se procese un termoplástico, el material tiene que ser enfriado para que retenga la forma del molde, mientras que en el caso de un termoestable, el entrecruzamiento ocurre en el interior del molde hasta que, como consecuencia de ello, el material solidifica adoptando la forma del mismo. En el caso de los polímeros termoplásticos, y como consecuencia de la necesidad de enfriar el molde, el proceso es de poca utilidad, si se compara con otras tecnologías de procesamiento, ya que más tardado y más caro. Sin embargo, su importancia es mayor en el caso de los termoestables, donde no se necesita el ciclo de enfriamiento.

Una variante de esta técnica es el Moldeo por Transferencia, en la cual los ingredientes sólidos son mezclados primero en una cámara de transferencia caliente. En el momento de que el material mezclado es inyectado en la cámara de moldeo, la presión es distribuida más uniformemente sobre todas las superficies. Este proceso es utilizado con los polímeros termoestables y para las piezas que requieren de formas geométricas complejas.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

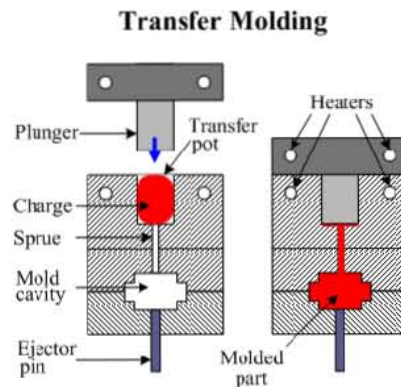


Fig 145. Moldeo por Transferencia.

Una restricción característica de este proceso es que la pieza a formar debe ser fácilmente “desmoldable”, es decir, la matriz debe ser más ancha en la base y más angosta en la parte superior. Esto comúnmente se denomina ángulo de desmolde o de salida y generalmente es de 5 grados como mínimo⁴.



Fig 146. Piezas fabricadas por Compresión.

⁴ SUBSTECH. SUBSTANCES & TECHNOLOGIES. “Transfer molding of polymers.” *Substances & Technologies*. (2010). www.substech.com

4.4.5 PROCESO DE TERMOFORMADO

El Termoformado es un proceso de conformación de una hoja plana de polímero termoplástico que incluye dos fases: suavizar la hoja por calentamiento, seguido por la formación en la cavidad de un molde.



Fig 147. Molde para Termoformado.

Los polímeros elastómeros y termoestables no pueden ser moldeados por los métodos de termoformado debido a su estructura entrelazada, es decir que no se suavizan cuando se calientan.

Las ventajas del termoformado es la utilización de pocas herramientas, costo de ingeniería baja y menos tiempo, lo que hace que el termoformado sea ideal para el desarrollo de prototipos y un bajo volumen de producción. Hay tres métodos de termoformado, difiriendo en la técnica utilizada para la etapa de formación:

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.polyplvcomposites.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.amgplastic.com con fines didácticos.

TERMOFORMADO AL VACÍO

El proceso implica dar forma a una hoja de polímero termoplástico precalentada por medio de un vacío que se produce en un espacio de la cavidad de molde. La presión atmosférica fuerza a la hoja a suavizarse para deformarse de acuerdo con la geometría de la cavidad del molde. Cuando el plástico entra en contacto con la superficie del molde, se enfría y endurece adoptando la forma de este⁵.

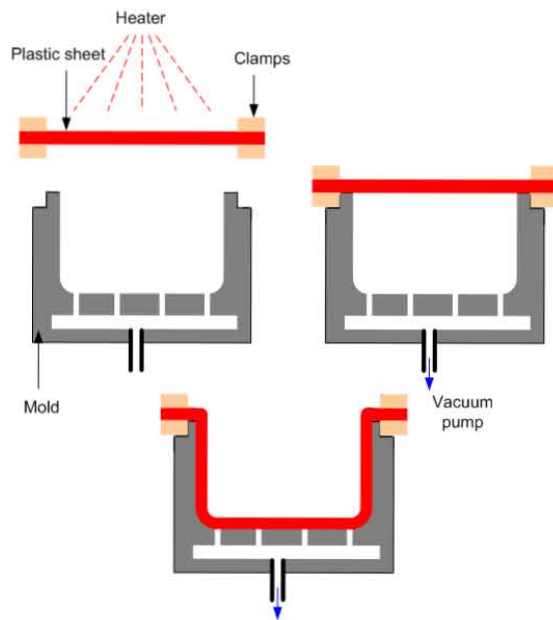


Fig 148. Termoformado al Vacío.

5 SUBSTECH. SUBSTANCES & TECHNOLOGIES. "Thermoforming." *Substances & Technologies*. (2010). www.substech.com

TERMOFORMADO A PRESIÓN

El proceso implica dar forma a una hoja polimérica termoplástica precalentada por medio de la presión de aire. La presión del aire fuerza a la hoja a suavizarse y bajar para deformarse de acuerdo a la forma del molde. Igual que en el termoformado al vacío, cuando el plástico entra en contacto con la superficie del molde, se enfría y endurece.

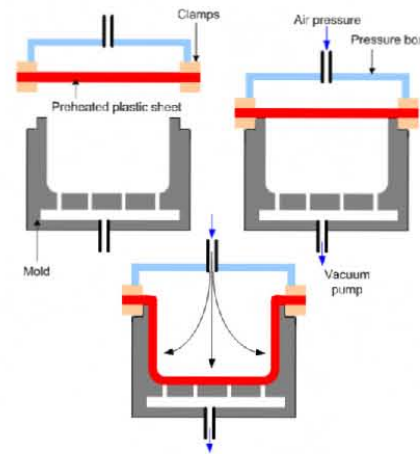


Fig 149. Termoformado a Presión.

TERMOFORMADO MECÁNICO

El proceso implica dar forma a una hoja de polímero termoplástico precalentada a través de un equipo que le aplica una fuerza mecánica directa. Un tapón de núcleo (molde positivo) suaviza la hoja para rellenar el espacio entre el tapón y el molde negativo. El proceso proporciona una tolerancia dimensional precisa y un mejor detalle de la superficie.

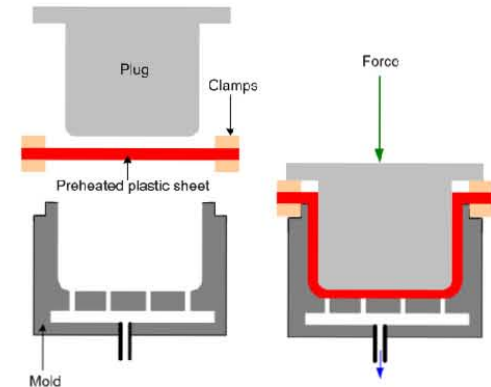


Fig 150. Termoformado Mecánico

Las aplicaciones de los productos plásticos por termoformado incluyen: interiores automotrices, contenedores para empaque y calentado de alimentos, equipo deportivo y recreacional, equipo médico, entre otros.



Fig 151. Piezas fabricadas por Termoformado.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.termoformadosdeplastico.mx con fines didácticos.

4.4.6 MOLDEO POR SOPLADO

Vigil, Pastoriza y Fernández (2002), definen el moldeo por soplado de la siguiente forma:

Un procedimiento muy extendido en el mercado, dada la gran cantidad y variedad de botellas fabricadas en materiales termoplásticos, es el Moldeo por Soplado. Por medio de esta técnica pueden fabricarse cuerpos huecos y se considera como un proceso semicontinuo. Para la producción de botellas de vidrio se requiere de técnicas actualmente muy diferentes del moldeo por soplado, aunque en sus orígenes es similar.

En una primera etapa una extrusora funde y homogeniza el polímero. Un cabezal adosado, desvía la masa fundida en dirección vertical y la hace pasar a un molde. Este molde la convierte en un tubo hueco de una determinada longitud el cual es similar a un macarrón, el cual queda pendiendo hacia abajo y al que se le llama preforma.



Fig 152. Preforma.

Imagen obtenida de www.ecnoproductores.com con fines didácticos.

Aún caliente, de forma automatizada, se introduce la preforma en un molde que le aprisiona por uno de sus extremos y lo cierra. Por el otro extremo se le insufla aire hasta que se adapte a la forma de las paredes del molde.



Fig 153. Molde para Soplado.

Imagen obtenida de www.moldesvalma.com con fines didácticos.

Inmediatamente después, comienza el enfriamiento. Para ello se introduce una circulación de aire, abriendo una válvula que tiene el cabezal soplado, la cual permite la salida de aire, manteniendo la presión

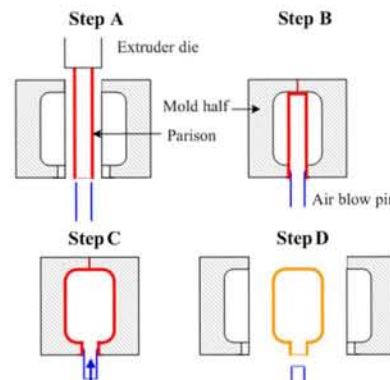


Fig 154. Moldeo por Soplado.

Imagen obtenida de www.substech.com con fines didácticos.

interior. Cuando la pieza se ha enfriado lo suficiente para tener una resistencia aceptable, se retira el cabezal de soplado y se abre el molde, que está constituido por dos partes móviles con la forma del negativo de la pieza a fabricar, y finalmente se extrae la pieza.

El moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de gran serie, como la inyección, en tanto que permite contrasalidas, posibilidad de variar el espesor de pared y, en función de las bajas presiones utilizadas, bajas tensiones residuales. Presenta, al mismo tiempo, factores de coste favorables⁶.



Fig 155. Piezas fabricadas por Soplado.

Imagen obtenida de www.angoplastico.com con fines didácticos.

6 VIGIL MONTAÑOS, MARÍA REYES; PASTORIZA MARTÍNEZ, ALEJANDRA; FERNÁNDEZ DE PIÉROLA, INÉS. Los Plásticos Como Materiales De Construcción, Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2002. p. 69.

4.4.7 PROCESO DE ROTOMOLDEO

El Moldeo Rotacional o Rotomoldeo es un proceso de transformación del plástico empleado para producir piezas huecas, en el que un polímero en polvo o líquido, se vierte dentro de un molde mientras gira en dos ejes biaxiales. El plástico se va fundiendo mientras se distribuye y adhiere en toda la superficie interna. Finalmente el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada.

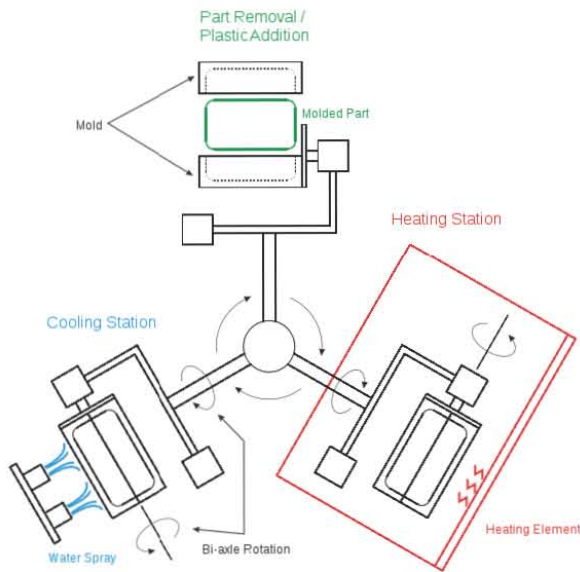


Fig 156. Rotomoldeo.

En los últimos años, el rotomoldeo ha llamado fuertemente la atención de la comunidad industrial debido a las cualidades que presenta. Este proceso se va sofisticando día a día de manera que actualmente es considerado entre los procedimientos de transformación con mayor madurez tecnológica debido a las innovaciones en equipo, materiales y técnicas de control que han sido incorporados.

Imagen obtenida de www.applastics.co.uk con fines didácticos.



Fig 157. Máquina de Rotomoldeo.

Este proceso ofrece gran libertad de diseño, pues es posible fabricar artículos sorpresivamente complejos con herramientas relativamente sencillas y de bajo costo que en ciertos casos sería imposible moldear con otro procedimiento. El rotomoldeo se presenta con varias ventajas frente a otros procedimientos de transformación para obtener piezas huecas tridimensionales donde las juntas del molde son prácticamente invisibles.

En la fabricación de ciertas piezas huecas, con geometría de curvas complejas, pared uniforme, y “contrasalidas”, el Rotomoldeo es una alternativa con menor costo frente al moldeo por soplado. Sin mencionar que debido a las bajas presiones empleadas en el moldeo rotacional se producen piezas con tensiones internas mínimas, presentando un buen comportamiento mecánico debido a su mayor solidez en comparación con las piezas producidas a través del soplado o la inyección.

Imagen obtenida de www.blaststuffs.com con fines didácticos.



Fig 158. Pieza fabricada en Rotomoldeo.

Los niveles productivos del rotomoldeo pueden variar de algunas cuantas piezas, a cientos o miles de artículos, también es adecuado para la producción en baja escala con vista a la obtención de prototipos. Además, a causa de la libertad de diseño, este proceso sobresale entre las técnicas de alta velocidad y productividad. Además, el bajo costo de este proceso permite la experimentación con diversos materiales, distribución en el calibre de pared o con el acabado de las piezas.

Este proceso transforma materiales termoplásticos, en polvo o líquido, de otra forma no podrían ser fundidos ni moldeados ya que el calor para realizar esto se transmite al material por conducción, proceso optimizado al aumentar el área de contacto en un polvo; considerando además, que en este estado el plástico puede “fluir” para tocar todas las paredes del molde mientras vaya girando. Los espesores de pared de los artículos por lo general permanecen constantes, donde el espesor puede ir de 1mm hasta el grosor que se requiera de acuerdo a las funciones de la pieza.

Es posible fabricar artículos tanto simétricos como asimétricos, en formas complejas y aún aquellas que presentan contrasalidas. Este proceso ofrece gran flexibilidad en cuanto al tamaño del producto, siendo factible moldear desde pequeños bulbos, hasta tanques de almacenamiento; sin embargo, la mejor productividad se obtiene con moldes medianos y grandes. Por último, existen bajos niveles de desperdicio ya que este proceso no requiere el uso de coladas, ni bebederos. El material excedente o no deseado es poco en comparación con otros procesos para fabricar piezas huecas⁷.



Fig 159. El Rotomoldeo se ha convertido en un proceso muy versátil.

7 **TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS.** “Rotomoldeo.” Blog dedicado a los materiales plásticos, características, usos, fabricación, procesos de transformación y reciclado. (2011) www.tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx

4.4.8 PROCESO DE FUNDICIÓN

En el conformado de polímeros, la fundición o colado del plástico implica vaciar una resina líquida en un molde usando la fuerza de gravedad para llenar la cavidad y dejando que el polímero endurezca.



Fig 160. Proceso de Fundición.

Tanto los polímeros termoplásticos como los termoestables se funden. Ejemplos de los primeros son los Acrílicos, el Poliestireno (PS), las Poliamidas (Nylon) y el Policloruro de Vinilo (PVC). La conversión de la resina líquida en un termoplástico endurecido puede realizarse de varias maneras las cuales incluyen:

- Calentamiento de la resina termoplástica a un estado altamente fluido, de manera que fluya fácilmente y llene la cavidad del molde, dejándola enfriar y solidificar en el molde
- Por polimerización de un prepolímero de peso molecular bajo (o monómero) en el molde para formar un termoplástico de peso molecular alto.
- Por vaciado de un Plastisol (una suspensión líquida de finas partículas de resina termoplástica, como PVC en un plastificante) en un molde caliente para que forme un gel y solidifique.

Los polímeros termoestables formados por colado incluyen Poliuretanos, Poliésteres Insaturados, Fenólicos y Epóxicos. El proceso implica el vaciado de los ingredientes líquidos que forman el termoestable en un molde donde ocurre la polimerización y el encadenamiento transversal. Se requiere y calor y/o catálisis, dependiendo del sistema de resina. La reacción debe ser lo suficientemente lenta para permitir que se vacíe completamente en el molde.

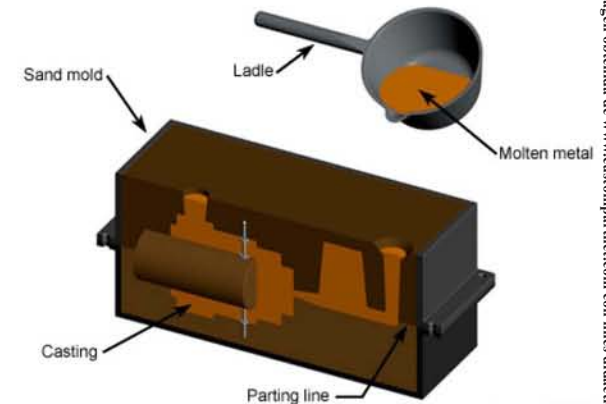


Fig 161. Colado Plástico.

Las ventajas del colado sobre otros procesos alternativos, como moldeo por inyección, son:

- El molde es más simple y menos costoso.
- El artículo vaciado es relativamente libre de esfuerzos residuales y de memoria viscoelástica.
- El proceso se adapta a producción en bajas cantidades.

La Fundición Hueca es una alternativa sobre el colado convencional, tornado de la tecnología de fundición de metales. En la fundición hueca se vacía un Plástico líquido en la cavidad de un molde hendido caliente, formándose una costra en la superficie del molde. Después de algún tiempo, dependiendo del espesor deseado de la costra, se vacía el líquido excedente del molde; el molde se abre entonces para retirar la parte. A este proceso también se le conoce como Vaciado en Concha.



Fig 162. Empleo de la Fundición Hueca.

4.4.9 PROCESO DE CALANDRADO

Una de las maneras para procesar termoplásticos y elastómeros para formar láminas, puede ser mediante el proceso de Calandrado. Esta es una técnica de procesado en continuo que produce hojas y filmes de espesor bastante grandes y longitud infinita a partir de termoplásticos previamente mezclados con otros componentes como plastificantes.

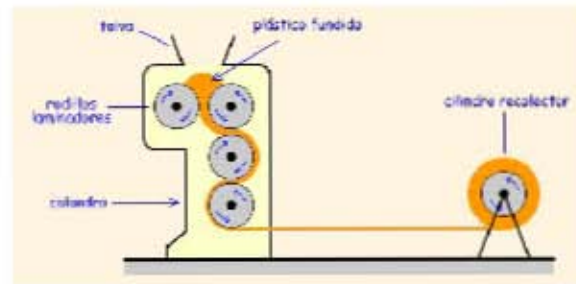


Fig 163. Proceso de Calandrado.

Una calandra, consta de una serie de rodillos calientes, girando en direcciones opuestas unos con respecto a otros, los cuales estrechan el compuesto plástico que fluye a través de ellos hasta formar láminas o películas⁸.

Como la técnica consiste en pasar el plástico en estado viscoelástico por una serie de rodillos para producir una hoja continua, la superficie resultante puede ser lisa o mate, de acuerdo a la superficie de los rodillos, es decir, que alguno de los rodillos puede estar grabado para dar una textura a la hoja resultante. El espesor de la hoja o filme a producir lo da la distancia entre las superficies externas de los rodillos.



Fig 164. Máquina de Calandrado.

⁸ AREIZAGA, JAVIER; CORTÁZAR, M. MILAGROS; ELORZA, JOSÉ M.; IRVIN, JUAN J. Polímeros. Ed. Síntesis. España, 2002. p. 354.

Con este proceso se producen láminas que se utilizan como materia prima para otros procesos secundarios, pero también productos como cortinas de baño, rollos de hule, e impermeables.



Fig 165. Máquina de Calandrado.

4.4.10 PROCESO DE RECUBRIMIENTO

Recubrimiento es una capa fina de material funcional que se aplica a la superficie de un objeto. En muchos casos se aplican para mejorar las propiedades de una superficie, tales como apariencia, adhesión, permeabilidad, resistencia a la corrosión, resistencia al desgaste y resistencia de memoria virtual. En otros casos, el recubrimiento forma parte esencial del producto acabado.

Para la aplicación de recubrimientos a un tejido u otro material se puede utilizar el calandrado mezclado con diversas técnicas:

Imagen obtenida de www.girdersandgears.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.tecnologia-materiales.wikispaces.com con fines didácticos. Imagen obtenida de www.metalnews.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.vipartistperu.com con fines didácticos.

RODILLO GRABADO INVERTIDO

Este sistema se basa en un rodillo grabado inmerso en un tanque, donde el material de revestimiento llena los grabados o hendiduras del rodillo. El revestimiento es depositado en el sustrato al pasar entre los rodillos grabados y los rodillos de presión mientras se elimina el exceso de material por las cuchillas.

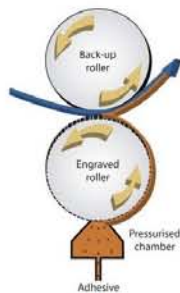


Fig 166. Recubrimiento con Rodillo Grabado.

RECUBRIMIENTO DE INMERSIÓN

En este proceso, el sustrato se sumerge en un baño del material de revestimiento, normalmente de baja viscosidad, adhiriéndose este en el material a recubrir.

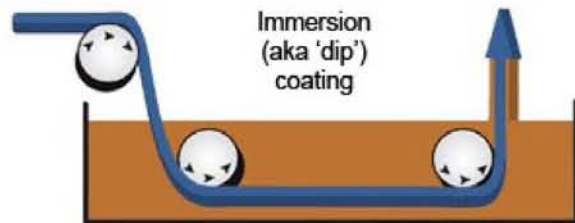


Fig 167. Recubrimiento con Inmersión.

RODILLOS INVERTIDOS

En esta técnica se mide el material de revestimiento en el rodillo gracias al ajuste de precisión de la brecha entre los rodillos situada por encima de los rodillos de aplicación. El material de revestimiento es untado a la superficie por el rodillo de aplicación al pasar por el rodillo de apoyo de la parte inferior.

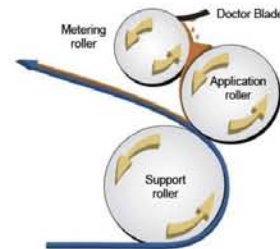


Fig 168. Recubrimiento con Rodillos Invertidos.

RODILLOS CON CUCHILLA

En este caso el material de revestimiento primero se deposita en la superficie, y solo pasa el material que se filtra entre el cuchillo y el cilindro de apoyo, quitando el excedente. Hay algunas variaciones en este proceso en el cual, el excedente del material de recubrimiento, es cortado por un chorro de alimentación de aire.

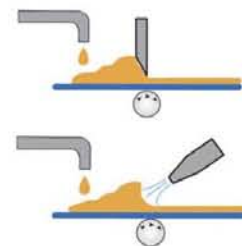


Fig 169. Recubrimiento con Rodillos con Cuchilla.

BARRA DE MEYER

En este proceso, el revestimiento se deposita en la superficie por medio de un rodillo inmerso en un tanque. Una rosca de acero (barra de Meyer) permite pasar la cantidad requerida de revestimiento en el sustrato. La cantidad es determinada por el diámetro de los subprocesos de la barra.

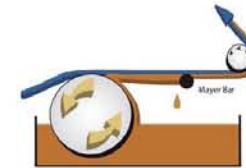


Fig 170. Recubrimiento con Barra de Meyer.

ACABADO DE RANURA

En este proceso, el revestimiento es exprimido a través de una ranura en la superficie. Cuando la capa está 100% sólida, el proceso se denomina extrusión. En este caso la velocidad de giro de la línea es más rápida que la velocidad de extrusión. Esto permite crear revestimientos más delgados que la anchura de la ranura. Por lo tanto la cantidad depositada depende de la velocidad del sustrato y ancho de la brecha⁹.

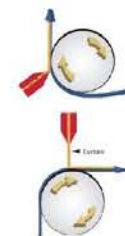


Fig 171. Recubrimiento con Acabado de Ranura.

⁹ ICAPSIRA. "Tecniche di Spalmatura." Icapsira. Chemicals and Polymers. (2010) www.icapsira.com

4.4.11 PROCESO DE ESPUMADO

Se considera una espuma plástica a los plásticos en los que se encuentra incluido un gas en formas de burbujas. Por lo general, las burbujas constituyen el 95% del volumen total de la espuma, mientras que sólo el 5% restante corresponde al material plástico propiamente dicho. Para hacernos una idea de lo que esto significa, si tomáramos un cubo de Poliestireno macizo de 1 dm³ pesaría aproximadamente 1 kg, mientras que si el cubo fuera de Espuma de Poliestireno expandido pesaría únicamente 20 g.



Fig 172. En la fabricación del Poliestireno Expandido se usa el Espumado.

Independientemente del plástico y del proceso con que se haya fabricado la espuma, o del tipo de celdilla que la espuma posea, las propiedades que las hacen interesantes son:

- Baja densidad
- Baja conductividad calorífica
- Propiedades mecánicas favorables con relación a su peso
- Modelado versátil y sencillo
- Mecanizado simple
- Ahorro de material

Es por ello, que son especialmente útiles en la industria de la construcción donde se las utiliza entre otras aplicaciones como aislantes térmicos y acústicos, para la fabricación de cielorraso liviano y económico y para la fabricación de molduras decorativas. La manera como se distribuye el gas a través de la matriz de polímero distingue dos estructuras espumosas básicas:

CELDILLA ABIERTA

Donde las burbujas dentro de una espuma pueden encontrarse comunicadas unas con otras permitiendo el paso de fluidos.

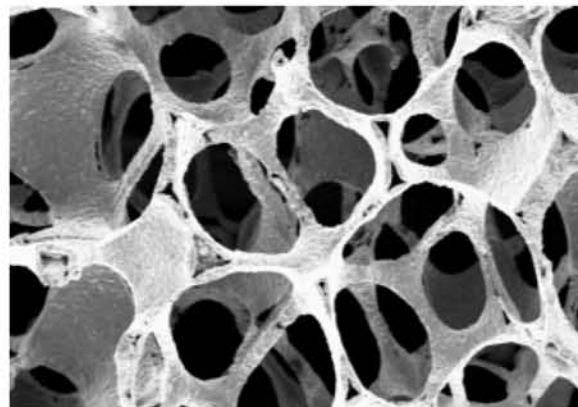


Fig 173. Espumado de celdilla abierta.

CELDILLA CERRADA

Si por el contrario cada burbuja posee una "piel" individual y se encuentran completamente separados uno de otro por la matriz del polímero. También existen espumas mixtas que pueden poseer ambos tipos de celdilla.

La distribución de las celdillas puede variar en función del tipo de espuma. Los mecanismos para producir las burbujas en la fabricación de una espuma pueden ser:

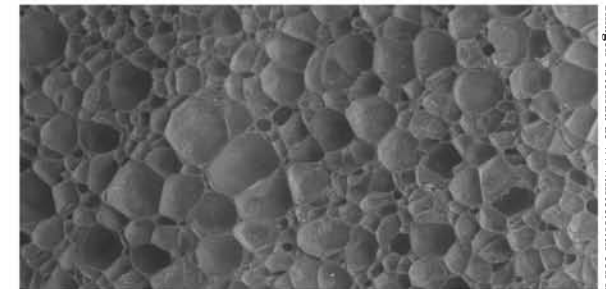


Fig 174. Espumado de celdilla cerrada.

- **Mecánicos.** Las burbujas se obtienen removiendo el gas por medio de un agitador, o inyectando gas a presión en la masa plástica.
- **Físicos.** Un líquido volátil que se encuentra en el seno de la masa plástica entra en ebullición produciendo las burbujas que quedan atrapadas cuando ésta se solidifica o entrecruza.
- **Químicos.** La descomposición térmica de un agente químico, produce el gas que forma la burbuja¹.

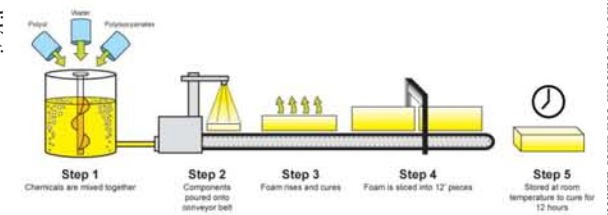


Fig 175. Proceso de Espumado.

¹ VIGIL MONTAÑOS, MARÍA REYES; PASTORIZA MARTÍNEZ, ALEJANDRA; FERNÁNDEZ DE PIÉROLA, INÉS. *Los Plásticos Como Materiales De Construcción*. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2002. p. 75.

4.5 MATERIALES COMPUESTOS

Callister (2005) escribe sobre los materiales compuestos lo siguiente;

Los materiales compuestos se forman incorporando componentes en un material de tal manera que las propiedades del material resultante sean únicas y no obtenibles de alguna otra forma. Los materiales compuestos se pueden seleccionar para obtener combinaciones no usuales de rigidez, peso, desempeño a altas temperaturas, resistencia a la corrosión, dureza o conductividad. Los compuestos ponen de manifiesto la forma en que materiales distintos pueden trabajar sinérgicamente para mejorar las propiedades de estos.



Fig 176. Material Compuesto o Composite.

Un ejemplo de un material que a macroescala sería un material compuesto es el concreto armado. Los materiales compuestos a microescala incluyen materiales como los plásticos reforzados con carbono o con fibra de vidrio (CFRP o GFRP, por sus siglas en inglés, respectivamente). Éstos ofrecen ventajas significativas en resistencias específicas y su uso es creciente en aviones, componentes electrónicos, automotores y artículos deportivos.



Fig 177. El aumento del uso de los Materiales Compuestos ha sido exponencial.

En los materiales compuestos son importantes las propiedades y las fracciones volumétricas de cada fase individual. También es muy importante la conectividad de las fases. Por lo común la fase matriz es la fase continua, la cual sirve como sustancia de aglutinamiento, y la otra fase se dice que es la fase dispersa, compuesta por el material de refuerzo. Así, el término “matriz polimérica” indica un material polimérico utilizado para formar la fase continua.

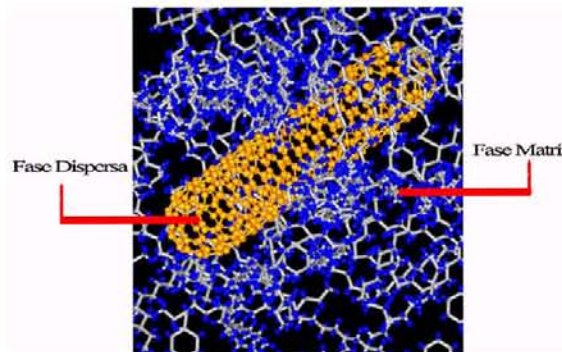


Fig 178. Fases de los Materiales Compuestos.

La conectividad se refiere a la forma en que dos o más fases están interconectadas en el material compuesto. Newnham describió un modelo de conectividad para ilustrar las conectividades de materiales compuestos funcionales. Los materiales compuestos suelen clasificarse en función de la forma o la naturaleza de la fase dispersa (por ejemplo, materiales compuestos reforzados con partículas, filamentos o con fibras). Los filamentos son como las fibras, aunque su tamaño es mucho más pequeño. La unión entre las partículas, filamentos o fibras y la matriz también es muy importante. En los materiales compuestos estructurales se usan moléculas poliméricas conocidas como “agentes de acoplamiento”. Estas moléculas forman enlaces con la fase dispersa y se integran también en la fase matriz continua.

En este capítulo nos enfocaremos principalmente en los materiales compuestos utilizados en aplicaciones estructurales o mecánicas. Los materiales compuestos se pueden organizar en tres clases: *particulados*, *con fibras* y *estructurales*, con base en las formas de los materiales de refuerzo.

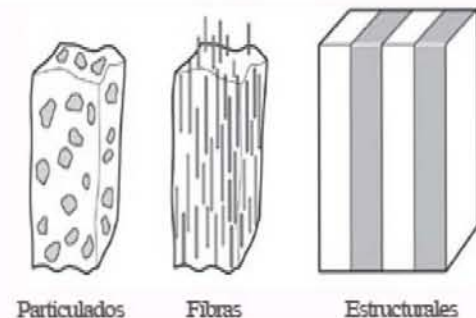


Fig 179. Clases de Materiales Compuestos.

El concreto, una mezcla de cemento y de grava, es un material compuesto particulado; fibras de vidrio incrustadas en un polímero, es un material compuesto reforzado con fibras; y el triplay, o madera contrachapada, con capas alternas de chapa de madera, es un compuesto laminar. Si las partículas de refuerzo están uniformemente distribuidas, los materiales compuestos particulados tienen propiedades isotrópicas; los materiales compuestos con fibras pueden ser isotrópicos o anisotrópico; los compuestos estructurales siempre tienen un comportamiento anisotrópico.



Fig 180. El Concreto es un ejemplo de Material Compuesto Particulado.

4.5.1 MATERIALES COMPUESTOS PARTICULADOS

La adición de partículas de mayor o menor tamaño a una determinada matriz es un recurso habitualmente utilizado para obtener materiales más resistentes. Las partículas de refuerzo son habitualmente más duras y resistentes que la matriz, se cohesionan fuertemente con ésta y mejoran apreciablemente sus propiedades mecánicas. Según el tamaño de las partículas, pueden distinguirse dos tipos de composites particulados diferentes:

CON PARTÍCULAS GRANDES

También llamados materiales compuestos verdaderamente particulados, los cuales contienen grandes cantidades de partículas gruesas que restringen el movimiento de la fase matriz en las cercanías de la partícula, las cuales van a soportar una parte importante de las fuerzas que se ejercen sobre ella. Dado su tamaño, la interacción de estas partículas con la matriz no tiene lugar a nivel atómico o molecular, y sus efectos se producen a nivel macroscópico. Evidentemente, su efectividad aumenta con la cohesión matriz-partícula que se establezca. Estos compuestos están diseñados para producir combinaciones poco usuales de propiedades y no para mejorar la resistencia. Muchos polímeros para ingeniería, que contienen rellenos y dilatantes, son materiales compuestos particulados. Los extensores posiblemente hacen más rígido al polímero, incrementan la dureza y la resistencia al desgaste, incrementan la conductividad térmica, o bien mejoran la resistencia a la termofluencia; sin embargo, normalmente se reducen la resistencia y la ductilidad. Si se agregan esferas de vidrio huecas, se puede conseguir el mismo cambio en las propiedades y al mismo tiempo reducir de manera significativa el peso del material compuesto.

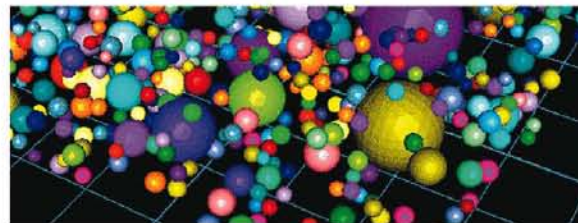


Fig 181. Material Compuesto Verdaderamente Particulado.

ENDURECIDOS POR DISPERSIÓN

Son materiales nanocompuestos con partículas da 10 a 250 nm. de diámetro. Estos, comúnmente son un óxido metálico, se introducen en la matriz por medios distintos a las transformaciones de fase tradicionales. A pesar de que las pequeñas partículas no son coherentes en relación con la matriz, actúan a nivel atómico-molecular y bloquean el movimiento de las dislocaciones, con el consiguiente aumento de la dureza y la resistencia a la deformación plástica y a la tracción. Normalmente, este tipo de reforzamiento se aplica en metales y aleaciones metálicas. Obviamente deben ser materiales duros, inertes para no reaccionar con la matriz y poco solubles en ésta (porque la solubilidad favorece la formación de enlaces indeseables entre la matriz y las partículas). A la temperatura ambiente, los materiales compuestos endurecidos por dispersión pueden ser más débiles que las aleaciones de endurecimiento por envejecimiento tradicionales, que contienen un precipitado coherente. Sin embargo, dado que los materiales compuestos no se ablandan de manera catastrófica por sobrevejecimiento, la resistencia de los mismos se reduce sólo de manera gradual al incrementarse la temperatura.

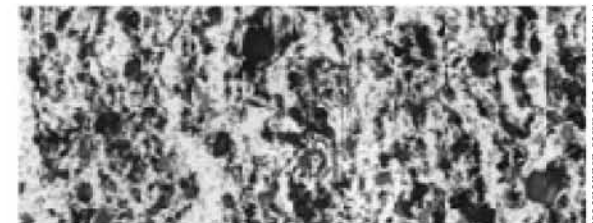


Fig 182. Material Compuesto Endurecido por Dispersión.

Imagen obtenida de www.comasa.com.ve con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ebookku.vn con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.seiolo.br con fines didácticos.

4.5.2 MATERIALES COMPUESTOS REFORZADOS CON FIBRAS

La mayoría de los materiales compuestos reforzados con fibras obtienen una mayor resistencia, una mejor resistencia a la fatiga, mejor módulo de Young y una mejor relación resistencia a peso al incorporar fibras resistentes, rígidas aunque frágiles, en una matriz más blanda y más dúctil. El material de la matriz transmite la fuerza a las fibras, mismas que soportan la mayor parte de la fuerza aplicada. La resistencia del material compuesto puede resultar alta tanto a la temperatura ambiente como a temperaturas elevadas. Se utilizan muchos tipos de materiales de refuerzo.



Fig 183. Material Compuesto Reforzado con Fibras.

Durante siglos se usó la paja para reforzar los tabiques de barro. En las estructuras de concreto se introducen varillas de acero de refuerzo. En los materiales compuestos avanzados, basados en matrices de polímeros, metales, materiales cerámicos e incluso materiales compuestos intermetálicos, se utilizan refuerzos fibrosos de vidrio, carbonáceos, poliméricos, inorgánicos, metálicos e híbridos, con la finalidad de proporcionar un refuerzo excepcional.

CARACTERISTICAS

Al diseñar un material compuesto reforzado con fibras, deben tomarse en consideración muchos factores, incluyendo longitud, diámetro, orientación, cantidad y propiedades de las mismas, así como las propiedades de la matriz y de la unión entre ambas.

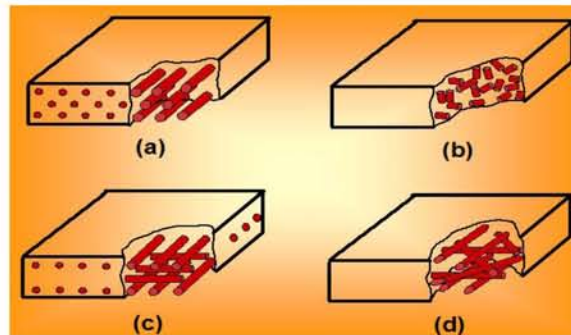


Fig 184. Propiedades de los Materiales Compuestos Reforzados con Fibras.

LONGITUD Y DIÁMETRO DE LAS FIBRAS.

Las fibras pueden ser cortas, largas o incluso continuas. La resistencia del material compuesto se mejora cuando la relación de forma es grande. Con frecuencia, las fibras se fracturan debido a defectos superficiales. Al hacer que los diámetros sean tan pequeños como sea posible, las fibras tienen menos área superficial y, en consecuencia, menos defectos que pudieran propagarse durante el proceso o bajo carga. También se prefieren las fibras largas. Los extremos de una fibra soportan menos carga que el resto; en consecuencia, cuantos menos extremos existan, mayor será la capacidad de absorción de carga de las fibras.

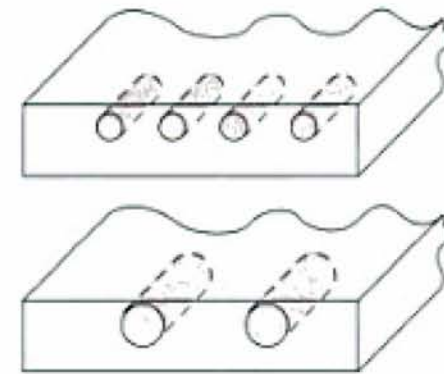


Fig 185. Longitud y diámetro de fibras.

CANTIDAD DE FIBRAS.

Una fracción volumétrica mayor de fibras incrementa la resistencia y la rigidez del material compuesto, como podríamos esperar a partir de la regla de las mezclas. Sin embargo, la fracción volumétrica máxima es de aproximadamente 80%, más allá de la cual las fibras ya no pueden estar totalmente recubiertas o rodeadas por la matriz.

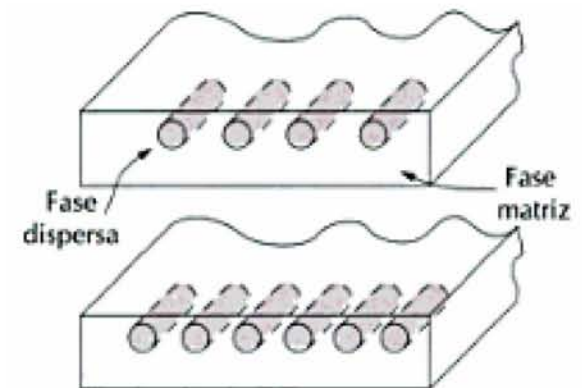


Fig 186. Concentración de las fibras.

ORIENTACIÓN DE LAS FIBRAS. Las fibras de refuerzo pueden introducirse en la matriz con diversas orientaciones. Las fibras cortas de orientación aleatoria y con una pequeña relación de forma — típicamente el caso de la fibra de vidrio— son fáciles de introducir en la matriz y le dan al material compuesto un comportamiento relativamente isotrópico.

Los arreglos de fibras largas, o incluso continuas y unidireccionales, producen propiedades anisotrópicas, con una resistencia y rigidez particularmente buenas en dirección paralela a las fibras. Estas fibras se conocen como capas de 0° , lo cual muestra que todas las fibras están alineadas en la dirección del esfuerzo aplicado. Sin embargo, las orientaciones unidireccionales originan malas propiedades si la carga es perpendicular a dichas fibras.

Una de las características únicas de los materiales compuestos reforzados con fibra es que se pueden diseñar sus propiedades para que cubran diferentes tipos de condiciones de carga. Se pueden introducir, en varias direcciones dentro de la matriz, fibras largas y continuas; en arreglos ortogonales (capas $0^\circ/90^\circ$), se pueden obtener buenas resistencias en direcciones perpendiculares. Disposiciones más complejas (como capas $0^\circ/\pm 45^\circ/90^\circ$) que darán refuerzo en múltiples direcciones.

Las fibras también pueden ordenarse en patrones tridimensionales. Incluso en el más simple de los tejidos, las fibras de cada capa individual de tela tienen algún pequeño grado de orientación en una tercera dirección. Cuando las capas de tela están

tejidas o cocidas unas con otras, se obtiene en esfuerzo tridimensional mayor. También se pueden utilizar tejidos tridimensionales más complejos.

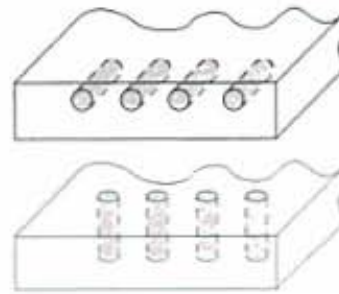


Fig 187. Orientación de las fibras.

PROPIEDADES DE LAS FIBRAS. En la mayoría de los materiales compuestos reforzados con fibra son resistentes, rígidas y ligeras. Si el material compuesto se utilizara a temperaturas elevadas, la fibra también deberá tener una elevada temperatura de fusión.

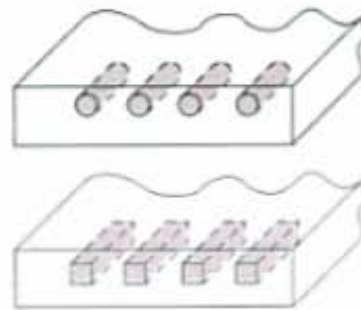


Fig 188. Forma de las fibras.

PROPIEDADES DE LAS MATRICES. La matriz soporta las fibras y las mantiene en su posición correcta, transfiere la carga a las fibras fuertes, protege las fibras contra daños durante su manufactura y uso en el material compuesto y evita la propagación de las grietas en fibras hacia todo el material compuesto. La matriz, por lo general, es la que aporta el control principal sobre las propiedades eléctricas, el comportamiento químico y el uso a temperaturas elevadas de un material compuesto.¹

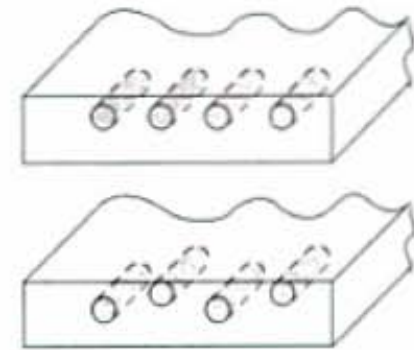


Fig 189. Distribución de las fibras.

UNIÓN Y FALLA. Particularmente en los materiales compuestos de matriz polimérica y metálica, debe obtenerse una buena unión entre los varios constituyentes. Las fibras pueden estar firmemente unidas al material de la matriz para que la carga se transmita correctamente de la matriz a las fibras. Además, si la unión es mala, las fibras pueden salirse de la matriz durante la carga, reduciendo la resistencia y la resistencia a la fatiga del material compuesto.

Imagen obtenida de www.inet.edu.ar con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.inet.edu.ar con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.inet.edu.ar con fines didácticos.

TIPOS DE REFUERZOS FIBROSOS

FIBRA DE VIDRIO. Es uno de los materiales de refuerzo más importantes. Existen diversos tipos de fibras de vidrio cuyo principal componente es el Sílice: la más habitual es la fibra E que posee alta resistencia y buenas propiedades eléctricas; la fibra C tiene buena resistencia química y al igual que la E, tiene buena resistencia a la tracción; la fibra D tiene una constante dieléctrica y densidad bajas; la fibra I brinda buena protección a la radiación por el Plomo; la fibra S se utiliza para aplicaciones de alta resistencia la ser 20% más fuerte y rígida que la E. Las fibras de vidrio se pueden obtener en *mechas* para cortarlas y aplicarlas a las resinas, *fibras cortadas* las cuales son la forma más económica de estas y con longitud entre 3 y 50 mm., *fibras trituradas* con longitud menor a 1.5 mm. producidas por triturado con martillo para añadirse a las resinas para aumentar viscosidad y resistencia, *hilos* similares a las mechas pero trenzados, *fieltros* consistentes en piezas no direccionales de hebras cortadas que se mantienen juntas debido a un aglutinante, y *tejidos planos* los cuales otorgan la mayor resistencia de todas las formas anteriores aunque al doble de costo. .



Fig 190. Fibra de Vidrio.

Imagen obtenida de www.westsysteminternational.com con fines didácticos.

FIBRAS CARBONÁCEAS. Se obtienen normalmente por oxidación, carbonización y grafitación de una fibra orgánica. El Rayón y el Poliacrilonitrilo (PAN) son las más utilizadas actualmente. A manera general, las breas tienen carácter isótropo por lo que deben orientarse correctamente para ser útiles como refuerzos. Las fibras de Carbono PAN tienen aproximadamente un 95% de éste mientras que las de Grafito, las cuales se grafitan a temperaturas mucho más altas, dan como resultado un 99%. Una vez que se han extraído los materiales orgánicos (Pirrolizado y Estirado en Filamentos), el resultado es una fibra de alta resistencia, alto módulo y baja densidad.



Fig 191. Fibras de Carbono.

Imagen obtenida de www.jsuretex.en.albaba.com con fines didácticos.

FIBRAS DE POLÍMERO. Durante años se han utilizado el algodón y la seda como refuerzos en cinturones, neumáticos, engranajes y otros productos. Actualmente se utilizan polímeros sintéticos de poliéster (PE), Poliamida (PA), Poliacrilonitrilo (PAN), Poliacetato de Vinilo (PVA) y Acetato de Celulosa (CA), entre otros. Las Aramidas Kevlar son fibras de polímero de Poliamida Aromática que posee casi

el doble de rigidez y aproximadamente la mitad de densidad del vidrio. Kevlar es una marca registrada por DuPont, y Aramida es el nombre genérico de la serie de fibras. Al contrario de las fibras de Carbono, las Aramidas no conducen electricidad ni tampoco son eléctricamente opacas a las ondas de radio. Se utilizan para protección balística, cascos, barcas, armaduras, volantes, estructuras aeronáuticas y otras aplicaciones para los materiales compuestos. Una matriz de polímero común de alta resistencia es el Epóxido. En este marco se emplean Poliésteres, Poliamida Fenólica y otras resinas. Las fibras termoplásticas a base de Poliéster y Poliamida encuentran aplicación en compuestos de Moldeo en Volumen (BMC) Moldeo en Lámina (SMC) y gruesos (TMC), Chapeado, Pultrusión, Enrollamiento de Filamentos, Moldeo por Transferencia (RTM) por Inyección a Reacción Reforzado (RRIM), Moldeo por Transferencia por Expansión Térmica (TERTM) y operaciones de Moldeo por Inyección.



Fig 192. Fibras de Poliamidas.

Imagen obtenida de www.ingenieriatextilipn.blogspot.com con fines didácticos.

FIBRAS INORGÁNICAS. Estas fibras conforman una clase de fibras cristalinas cortas las cuales están hechas generalmente de Óxido de aluminio, Óxido de Berilio, Óxido de Magnesio, Titanato de Potasio, Carburo de Silicio, Boruro de Titanio y otros materiales. Los filamentos de Titanato de Potasio se utilizan en grandes cantidades para reforzar materiales compuestos de matrices termoplásticas. Las fibras de Boro continuas inorgánicas son más fuertes que el Carbono y se pueden utilizar en una matriz de polímero y Aluminio. La fabricación de estas fibras resulta muy cara con la tecnología actual, no obstante presentan resistencias a la tracción superiores hasta por 10 veces más que las de vidrio. Se utilizan para fabricar piezas para aeronáutica militar y civil, empastes dentales, aspas de turbinas y equipo de inmersión con grandes resultados. Las fibras cerámicas presentan una alta resistencia a la tracción las cuales pueden alcanzar hasta 3 veces más que las de vidrio, con aplicaciones en empastes dentales, electrónica especial e investigación aeroespacial.



Fig 193. Fibras de Boro.

FIBRAS METÁLICAS. El Acero, el Aluminio y otros metales se pueden estirar en filamentos continuos. A grandes rasgos, no podemos compararlas con otras fibras en densidad, resistencia y otras propiedades. Se utilizan para lograr mayor resistencia, transmisión calorífica y conductividad eléctrica.

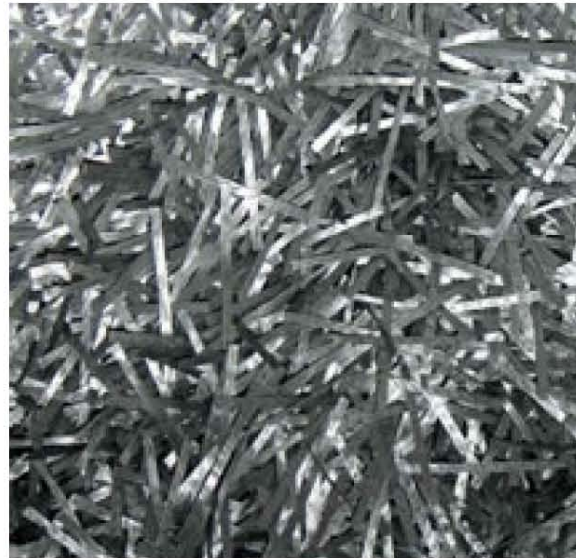


Fig 194. Fibras de Acero.

FIBRAS HÍBRIDAS. Es posible combinar 2 o más fibras para adaptar el refuerzo a las exigencias del diseñador. Las fibras híbridas confieren distintas propiedades y permiten muchas combinaciones de material. Pueden favorecer al máximo el rendimiento, reducir al mínimo el costo o compensar las deficiencias de otro componente de fibra creando un efecto sinérgico.

4.5.3 MATERIALES COMPUESTOS ESTRUCTURALES

Los composites estructurales se caracterizan por su elevada resistencia en todas las direcciones, siendo además ligeros y de bajo costo. Pueden tener también propiedades térmicas interesantes, y generalmente se diseñan para que su resistencia a la abrasión ya la corrosión sea buena.

ESTRUCTURAS LAMINARES

Estos materiales están formados por láminas de materiales con elevada resistencia en una determinada dirección (madera, plásticos reforzados con fibras alineadas). Estas láminas se apilan y se pegan entre sí de manera que las direcciones preferentes de elevada resistencia se van alternando. De esta manera el material final tiene una elevada resistencia en todas las direcciones (evidentemente siempre inferior a la que tendría en la dirección preferente si todas las láminas se apilaran con igual orientación). El adhesivo utilizado para unir las láminas es habitualmente un polímero que endurece por calentamiento y presión.

Entre los laminados más habitualmente empleados se pueden citar los vidrios de seguridad, formados por dos láminas de vidrio unidas por un adhesivo plástico que impide que en caso de ruptura salgan despedidos los trozos de vidrio. La formica, se utiliza por ejemplo para embellecer y proteger un material base. Mención especial merecen los microlaminados, compuestos de láminas de aluminio alternadas con láminas de

polímeros reforzados con fibras. Algunos se utilizan en los fuselajes de los aviones. Estos compuestos son sumamente ligeros, pero al mismo tiempo muy duros y resistentes a la corrosión, a la fatiga y al impacto. Además, no son afectados por la luz (a diferencia de los polímeros) y se mecanizan y reparan con facilidad.



Fig 195. Estructura Laminar.

ESTRUCTURAS “SANDWICH”

Las estructuras “sandwich” más comunes constan de dos láminas externas resistentes, llamadas caras, separadas por una capa de material menos denso y resistente, llamado núcleo. Los materiales de las caras suelen ser de acero, aleaciones de aluminio, titanio, madera, plásticos reforzados e incluso papel. Sumisión es resistir las fuerzas sobre el plano y los esfuerzos de flexión transversal. Para el núcleo se utilizan materiales muy ligeros como los polímeros espumosos, caucho, cementos, madera de balsa. Su función es mantener separadas las caras evitando las deformaciones

perpendiculares a éstas proporcionando flexibilidad y también aumentar la resistencia a la cizalladura.

La elección de los materiales que van a componer el “sandwich” depende obviamente de la aplicación para la que se dese. Así, uno de los compuestos sandwich más conocidos es el cartón corrugado que se utiliza como protector en embalajes, compuesto por tres capas de papel, dos lisas en el exterior y una interna corrugada pegada a las otras dos. En el otro extremo tenemos las estructuras en panel utilizadas en fuselajes y planos estabilizadores de los aviones. En este caso

el material utilizado es habitualmente una aleación de aluminio ligera. El núcleo se obtiene pegando entre sí varias láminas corrugadas (formando huecos hexagonales, cuadrados, sinusoidales, etc.) y finalmente al panel se pega una lámina de aluminio de mayor grosor por cada cara. Este conjunto tiene una excelente resistencia. Además los huecos pueden ser rellenados con una espuma polimérica que proporciona además un aislamiento acústico y vibracional muy bueno. Este tipo de estructuras, aunque con materiales menos sofisticados, también se emplean en construcción para techos, suelos y tabiques¹.



Fig 196. Estructura Sandwich.

¹ CALLISTER, WILLIAM D. *Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverté. Barcelona, España, 2005.p. 527-555.

4.6 EL PLÁSTICO EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

En esta sección se informa acerca de los residuos sólidos urbanos, los cuales representan una categoría de análisis para cuantificar y conocer las características de la basura producida en las ciudades; generalmente esta categoría incluye a los desechos generados en los hogares (basura doméstica) y otras fuentes (comercial, institucional, construcción y demolición, entre otras).

La generación de los residuos sólidos urbanos se ha incrementado de manera paralela al crecimiento de las ciudades y a la tendencia de la concentración de la población en los centros urbanos, así como la adopción de un estilo de vida semejante al modelo de las sociedades industriales. Los impactos al ambiente y a la salud humana debido al inadecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos han llevado a establecer estrategias que incluyen la definición de un marco normativo que permita un control más eficiente, el desarrollo de políticas para reducir su generación, estimular la reutilización y reciclado de materiales y la búsqueda de esquemas de financiamiento adecuado a las capacidades de pago de los diferentes municipios.



Fig 197. La generación de RSU ha aumentado con el crecimiento de las ciudades.

4.6.1 LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La SEMARNAT (2008) en su Compendio de Estadísticas Ambientales publica el siguiente estudio:

Los residuos, es uno de los temas que impactan directamente en la contaminación ambiental, y su aumento, va de la mano del incremento de las ciudades y la población mundial. Estos residuos, se clasifican en México en tres rubros: residuos peligrosos (RP), residuos sólidos urbanos (RSU) y residuos de manejo especial (RME). La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, SEMARNAT (2008), define los RSU como “el conjunto de desechos generados en casas habitación, parques, jardines, vías públicas, oficinas, sitios de reunión, mercados, comercios, bienes inmuebles, demoliciones, construcciones, instalaciones, establecimientos de servicios y en general todos aquellos generados en actividades municipales que no requieran técnicas especiales para su control.

A nivel de los habitantes del país, la generación per cápita diaria creció de 300 gramos en 1950, a casi un kilogramo en 2007. En términos anuales, la generación per cápita se incrementó en promedio 4 kilogramos por año entre 1997 y 2007, alcanzando los 349 kilogramos por habitante en el 2007. De acuerdo a datos obtenidos de la SEMARNAT (2008), en México se produjeron 37,795,000 toneladas de basura en el 2008, resultado de una producción per cápita de 0.97 Kg. por día.

La generación per cápita muestra diferencias importantes entre regiones y entidades federativas del país, debidas básicamente a la influencia de factores culturales, niveles de ingreso y a la dinámica del movimiento hacia los centros urbanos, entre otros. Si se considera la regionalización de la Secretaría de Desarrollo Social, SEDESOL (2007), para el análisis de la generación residuos, el Distrito Federal y la Frontera Norte registraron las mayores generaciones de RSU per cápita, con cerca de 1.4 y 1.1 kilogramos al día, respectivamente, mientras que los habitantes de otras



Fig 198. Producción de RSU en México. Fuente: SEMARNAT, 2008.

Imagen obtenida de www.leanito.com.mx con fines didácticos.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

zonas, como la región Sur, generaron en promedio menos de un kilogramo al día.

En cuanto a la generación total de residuos, también existen diferencias importantes por región. Por ejemplo, la Centro contribuye con la mitad de la generación de los RSU en el país, seguida por la Frontera Norte (16% del total) y el Distrito Federal (13 %). La composición de los residuos también ha cambiado de manera importante en el tiempo a nivel nacional. En general, la composición de los RSU depende, entre otros factores, de los patrones de consumo de la población. Se ha encontrado que existe una correlación entre la composición de los RSU generados y las condiciones económicas de los países: aquéllos con menores ingresos generan menos residuos y en sus componentes predomina la materia orgánica, en contraste con los

países con mayores ingresos. El caso de México ilustra la transformación entre ambos tipos de economías: en la década de los 50, el porcentaje de residuos orgánicos en la basura oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que para 2007, esta cifra se redujo al 50%. En esta última fecha, 32.3% de los RSU generados eran potencialmente reciclables, destacando el papel y cartón (14.9%), vidrio (6.4%), plástico (6%), metal (3.5%) y textiles (1.5%).

Este mismo año, las entidades que generaron mayores proporciones de RSU per cápita fueron Distrito Federal, Nuevo León, Estado de México, Baja California y Jalisco, mientras que Oaxaca, Chiapas, Tlaxcala, Zacatecas e Hidalgo, registraron la menor generación de residuos como se puede observar en la tabla. Con la producción per cápita, podemos observar que no

tiene relación alguna el tamaño de las localidades y cantidad de población, con la producción de residuos. Como ejemplo de lo anteriormente afirmado, tenemos a Baja California Sur que siendo la población con menor población en la República Mexicana, tuvo una producción per cápita de residuos de 0.969 Kg., colocándose en el lugar 26 de producción de residuos. Si bien la generación per cápita de RSU en nuestro país es inferior a la de otros países del mundo, su volumen diario sobrepasa la capacidad instalada para su manejo ambientalmente adecuado en los municipios.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Los desechos que se generan en México se deben clasificar como reciclables, compostables, no reciclables y aquellos que deben tener un tratamiento sanitario. Se consideran como reciclables aquellos productos que se pueden transformar en otro objeto útil. Generalmente son residuos inorgánicos, como el papel, cartón, vidrio, metales y por supuesto, plásticos.

En la categoría de compostables, se incluye la materia orgánica que puede provenir de desechos de comida o de jardín, que al mezclarse entre sí y con tierra se degradan fácilmente y se pueden utilizar como material fertilizante para algunas plantas. En el 2005, el 50.74% de la basura era orgánica, lo ideal es que parte de este material se transforme en composta, y así evitar que lleguen a los tiraderos puesto que son los principales causantes de los lixiviados, que son los líquidos que se generan tras su descomposición de los compuestos orgánicos, además de que representan un peligro de incendio por la cantidad de metano que se genera tras la descomposición. Por último, en tratamiento sanitario se encuentran los pañales, las toallas femeninas y otros materiales tales como los residuos hospitalarios.

Un poco más del 52% de los RSU producidos en el país, están formados por desechos orgánicos, mientras el resto lo forman los desechos inorgánicos. De estos últimos, solamente una cuarta parte son residuos inorgánicos no recuperables, pero las tres cuartas partes restantes, están compuestas de materiales como papel, vidrio, textiles, metales y plásticos, que bien pueden ser aprovechados por la industria del reciclaje, para posteriormente producir nuevos productos en base a estos.

PRODUCCIÓN DE RSU POR ENTIDAD FEDERATIVA 2008				
POSICIÓN	ENTIDAD FEDERATIVA	RSU EN KILOGRAMOS	POBLACIÓN	PRODUCCIÓN PER CAPITA DIARIA EN KILOGRAMOS
1	Oaxaca	803,000,000.00	3,552,300.00	0.619
2	Chiapas	1,132,000,000.00	4,460,013.00	0.695
3	Tlaxcala	294,000,000.00	1,119,819.00	0.719
4	Zacatecas	363,000,000.00	1,381,399.00	0.720
5	Hidalgo	635,000,000.00	2,409,162.00	0.722
26	Baja California Sur	195,000,000.00	551,525.00	0.969
28	Jalisco	2,710,000,000.00	6,960,799.00	1.067
29	Baja California	1,288,000,000.00	3,079,363.00	1.146
30	México	6,169,000,000.00	14,638,436.00	1.155
31	Nuevo León	1,914,000,000.00	4,393,095.00	1.194
32	Distrito Federal	4,745,000,000.00	8,836,045.00	1.471

Fig 199. Producción de RSU Per Capita por Entidad Federativa. Fuente: SEMARNAT, 2008.

En el 2008 se alcanzó en nuestro país un consumo per cápita de plásticos de 45.46 Kg. por año. Del total de RSU producidos en el 2008, tenemos que los residuos plásticos componen el 11% de estos, es decir, 2,208,000 toneladas, que, aunque al parecer no es un gran porcentaje debido a su peso, si lo es en relación al volumen que ocupan; pudiendo con estos, cubrir anualmente en su totalidad el área que ocupa en la actualidad nuestra Ciudad Universitaria, la cual cubre alrededor de 7,000,000 de metros cuadrados.

4.6.2 IMPACTOS DE LOS RESIDUOS SOBRE LA POBLACION Y LOS ECOSISTEMAS

El desarrollo económico, la industrialización y la implantación de modelos económicos que conllevan al aumento sostenido del consumo, han impactado significativamente en el volumen y la composición de los residuos producidos por las sociedades del mundo. Las consecuencias ambientales de la inadecuada disposición de los residuos pueden ser negativas en la salud de la población y de los ecosistemas naturales. Algunos impactos de los residuos son los siguientes:

GENERACIÓN DE CONTAMINANTES Y GASES DE EFECTO INVERNADERO

La descomposición de los residuos orgánicos produce biogases desagradables por los olores que generan, además de ser peligrosos por su toxicidad e incluso, por su explosividad. Entre ellos destacan el bióxido y monóxido de carbono (CO₂ y CO, respectivamente), metano (CH₄), ácido sulfhídrico (H₂S) y compuestos orgánicos volátiles (COVs, entre ellos la acetona, benceno, estireno, tolueno y tricloroetileno). Algunos, como el CO₂ y el CH₄, además de alterar la calidad del aire, favorecen, como gases de efecto invernadero, el calentamiento global.



Fig 201. Contaminación Ambiental.

Imagen obtenida de www.recicladoyecologia.com/ con fines didácticos.

COMPOSICIÓN DE LOS RSU EN MÉXICO 2008

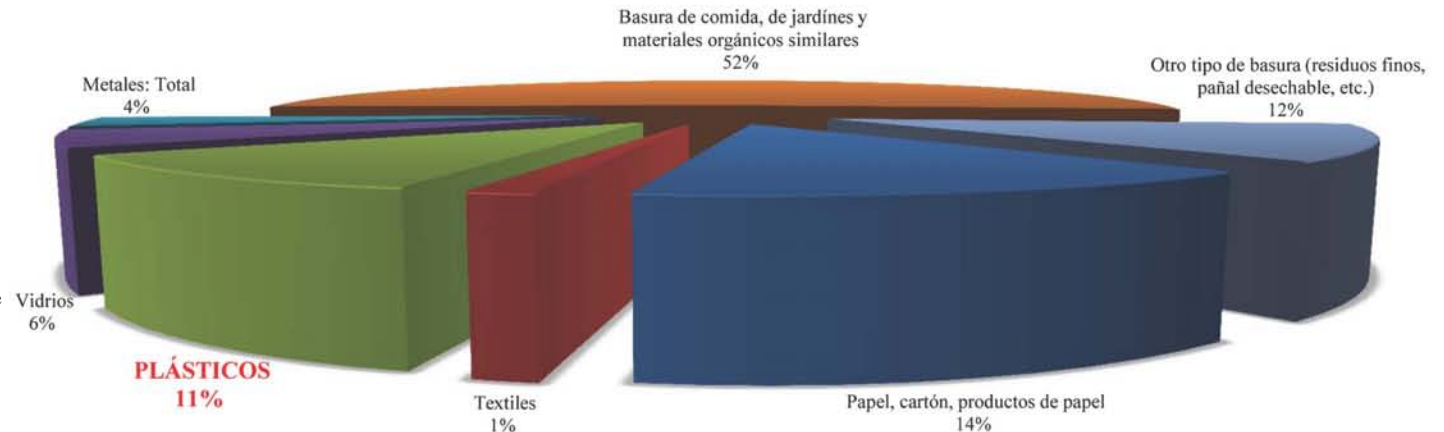


Fig 200. Composición de los RSU en México. Fuente: SEMARNAT, 2008.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS Y CUERPOS DE AGUA

El contacto del agua con los residuos puede generar lixiviados que contienen, en forma disuelta o en suspensión, sustancias que se infiltran en los suelos o escurren fuera de los sitios de depósito. Los lixiviados pueden contaminar los suelos y los cuerpos de agua, provocando su deterioro y la reducción de su productividad, así como representar un riesgo para la salud humana y de los demás organismos.



Fig 202. Contaminación de los cuerpos de agua.

PROLIFERACIÓN DE FAUNA NOCIVA Y TRANSMISIÓN DE ENFERMEDADES

Los residuos orgánicos que se disponen atraen a un numeroso grupo de especies de insectos, aves y mamíferos que pueden transformarse en vectores de enfermedades peligrosas como la peste bubónica, tífus marino, salmonelosis, cólera, leishmaniasis, amebiasis, disentería, toxoplasmosis, dengue, fiebre amarilla, etc.



Fig 203. Fauna nociva.

4.6.3 MANEJO Y DISPOSICIÓN FINAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

El manejo adecuado de los RSU tiene como objetivo final proteger la salud de la población, reduciendo su exposición a lesiones, accidentes, molestias y enfermedades causadas por el contacto con los desperdicios, y evitar el impacto potencial que podrían ocasionar sobre los ecosistemas. Durante mucho tiempo, el manejo de los RSU no fue el más adecuado y hoy día no se han incorporado en todo el territorio nacional técnicas modernas para la solución de este problema, por lo que es relativamente frecuente que los residuos se depositen en espacios cercanos a las vías de comunicación, o bien, sobre depresiones naturales del terreno, tales como cañadas, barrancas y cauces de arroyos.

El manejo de los RSU comprende diferentes fases, que van desde su generación, almacenamiento, transporte y tratamiento, hasta su disposición en diversos sitios. Algunas de ellas involucran aspectos importantes del ciclo de vida de los residuos, tales como la recolección,

el reciclaje y la disposición final, las cuales se tratan con más detalle en los siguientes párrafos.

RECOLECCIÓN

En 1996 se recolectaba cerca de 70% de los residuos generados en el país, cifra que en 2007 alcanzó 88.4%. Sin embargo, esta cifra también difiere si se trata de zonas metropolitanas, ciudades medias o pequeñas áreas urbanas. En las grandes zonas metropolitanas del país, la cobertura en la recolección de los residuos alcanza 95%, mientras que en las ciudades medias varía entre 75 y 85% y en las pequeñas áreas urbanas entre 60 y 80%. En 2007, los estados que registraron la mayor cobertura en la recolección de RSU fueron el Distrito Federal (98% del volumen generado), Aguascalientes (97.5%), Baja California Sur (94.7%) y Tlaxcala (94.4%), mientras que los estados con menor cobertura fueron Hidalgo (78.1%), Durango (78.6%), Oaxaca (78.9%) y Michoacán (79.9%).



Fig 204. La recolección de basura aún es deficiente en el país.

Imagen obtenida de www.enlaceinformativo.net con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.storify.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.interactivo.eduniversal.com.mx con fines didácticos.

RECICLAJE

El volumen de Residuos Sólidos Urbanos que se recicla en el país, aunque se ha incrementado, aún resulta bajo. De acuerdo con las cifras obtenidas de los sitios de disposición final de residuos, en 2007 se recicló 3.3% del volumen de los RSU generados. Sin embargo, esta cifra podría ser mayor, e incluso alcanzar el 15%, dado que muchos de los RSU que se puede reciclar se recuperan directamente en los contenedores y en los vehículos de recolección. Del volumen total de RSU reciclados en 2007, el mayor porcentaje correspondió al papel, cartón y sus derivados (38.7%), seguidos por el vidrio (34.7%) y los metales (26%). Por otro lado, si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2007 fueron los metales (24.1% del total de metales generados), el vidrio (17.8%), papel (8.5%) y los plásticos y textiles, con 0.3% cada uno. En 1996, se recolectaba en el país 70% de los residuos generados, en 2007 aumentó a 88.4%.



Fig 205. Los centros de reciclaje son arcaicos.

Imagen obtenida de www.puravidantia.org con fines didácticos.

DISPOSICIÓN FINAL

La disposición final de los residuos se refiere a su depósito o confinamiento permanente en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las posibles afectaciones a la salud de la población y de los ecosistemas. Los sitios de disposición final (tanto los rellenos sanitarios como los sitios controlados) deben:

- Garantizar la extracción, captación, conducción y control de los biogases generados.
- Garantizar la captación y extracción de los lixiviados.
- Contar con drenajes pluviales para el desvío de escurrimientos y el desalojo del agua de lluvia.
- Controlar la dispersión de materiales ligeros, así como la fauna nociva y la infiltración pluvial¹.



Fig 206. Disposición final de los RSU.

Imagen obtenida de www.ambienteconservacion.blogspot.co con fines didácticos.

¹ SEMARNAT. "Informe De La Situación Del Medio Ambiente En México." *Compendio De Estadísticas Ambientales*. SEMARNAT. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, 2008. p. 327-334.

4.7 EL RECICLAJE DE LOS PLÁSTICOS

Márquez y Conde (2007) explican el surgimiento del reciclaje y dan un panorama general en este tema de México:

4.7.1 SURGIMIENTO DEL RECICLAJE

El reciclaje surge al tratar de preservar los recursos naturales no renovables y como una manera de aprovechar los residuos con valor. Desde hace más de dos siglos, la industria de los metales implementó sistemas de reciclaje de “chatarra” que se recolecta para posteriormente fundirla y convertirla en una pieza nueva. Otra es la industria del papel, cuyo reciclaje data desde principios del siglo pasado cuando los japoneses lo reutilizaban convirtiéndolo en pulpa. El reciclado del vidrio data desde su descubrimiento antes de Cristo, pero en el caso de los plásticos, aunque son reciclables, no se les había dado valor para este fin hasta los años 1970.

El reciclaje en la Industria del Plástico comienza como una necesidad de recuperar el desperdicio de las distintas líneas de producción. Obviamente en la medida en que incrementan los precios de los plásticos, el reciclaje de los mismos se vuelve atractivo. Así, algunas empresas comenzaron a moler sus residuos para reincorporarlos posteriormente en la línea de producción.

Debido al crecimiento vertiginoso del plástico como material sustituto de otros materiales como el cartón, vidrio y papel, y en la búsqueda constante de disminuir costos, surge la idea de que hay materiales que se pueden recuperar y volver a usar, el primer producto plástico post consumo que se recicló en México fueron las cajas agrícolas rotas, algunas de refrescos y otros contenedores, esto como consecuencia del aumento en el precio de la materia prima virgen que ocasionó la necesidad de abaratar costos porque no podían

repercutir el precio de la materia en la alza del producto final.

La Industria del Plástico continuó su crecimiento dando paso a la aparición de los envases desechables o “no retornables”, aumentando el contenido de plásticos en la basura. Esto dio pie a encontrarle un valor a los desperdicios de plásticos, especialmente de envases de PET y otros productos como cubetas, cajas, palanganas, coladores y otros recipientes, por lo que inició la pepena o “separación manual” de envases en los tiraderos.

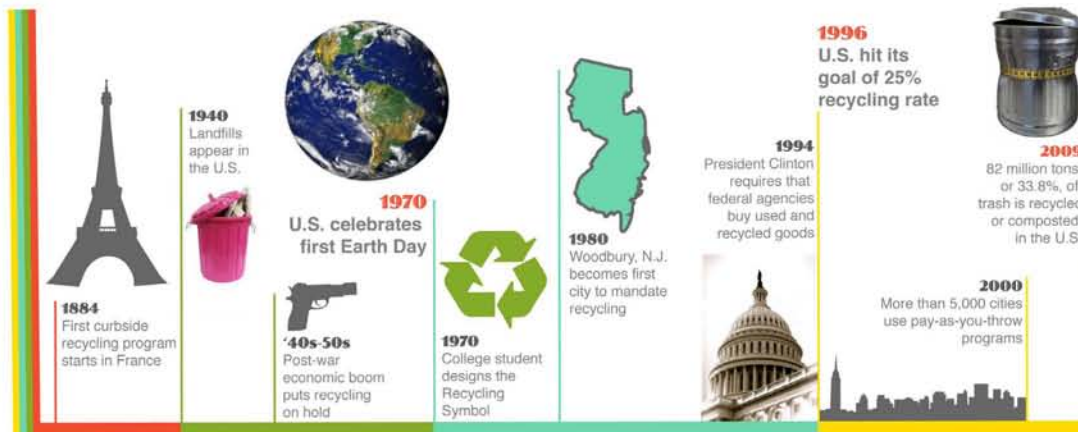


Fig 207. Historia del reciclaje.



Fig 208. La Pepena se ha convertido en un negocio peleado.

El negocio del reciclado abarca tres etapas, primero la recolección o acopio en la cual seleccionan los materiales, segundo la transformación primaria para hacer la nueva materia prima que puede ser productos prensados en presentación de pacas, hojuela tanto limpia como sucia o pellet y por último la transformación hacia un producto terminado¹.

1 MÁRQUEZ, LORENA, CONDE, MONICA. “Reciclaje: Los Plásticos Giran Hacia La Sustentabilidad”. Ambiente Plástico, no. 21. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007). p. 47-48. www.plastico.com.mx

4.7.2 TIPOS DE RECICLAJE

Existen varios acuerdos internacionales, como el Protocolo de Kioto que surgió en 1992, que promueve la protección del planeta del cambio climático a través de reducir a menos del 5% las emisiones de seis gases que provocan el calentamiento global (dióxido de carbono CO₂, metano CH₄, óxido nitroso N₂O y otros tres gases industriales fluorados), en un periodo del 2008 al 2012, a partir de las emisiones registradas en 1990. En la búsqueda de alternativas a la disposición final de los plásticos se ha planteado la política de las 3 R's: Reducir, Reusar y Reciclar. Esta teoría se desarrolló hace más de 30 años como una forma que motiva a producir menos basura y colaborar en reducir emisiones de dióxido de carbono y metano. Se llama así, porque parte de la primera letra de tres acciones que llevan al fin que persigue.



Fig 209. Política de las 3 r's.

Imagen obtenida de www.thegreenvotes.com con fines didácticos.

REDUCIR. A través de un cambio en los patrones de fabricación y de consumo de los satisfactores humanos, se disminuye la cantidad de los residuos generados. Este es el paso menos costoso y más fácil de lograr si los pueblos adoptan una conciencia ambiental, ya que produce grandes ahorros. Por otro lado, también implica Reducir en la fuente, es decir, motivar a los fabricantes de artículos no durables a minimizar la cantidad necesaria de los materiales que utilizan.

REUSAR. Volver a aprovechar un residuo para la misma aplicación original o para algún uso alternativo, es decir, reutilizar un producto varias veces para prolongar su tiempo de vida útil. El costo de reutilizar es mucho menor que los costos de confinamiento y disposición de la basura. Si bien, no se trata de regresar al pasado, reutilizar un producto que ya ha cumplido su objetivo original, pretende encontrar formas alternativas de uso, y en esto la creatividad no tiene límite.

RECICLAR. Se define como la transformación de un residuo en un nuevo satisfactor. A diferencia de reusar, en el reciclaje se requieren de materiales, energía y trabajo para la transformación del residuo. Al reciclar se utiliza menor cantidad de recursos no renovables como lo son los plásticos vírgenes o nuevos, lo que a su vez conduce a lograr beneficios económicos, sociales y ambientales.

El reciclaje representa una forma de tratamiento de los plásticos, enfocada en convertir un residuo en un producto útil. El tratamiento se clasifica, de acuerdo con los cambios que se generan en el residuo, en físico, químico, biológico y energético.

EL TRATAMIENTO FÍSICO

Este proceso incluye la reducción de tamaño (molido) y de volumen (prensado), el secado y la separación por medios mecánicos. Este tratamiento no cambia la naturaleza química del plástico en sí, haciendo más fácil la comercialización de un subproducto rescatado de los RSU. Las escamas resultantes de este proceso se pueden destinar en forma directa, sin necesidad de volver a hacer pellets, en la fabricación de productos por inyección o extrusión. Algunas ventajas de este sistema, son las siguientes:

- Las plantas de reciclado mecánico requieren inversiones moderadas.
- No provoca contaminación del medio ambiente, con el tratamiento de los efluentes líquidos del proceso se llega a controlar el proceso ambientalmente.
- Genera un producto de mayor valor agregado y es materia prima para la producción de productos de uso final, generando fuentes de trabajo en toda la cadena de reciclado.
- Existe mercado para el material molido y limpio de este material, como insumo o materia prima para producir otros artículos de uso final.

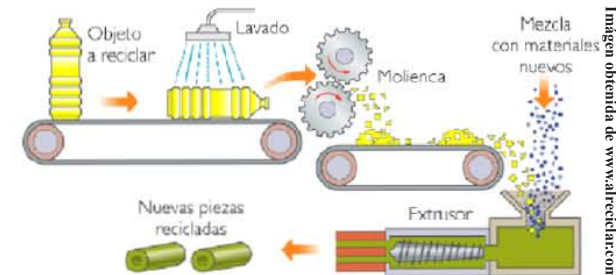


Fig 210. Reciclaje físico.

Imagen obtenida de www.alreciclar.com con fines didácticos.

EL TRATAMIENTO QUÍMICO

Este proceso incluye un cambio en la estructura molecular del plástico. El producto resultante es mucho más competitivo económicamente que el de un proceso mecánico. Existen varios procesos de reciclado químico, de los cuales algunos ejemplos son la pirólisis, la metanólisis, la glicólisis y la hidrólisis. Dentro de las ventajas de este tipo de tratamiento, encontramos:

- No necesita los complicados pasos de purificación.
- Utilización de aditivos de bajo costo y de bajo consumo de energía.
- El producto resultante es mucho más competitivo económicamente que el de un proceso mecánico.
- Permite utilizar al desecho plástico como fuente de materia prima, no sólo para producir material virgen, sino producir otros materiales con diferentes características.

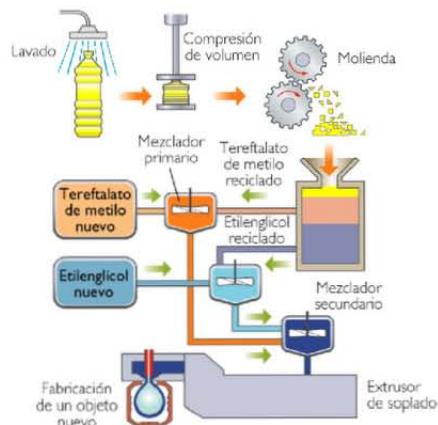


Fig 211. Reciclaje Químico.

EL TRATAMIENTO BIOLÓGICO

Este tratamiento cambia la estructura química del residuo a través de la acción de seres vivos. Este tratamiento se puede dividir, según el tipo de biorreacción principal, en aeróbico y anaeróbico, de acuerdo a la dependencia de oxígeno en el proceso.

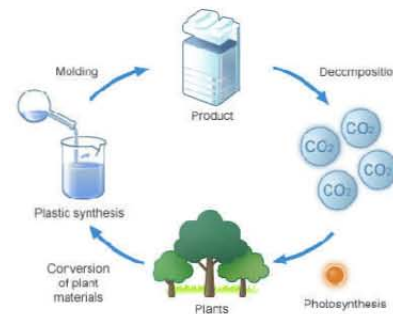


Fig 212. Tratamiento Biológico.

EL TRATAMIENTO ENERGÉTICO

Es una técnica de recuperación, y es la única adecuada para el caso de desechos sanitarios la cual consiste en eliminar la mayor parte del volumen de los residuos mediante su combustión, transformando los desechos en gases y cenizas con el fin de aprovechar la energía producida en el proceso. Para realizar esta técnica de recuperación es necesario tener un estricto control con la emisión de gases contaminantes².

Imagen obtenida de www.alreciclar.com con fines didácticos.

2 RODRÍGUEZ SALINAS, MARCOS ARTURO; CÓRDOVA Y VAZQUEZ, ANA. Manual De Compostaje Municipal. Tratamiento De Residuos Sólidos Urbanos. Ed. INE-SEMARNAT-GTZ. México, 2006. p. 14.

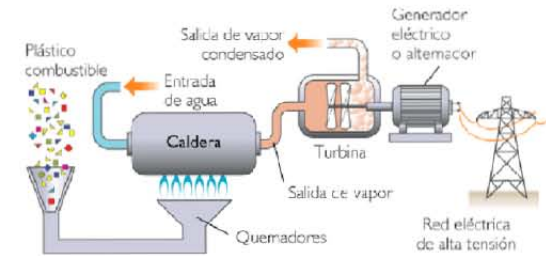


Fig 213. Tratamiento Energético.

4.7.3 LOS DESECHOS PLÁSTICOS EN MÉXICO

Para Márquez y Conde (2007), es importante saber que el origen de los desechos proviene de tres fuentes principalmente:

La industria de transformación y uso industrial es la fuente de desperdicios plásticos más atractiva, pero también la más escasa, debido a la calidad de limpieza y características de los mismos. Consisten en artículos que no cumplen con los requisitos de calidad, como las mermas ocasionadas por arranques y paros, productos defectuosos, coladas, barreduras y recortes.

Otra fuente atractiva se origina de los distintos insumos que una vez utilizados se desechan en centros comerciales. Por ejemplo películas plásticas, ganchos, cajas, etc. Desde hace varios años, países como Alemania cuentan con máquinas en las tiendas comerciales para prensar los envases de postconsumo para los distintos tipos de plásticos. Los consumidores se ven motivados a regresarlos limpios a cambio de algunas monedas. El reto que enfrenta México es que hay más de un millón de puntos de venta.

Imagen obtenida de www.sunpack.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.sunpack.com con fines didácticos.

La fuente más grande proviene de los desperdicios post consumo los cuales son los más contaminados y difíciles de separar y lavar, ya que surgen de la pepena de la basura, o bien, de centros de acopio especializados como sucede en el caso de los envases de PET. Cada plástico debe analizarse de manera independiente, puesto que para elegir la tecnología más adecuada de reciclaje es importante conocer las características de los desechos y del producto que se busca y, aunque los equipos suelen ser multipropósitos en el tema de reciclaje vale más la especialización que las misceláneas.

LAS CIFRAS DEL RECICLADO

De las 2,208,000 toneladas de residuos plásticos generados en el año 2006, de acuerdo a estudios realizados en el Instituto del Plástico Industrial, IMPI (2006), se reciclaron cerca de 270,000 toneladas de plástico, es decir, el 12.23%, como podemos observar en la tabla. Esto significa que en promedio se han acumulado en la basura los últimos 10 años una cantidad cercana a los 40 millones de toneladas de envases plásticos y alrededor de 20 de desechos que provienen de los usos “durables”, es decir, computadoras, enseres domésticos, juguetes, muebles y artículos para el hogar. De acuerdo a la Tabla, el Polietileno (PE) es el plástico de más consumo y es

TASA DE RECICLAJE DE PET y PE EN MÉXICO 2006			
Plásticos	Consumo en Toneladas	Reciclaje en Toneladas	Tasa de reciclado
PE (Polietileno)	1,602,000.00	100,000.00	6.24%
PET (Polietileno Tereftalato)	740,000.00	90,000.00	12.16%

Fig 214. Tasa de Reciclaje de PET y PE. Fuente: IMPI, 2006.

el que se recicla más; pero, si obtenemos la tasa de reciclaje en relación al consumo por tipo plástico, nos da como resultado que el Polietileno Tereftalato (PET) en la actualidad, es el plástico más reciclado del mercado con un 12.16% de las 740,000 toneladas consumidas anualmente³.

4.7.4 LA REENCARNACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

En general, reencarnación es la creencia según la cual el alma, después de la muerte, se separa del cuerpo y toma otro cuerpo para continuar otra vida mortal. Según esta creencia, las almas pasan por ciclos de muertes y nuevas encarnaciones. Un ser humano, por ejemplo, podría volver a vivir en la tierra naciendo como un nuevo personaje, o dependiendo de su comportamiento pueden reencarnar en un animal o una planta. Lo mismo puede pasar con los plásticos, aunque habría que inventar el término “reenplastificación” para emular el de reencarnación, su segunda vida depende del comportamiento en su vida original y del trato que se le haya dado durante su confinamiento, separación, molienda, lavado y plastificación. Desafortunadamente, en México no se ha profesionalizado el reciclamiento en su totalidad.

³ CONDE, MÓNICA; MÁRQUEZ, LORENA. “Reciclaje: Los Plásticos Giran hacia la Sustentabilidad.” *Ambiente Plástico* no. 21. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007). p. 52. www.plastico.com.mx

TASA DE RECICLAJE DE PLÁSTICOS EN MÉXICO 2006					
Plásticos	Consumo en Toneladas	Generación de RSU (100%) en Toneladas	Residuos plásticos (6.11%) en Toneladas	Reciclaje en Toneladas	Tasa de reciclado
PE (Polietileno)	1,602,000.00			100,000.00	4.53%
PP (Polipropileno)	860,000.00			50,000.00	2.26%
PET (Polietileno Tereftalato)	740,000.00			90,000.00	4.08%
PVC (Policloruro de Vinilo)	415,000.00			18,000.00	0.82%
PS (Poliestireno)	363,000.00			5,000.00	0.23%
Técnicos	350,000.00			7,000.00	0.32%
Termofijos	320,000.00			0	0.00%
TOTAL	4,650,000.00	36,135,000.00	2,208,000.00	270,000.00	12.23%

Fig 215. Tasa de reciclaje de plásticos en México. Fuente: IMPI, 2006.

Esto no quiere decir que no existen empresas que si lo hagan bien en México, sino más bien, que muchos han querido hacerlo sin la tecnología y conocimientos adecuados, y lo único que han ocasionado es derrumbar las oportunidades que ofrece el reciclamiento como negocio.

A continuación, se mencionan algunas de las aplicaciones que se hacen en nuestros días con los desperdicios, tanto de origen industrial como de postconsumo.

LAS TABLAS DEL POLIETILENO

El origen principal de los desechos de Polietileno que se reciclan proviene, tanto de la industria, como del postconsumo. Incluye piezas inyectadas como cajas, contenedores y cubetas, así como envases soplados postconsumo de leche y jugos, o de productos de limpieza, los cuales son de HDPE (Polietileno de Alta

Densidad). Actualmente el Polietileno reciclado es muy solicitado por los transformadores de artículos para el hogar (macetas, tinas, platos, cubetas) y de juguetes “baratos” (los típicos de las piñatas), los cuales no demandan amplias propiedades y el color no es importante. También se hacen algunas botellas para productos de limpieza de marcas locales y tablas prensadas como sustituto de madera. Por otro lado, los desperdicios de películas se convierten en bolsa negra para basura o en tubería negra para conducción de agua, sin embargo, reciclar películas de Polietileno resulta un negocio poco atractivo debido a que su tratamiento es muy caro debido al alto grado de contaminación que generalmente tienen los desperdicios.



Fig 216. Uso del Polietileno Reciclado.

LOS BRÍOS DEL POLIPROPILENO

La principal fuente de desperdicios de Polipropileno (PP) proviene de las películas utilizadas para envasar botanas, sopas, galletas y pan. Como ya se ha mencionado antes, los desperdicios de origen industrial, reciclados por varias firmas en México, como son recortes, segundas y películas fuera de especificaciones, son bien aceptados, e inclusive solicitados, también por sectores productores de bienes

Imagen obtenida de www.kossmetal.com con fines didácticos.

de consumo como artículos para el hogar, jarcería y juguetes. Por el contrario, respecto a las películas que provienen del postconsumo, son pocos los que se han aventurado a este negocio, ya que se requieren de muy buenos sistemas de lavado y filtrado para eliminar contaminación y tintas. Otros productos como las tapas de bebidas carbonatadas que generalmente son de Polipropileno, sin ser el principal objetivo, han resultado ser uno de los productos que venden las firmas que reciclan PET, ya que vienen presentes en las pacas que envían los acopiadores. Generalmente los interesados en adquirir este producto son productores de macetas, y otros artículos para el hogar.



Fig 217. Uso del Polipropileno Reciclado.

POLIESTIRENO EN LOS TACONES

Por su lado, el Poliestireno (PS) se ha convertido en un plástico de lujo debido a su alto precio, lo cual, ha motivado que los desperdicios del mismo sean más apreciados por los transformadores, quienes tratan de evitar al máximo la generación de mermas, reciclando sus desechos en sus mismas líneas de producción. Sin embargo, la cantidad que se llega a generar de desperdicios suelen utilizarse en la fabricación de tacones de zapatillas para dama, por ejemplo. Debido a que el PS es el más utilizado en los envases desechables

Imagen obtenida de www.macetasoriginales.com con fines didácticos.

en varios países del mundo se iniciaron campañas para impedir su uso en los recipientes empleados por las cadenas de comida rápida, debido a las dificultades que enfrentan en materia de separación y limpieza para su posterior reciclaje.



Fig 218. Uso del Poliestireno Reciclado.

PVC, COMPUESTOS DE LA BASURA

El PVC, es un plástico que tradicionalmente se formula con una serie de aditivos que le imparten las propiedades que requiere, en función de la aplicación final a la que se destine. Esta nobleza de polímero, permite hacer que los compuestos rígidos se vuelvan flexibles, y eventualmente los compuestos flexibles se hagan semirígidos. Por ello, es posible reciclar desperdicios de cables, manguera, garrafones o tubería sin mayor complicación, los cuales se muelen y posteriormente se reformulan en compuestos. Uno de los sectores que utiliza una buena cantidad de desperdicios es el de calzado, para la fabricación de suelas negras, pero también se pueden hacer losetas asfálticas, zoclo, perfiles, regatones y aplicaciones que no demanden excelencia en colores y acabados.

Imagen obtenida de www.shopaholic.ro con fines didácticos.

PET, EL MÁS RECICLADO

Hoy por hoy, el Polietilén Tereftalato (PET) es el plástico que más se recicla en el mundo debido a la revolución que causó su incursión en el mercado como envase de bebidas carbonatadas, aceites, aguas, licores y alimentos. Desde los inicios de esta revolución, varias firmas visualizaron el gran potencial que este plástico tenía para ser reciclado, ya que con los desperdicios



Fig 219. Uso del PVC Reciclado.

de envases se pueden producir fibra textil y otros artículos como lámina, fleje o incluso botellas para uso no alimenticio. El éxito logrado hasta ahora del reciclaje de PET se basa en la existencia de programas de acopio que apoyan las firmas usuarias de envases, como las fresqueras más importantes. En México, el PET representa casi el 3% de la basura, y se estima que se tiran 2.5 billones de botellas de plástico de las cuales sobresale el PET.

Imagen obtenida de www.reflexmouldings.com con fines didácticos.

LA OTRA CARA DE LOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

Algunos materiales que reciclables por las empresas son Policarbonato, Poliamida y ABS. Cuando se logran sistematizar los procesos para aprovechar al máximo los desperdicios de plásticos de ingeniería, estos se convierten en una excelente oportunidad de negocio,



Fig 220. Uso del PET Reciclado.

ya que son los plásticos más costosos y por lo tanto, los que mejores márgenes de ganancia permiten. Sin embargo, deben ser tratados cuidadosamente para que quien los utilice no tenga problemas en su transformación.

4.7.5 OPORTUNIDADES EN EL RECICLAJE

Para lograr que un negocio de reciclado en plásticos sea rentable, existen cinco aspectos que deben cumplirse.

Imagen obtenida de www.mpl.it.com con fines didácticos.



Fig 221. Uso del ABS Reciclado.

Imagen obtenida de www.orgone-design.com con fines didácticos.

TECNOLOGÍA

Existen por lo menos 150 firmas en todo el mundo especializadas en desarrollar sistemas para reciclaje, incluyendo prensas, molinos, separadores, lavadoras, extrusores y pelletizadores, los cuales deben elegirse en función de las características de los desechos que se reciclan. Aquí también debemos considerar el conocimiento, tanto desde el punto de vista de la técnica de los procesos que se emplean, como de las características físicas, químicas y de procesabilidad de los plásticos y aditivos. En otras palabras, se requieren verdaderos expertos en polímeros a cargo de las áreas clave de las empresas recicladoras de plásticos.



Fig 222. Maquina recicladora de plástico.

PRODUCTIVIDAD

Significa que se deben transformar, al menos, 300 toneladas mensuales, lo cual equivale a contar con sistemas de reciclaje que trabajen a una velocidad de 500 kilos/hora.



Fig 223. Tener la capacidad de reciclaje necesaria para ser productivos.

ABASTO

El cual, además de cumplir con el volumen requerido, debe ser confiable, homogéneo y constante, situación que, hoy por hoy, resulta muy difícil de controlar debido a que no existen sistemas de confinamiento suficientes y la procedencia de los desechos es muy diversa. Por esta razón, es importante tomar acciones concretas promoviendo la creación de Centros de acopio y Recolección, los cuales son la garantía del abasto.

Imagen obtenida de www.logismarket.cl con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.



Fig 224. Promover el acopio es asegurar el abastecimiento.

CONOCER EL MERCADO

Este, presenta nuevas expectativas y es más exigente. Para asegurar el éxito de las empresas recicladoras, es de vital importancia que conozcan claramente su competencia, los canales de distribución, lugares de venta del producto, inventarios y, sobre todo, los precios que predominen en el momento de la venta. Ocurre con frecuencia que los empresarios del reciclado no tengan claro qué es lo que venden. Evidentemente, los vendedores deben conocer los productos que ofrecen a los consumidores. Sólo unas pocas empresas recicladoras venden productos con certificado de propiedades y calidad.



Fig 225. Hay que conocer el mercado para asegurar el éxito.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

ECONOMÍA

En este caso se refiere más específicamente a la necesidad de flujo de efectivo constante, ya que las operaciones de compra venta de desperdicios, por razones obvias, se manejan de contado.



Fig 226. Tener fluidez de capital para comprar y vender desperdicios.

4.7.6 CULTURA Y LEYES PARA EL RECICLADO

Es indudable que uno de los retos para que el reciclaje logre éxito, es el cambio de cultura en todos los niveles. En México, existen varias instancias como el Instituto Nacional de Recicladores donde a través de diversos eventos y seminarios informa al público en general sobre temas de reciclaje. En el INARE promueven y dan alternativas para reducir el uso de sustancias tóxicas y generan la conciencia del impacto social, económico y ambiental que tiene la fabricación de distintos artículos.

En el reciclaje de plásticos, la sociedad puede facilitar la recuperación con acciones simples como es el separar o no mezclar los distintos desechos que generamos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

A través de distintas campañas, el gobierno ha hecho intentos de motivar la separación, los cuales por diversas razones no han funcionado correctamente.

Otro gran esfuerzo digno de exaltar es el que hace CIPRES (Comisión de la Industria del Plástico, Responsabilidad y Desarrollo Sustentable) que pertenece a la ANIQ (Asociación Nacional de la Industria Química). Esta comisión representa a varias empresas productoras de plásticos y desde hace años realiza actividades para que la industria se desarrolle sustentablemente. Tal es el caso de haber motivado la publicación del mensaje de las Cuatro Erres en los libros de texto gratuito de nivel básico. Otro programa, es la creación de una pandilla con siete personajes que se encuentran de manera permanente en el Papalote Museo del Niño. Cada uno de ellos representa a uno los plásticos commodities y además, uno de ellos es

un científico y se dedican a dar mensajes sobre el tipo de plástico que son, los usos que tienen y la mejor forma de su disposición final. También ofrecen un “kit educativo” dirigido a estudiantes de preparatorias y universidades que sirve para que conozcan lo que significan los distintos símbolos y acrónimos generados para clasificar a los plásticos.

En cuestión de normatividad ambiental CIPRES también ha participado en su desarrollo para su mejor funcionamiento. Por ejemplo, hay leyes que prevén el manejo de residuos, como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y otras que regulan la gestión integral de los residuos sólidos, así como el servicio público de limpia como la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. Las regulaciones indican que cualquier propuesta debe ser factible económicamente, sustentable ambientalmente y debe

tener aceptación social. Además, no se debe gastar más de lo que se va a recuperar⁴.



Fig 228. Cipres ha sido muy participativo al fomentar la gestión de los RSU.



Fig 227. Campaña para fomentar la separación de residuos plásticos.

4 MÁRQUEZ, LORENA, CONDE, MONICA. “Reciclaje: Los Plásticos Giran Hacia La Sustentabilidad.” *Ambiente Plástico* no. 21. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007). p. 42-60. www.plastico.com.mx

4.8 LOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Debido a la fuerte tradición de los materiales convencionales, los plásticos han requerido de mucho tiempo para incursionar en el sector de la construcción. En los años de 1950, momento en que el consumo de plásticos se disparó, teniendo como consecuencia la baja en los precios de estos. Combinándose su buena relación costo-beneficio, con los factores de versatilidad de aplicación, facilidad de fabricación, reciclable, durabilidad, ligereza, fuerza y resistencia, los plásticos se hicieron propicios para una gran gama de aplicaciones, abriéndose afortunadamente, un camino seguro y promisorio en el mercado de la construcción.

En el conjunto de la historia del ser humano los polímeros de origen natural cómo la lana o la madera, fueron algunos de los primeros materiales útiles, pero los plásticos sintéticos han sido los últimos en ser incorporados a la vida cotidiana y en particular a los sistemas constructivos. Al mismo tiempo que el homo sapiens adquirió su naturaleza humana aprendió a utilizar distintos materiales de forma cada vez más sofisticada. Los metales y el vidrio fueron empleados por las más antiguas civilizaciones mientras que el cemento y el hormigón apenas tienen unos siglos de vida. Los plásticos iniciaron su andadura comercial a principios del siglo XX y poco a poco han sustituido o complementado a los materiales clásicos, introduciéndose en todos los sectores industriales. También en el mundo de la construcción.

4.8.1 EL MERCADO EN LA CONSTRUCCIÓN

Desde los años 90, el sector de la construcción ha sido uno de los motores de la economía, y como tal, es el mercado que más ha crecido para los plásticos, un 18,4% en 1999, por ejemplo. Sólo el mercado de los envases y embalajes, rebasa al sector de la construcción en consumo de plásticos. Pero esa es la

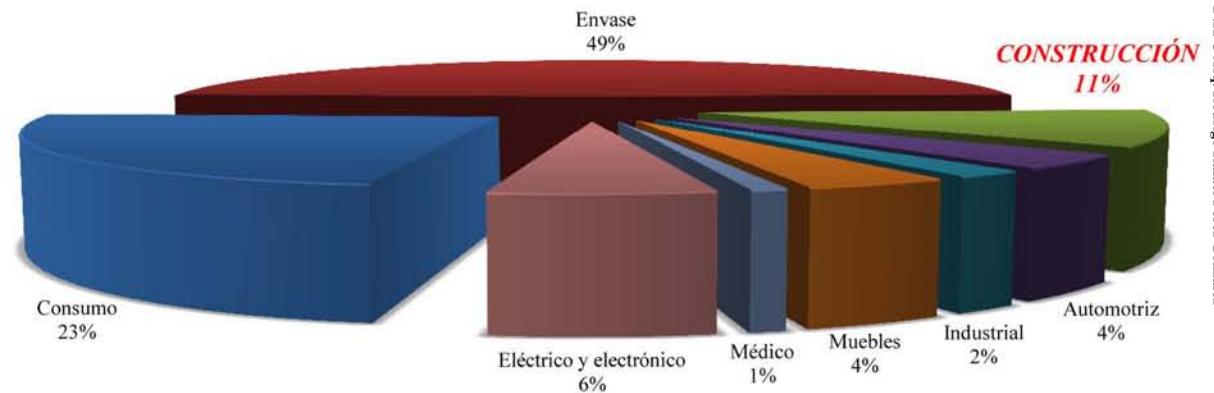


Fig 229. Mercado de consumo de los plásticos. Fuente: Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 2007.

situación actual. La participación de los plásticos en el sector de la construcción, en el 2008 alcanzó el 11%, con 533,500 Toneladas como podemos ver en la Figura 229 y como hemos dicho anteriormente, estos se están utilizando como opciones alternas más económicas que los materiales tradicionales, comenzando a ganar terreno en el mercado¹.

Vigil, Pastoriza y Fernández (2002), escriben acerca del mercado de la construcción:

En todos los elementos constructivos de una vivienda los plásticos son aplicables en mayor o menor medida, también se encuentran en obras de ingeniería como puentes, túneles, aeropuertos, puertos, etc. Los plásticos no constituyen elementos estructurales portantes de los edificios pero si se encuentran en

multitud de componentes de las construcciones con funciones de configuración del espacio, de protección del exterior y de servicio:

- Componentes semiestructurales como las bovedillas de espuma o los aditivos y adhesivos del hormigón.
- Sistemas de anclado y fijación como los taquetes.
- Sistemas de inyección en grietas y de reparación de defectos del hormigón.
- Cerramientos como ventanas, persianas, paneles de fachadas.
- Aislantes térmicos y acústicos.
- Impermeabilizantes de tejados y terrazas y repelentes del agua de las fachadas de silicona.
- Sellantes y juntas de dilatación.
- Instalaciones de fontanería y electricidad.
- Pinturas y recubrimientos.
- Pavimentos domésticos y suelos industriales.
- Mobiliario urbano y doméstico.

¹ CONDE, MÓNICA. "Industria del Plástico en México y el Mundo." IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial, Centro Empresarial del Plástico. (2007) www.plastico.com.mx

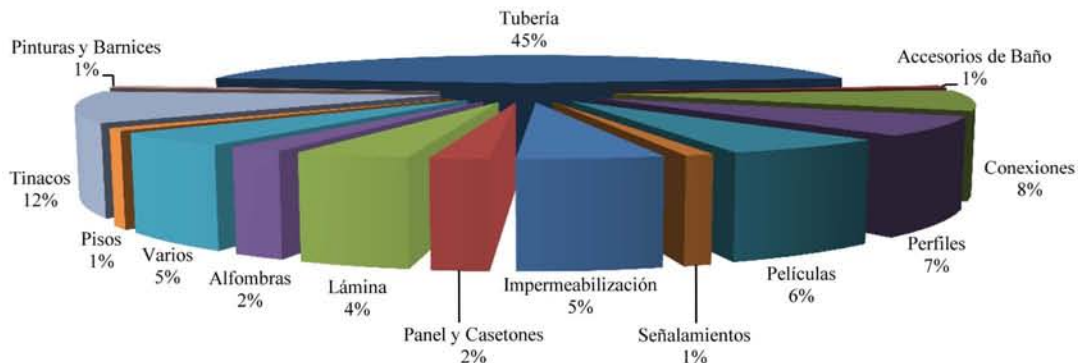


Fig 230. Mercado de los plásticos en la construcción. Fuente: Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 2007.

4.8.2 VENTAJAS Y LIMITACIONES DE LOS PLÁSTICOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Los plásticos se emplean en construcción en forma de espumas, películas, bandas, baldosas, perfiles, tubos y piezas moldeadas con las formas más variadas, con la elasticidad de un caucho, con la rigidez de un plástico reforzado o la ligereza de una espuma. Dada una necesidad de un material con una serie de requerimientos, podemos decir sin mucho riesgo que existe un plástico con las propiedades adecuadas para satisfacerlos. Otras ventajas de los plásticos en este sector son su resistencia a factores ambientales, su facilidad de procesado en formas complejas y su facilidad de adaptación por cortado a irregularidades de la obra, su transparencia y su facilidad de pigmentación, su capacidad aislante térmica y eléctrica, su baja densidad, su resistencia y perdurabilidad sin necesidad de mantenimiento.

Lógicamente los plásticos también tienen limitaciones en su aplicación a la construcción de edificios. Tienen un módulo de elasticidad bajo, lo que quiere decir que al aplicar sobre ellos una fuerza, se deforman más fácilmente que otros materiales como los metales o los minerales. Su comportamiento depende de la temperatura, cada plástico tiene una temperatura máxima de uso marcada por su temperatura de transición dúctil-frágil o su temperatura de reblandecimiento. Su coeficiente de dilatación, a veces muy grande, puede ser un impedimento para la estabilidad de forma requerida por algunos elementos constructivos. Algunos plásticos son materiales fácilmente inflamables y o bien se emplean con aditivos ignífugos o recubiertos de forma que no queden al descubierto. Y el precio también puede ser una limitación si se compara con el precio de las tierras y piedras.

Para decidir si un elemento constructivo puede ser elaborado con un plástico, además de las consideraciones económicas y arquitectónicas, hay que

tener en cuenta las propiedades de los distintos plásticos opcionales y su envejecimiento. Ése es el objetivo de este curso, presentar las propiedades de los plásticos de uso habitual como materiales de construcción para dar mayores elementos de juicio tanto al técnico como al consumidor.

4.8.3 APLICACIONES

En este capítulo haremos una revisión de los distintos empleos de los plásticos en el sector de la construcción. En la figura 230, podemos apreciar la utilización de estos en el mercado².

TUBERÍAS

Las tuberías de plástico y sus piezas accesorias se encuentran en el mercado desde la primera mitad del siglo XX, son una de las aplicaciones más antiguas de los plásticos en la construcción. Junto con los revestimientos para suelos y las espumas para aislamiento térmico, son también las aplicaciones más conocidas y aceptadas de estos materiales.



Fig 231. Tubería de PVC.

² CONDE, MÓNICA. "Industria del Plástico en México y el Mundo." IMPI, Instituto Mexicano del Plástico Industrial, Centro Empresarial del Plástico, (2007) www.plastico.com.mx

TIPO DE PLÁSTICOS EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN			
Mercado	Consumo en Toneladas	Participación	Aplicaciones
PVC (Policloruro de Vinilo)	208,065.00	39%	Perfiles para marcos de ventanas y puertas, tuberías para instalaciones sanitarias e hidráulicas, persianas, losetas, zoclos y tapices.
PE (Poliétileno)	154,715.00	29%	Tubo Conduit, Conducciones para gas, telefonía, tuberías para instalaciones sanitarias e hidráulicas, cables, bajo alfombras, películas aislantes y geomembranas.
PP (Polipropileno)	26,675.00	5%	Tuberías para instalaciones hidráulicas de alta presión y temperatura, tubería en general, alfombras y pasto sintético.
EPS (Poliestireno Expansible)	21,340.00	4%	Materiales aislantes para techos, paredes y pisos; producción de hormigón ligero y ladrillos celulares; prefabricados, sistemas de calefacción, cámaras frigoríficas y encofrados.
PUR (Poliuretano)	21,340.00	4%	Materiales aislantes para techos, paredes y pisos; sistemas de calefacción, cámaras frigoríficas, encofrados, impermeabilización, recubrimientos para pisos y adhesivos.
UP (Poliéster Insaturado)	16,005.00	3%	Compuestos para pisos, mosaicos, selladores, recubrimientos, pinturas y barnices.
PMMA (Polimetil Metacrilato)	10,670.00	2%	Láminas acanaladas para techos, estructuras para fachadas, domos, ventanería, anuncios luminosos, señalización, muebles para baños, componentes de alumbrado.
Otros	74,690.00	14%	Impermeabilización, señalamientos, ventanería, anuncios, alfombras, muebles para baños y laminados para cocinas
Total	533,500.00	100%	

Fig 232. Mercado de consumo plástico en la construcción. Fuente: Instituto Mexicano del Plástico Industrial, 2005.

El mercado principal de los plásticos es el de las tuberías y sus conexiones. Estas, se utilizan para cualquier tipo de instalación ya sea para la instalación eléctrica, sanitaria, de gas y para la hidráulica; se usan en cualquier tipo de inmueble y se recurre a una gran variedad de plásticos para su fabricación, recurriendo predominantemente al uso del PVC³.

Las mayores ventajas de los plásticos en la fabricación de tuberías son las siguientes:

- Son ligeros, lo que facilita el transporte y el montaje, sobre todo en grandes longitudes.
- Sus paredes interiores son lisas lo que desfavorece las deposiciones del material conducido y permite flujos elevados.
- Su baja conductividad térmica retarda la congelación del agua de su interior y hace que no revienten en caso de helada.
- Son estables frente a la corrosión independientemente del fluido en contacto con su pared interna y del suelo que rodee la pared externa.

Los principales plásticos empleados en la fabricación de



Fig 233. Tubería de PP.

tuberías son el PVC, las Poliolefinas (Poliétileno (PE) y Polipropileno (PP), siempre en función del uso al que se destinan.), las resinas de poliéster insaturado reforzadas con fibra de vidrio y los cauchos ABS de Acrilonitrilo, Butadieno y Estireno. Los poliuretanos se emplean como recubrimientos anticorrosivos de las tuberías de acero y en forma de tubos de espuma como aislantes térmicos de otras tuberías. Los recubrimientos aislantes de cables eléctricos están hechos con polietileno (PE).



Fig 234. Tubería de PE.

PERFILES Y CONEXIONES

En los últimos años, el Policloruro de Vinilo (PVC), también ha experimentado un buen progreso en la fabricación de perfiles para ventanas y otras tantas aplicaciones similares. En fontanería la ventaja de los plásticos es su resistencia a productos químicos, su facilidad de instalación y la posibilidad de adoptar las diferentes formas necesarias. Por ejemplo, las conexiones de las instalaciones sanitarias, se suelen hacer de policloruro de vinilo (PVC).

³ CONDE, MÓNICA. "Plásticos en la Construcción". Ambiente Plástico, no. 12. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2005), p. 34-44. www.plastico.com.mx



Fig 235. Perfiles de PVC.

ROYAL GROUP TECHNOLOGIES^{MR}. Royal Group Technologies^{MR} ha creado un sistema constructivo el cual es suministrado por la empresa a manera de rompecabezas según las necesidades del cliente. Este sistema, está compuesto de piezas especiales prefabricadas a base de PVC reforzado, las cuales se ensamblan entre sí a manera de cimbra para posteriormente rellenarlas de concreto, lo cual le confiere óptimas características en términos de fortaleza, apariencia, durabilidad, aislamiento térmico y acústico, resistencia al intemperismo y nulo mantenimiento.

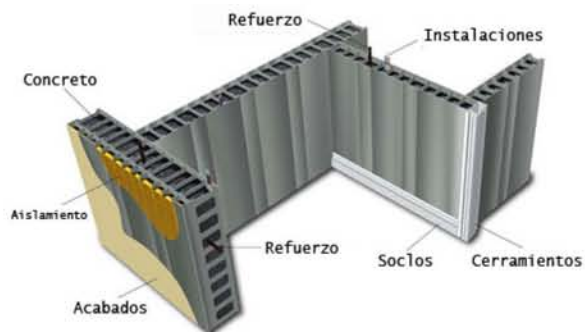


Fig 236. Sistema constructivo prefabricado de PVC.

Imagen obtenida de www.aluplast.ru con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ingenharciavidia.com con fines didácticos.

TINACOS

Se le conoce también como cisterna si esta bajo tierra. Es de hecho, el almacén del agua potable de las casas. En el mercado de los tinacos de Polietileno (PE) el auge del plástico no se ha quedado atrás, los cuales han venido desde hace 20 años sustituyendo a una velocidad sin precedentes a los ya conocidos tinacos de asbesto debido a su alto grado de toxicidad en la salud.



Fig 237. Tinacos de PE.

PELÍCULAS

Las películas utilizadas en la construcción, incluyen geomembranas, bajoalfombras, películas protectoras y cantidad de recubrimientos, que están fabricados a base de Polietileno (PE) generalmente.



Fig 238. Geomembranas de PE.

Imagen obtenida de www.bhancanet.com con fines didácticos. Imagen obtenida de www.membranasvolcanes.com con fines didácticos.

PINTURAS Y RECUBRIMIENTOS

Los plásticos rígidos y las pinturas, que no son sino una forma de presentación distinta de los plásticos, se aplican profusamente en la protección exterior e interior de edificios. Estos recubrimientos pueden ser de dos tipos:

- Los de tipo barrera que actúan como impermeabilizantes o protectores de la corrosión.
- Los que proporcionan protección superficial o simplemente decoran pero permitiendo la difusión del vapor de agua a su través. Se dice entonces que dejan respirar al edificio.

En la impermeabilización, se usan principalmente polímeros como el Poliuretano (PUR) y otros Termofijos.

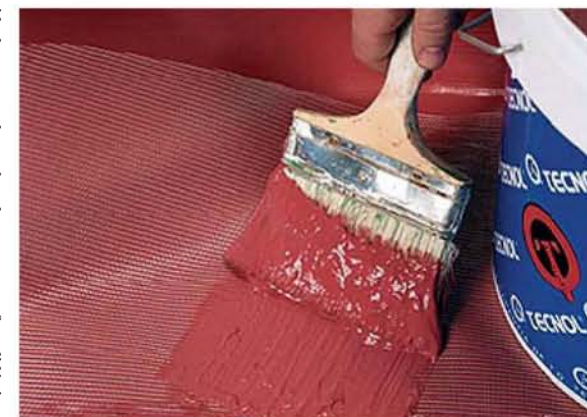


Fig 239. Impermeabilizante de PUR.

Imagen obtenida de www.dearquitectura.blogspot.com con fines didácticos.

Las pinturas aplicadas en interiores cumplen sobre todo una función decorativa. Pueden estar formuladas con agua como disolvente o con disolventes orgánicos. En consecuencia las pinturas en base agua son las que experimentan hoy en día un mayor desarrollo. Las pinturas al temple y a la cola fueron las primeras pinturas en base agua y aun hoy en día se siguen empleando porque son las más baratas, pero se despegan, se rayan y no resisten la humedad. Las pinturas plásticas están formadas no por disoluciones de polímero, sino por emulsiones acuosas de polímeros vinílicos (poliacetato de vinilo) o de polímeros acrílicos que son más caros pero también más resistentes a la luz solar. Las pinturas plásticas son insolubles e impermeables al agua pero son porosas y dejan difundirse al vapor de agua. Esto hace que no sean adecuadas (limo protectores de la corrosión, para esta aplicación se emplean pinturas con efecto barrera, generalmente en base disolvente orgánico.



Fig 240. Pinturas de Polímeros Vinílicos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

LÁMINAS

El mercado de las láminas, está asentado en la utilización de acrílicos de Polimetil Metacrilato (PMMA) y Poliestireno (PS), los cuales se usan en la fabricación de domos, paneles divisorios, tinas y muebles para baño. El vidrio ha sido sustituido a menudo por Polimetil Metacrilato (PMMA) o por Policarbonato (PC) porque a espesores grandes estos plásticos son más transparentes y se rompen sin astillarse, además de que son más ligeros. Su mayor problema es la falta de resistencia a la abrasión, mayor en el caso del PMMA que para el PC.

Las mamparas para bañeras también están hechas con PMMA recubierto de silicona para que resista mejor al agua. Los plásticos son a menudo transparentes aunque pueden amarillear con exposiciones prolongadas a la intemperie. El Poliestireno (PS), el PVC, el Polimetil Metacrilato (PMMA), las resinas de poliéster



Fig 241. Mamparas de PMMA.

Imagen obtenida de www.dynamohel.com con fines didácticos.

insaturado y el Policarbonato (PC) son particularmente transparentes o translúcidos y estalles. Esto los hace muy útiles como sustitutos del vidrio en distintos usos: lucernarios, domos, grandes ventanales, etc.

El Poliestireno (PS) no se emplea en Construcción porque se fisura con facilidad. El policarbonato (PC) es muy caro aunque tiene unas propiedades óptimas, es tenaz, prácticamente irrompible, muy resistente a la temperatura y difícilmente inflamable. Las resinas de poliéster insaturado se emplean para grandes piezas translúcidas.

El PMMA tiene grandes ventajas frente al vidrio inorgánico especialmente en zonas de riesgo como los colegios, ya que rompe sin astillarse. Además es ligero, puede ser moldeado con las formas más alabeadas y complejas y puede ser coloreado con facilidad. Su mayor inconveniente es que se raya con facilidad.

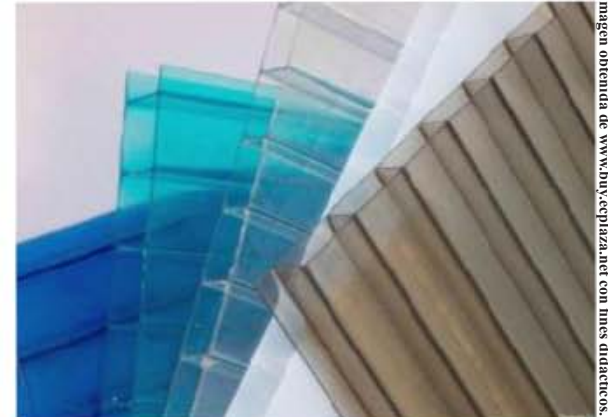


Fig 242. Láminas de PC.

Imagen obtenida de www.buy.ceplaza.net con fines didácticos.

PISOS Y ALFOMBRAS

Uno de los revestimientos plásticos de suelos más antiguos (siglo XIX) es el linóleo. Se obtiene del aceite de linaza, un éster insaturado con varios dobles enlaces que reaccionan con el oxígeno del aire firmando puentes de peróxido entre moléculas. Esta reacción hace que el aceite se transforme en un sólido de tipo plástico. Actualmente, en suelos de tipo doméstico como cocinas y baños, se emplean los suelos de PVC aplicados en forma de baldosas o de bandas con distintos tipos de uniones.



Fig 244. Alfombra de PP.

Imagen obtenida de www.alfombrera.com.es con fines didácticos.

Los revestimientos plásticos textiles (alfombras) se fabrican con estructura de multicapa. La parte textil puede estar hecha con fibra de nylon, acrílica, de polipropileno o de poliéster. Llevan además capas de adhesivo para hacerlas blanditas, de espuma de poliuretano amortiguadora del ruido de pisadas y las más modernas, recubrimiento de teflón que impide la deposición de polvo y manchas.

Las alfombras para exteriores se hacen con polipropileno (PP), porque no se pudre cuando se moja, donde las más conocidas son las usadas como pasto sintético.

Los suelos industriales sin uniones, que pueden entrar en contacto con productos químicos se fabrican con resinas epoxi o de poliuretano por su gran resistencia mecánica y química. En general los suelos plásticos son más resbaladizos que los de cemento, tierra o madera pero en algunos lugares como los centros de transporte, se emplean suelos plásticos antideslizantes e impermeables de caucho natural o elastómeros sintéticos.



Fig 245. Pasto sintético de PP.

Imagen obtenida de www.ponedesfera.cat con fines didácticos.

PANELES Y CASETONES

Otro uso importante del Poliestireno (PS), es el destinado en la construcción de bovedillas, casetones, molduras, paneles para juntas constructivas y muros estructurales o divisorios, proporcionando en las edificaciones beneficios económicos y técnicos.



Fig 246. Paneles de EPS.

Los paneles son estructuras tridimensionales conformadas por dos mallas de acero de alta resistencia interconectadas diagonalmente mediante alambre de acero con un núcleo de Espuma de Poliestireno (EPS), a las que ya instaladas en obra se les aplica concreto. La tendencia de la construcción moderna dirigida hacia el menor costo, cambiando los antiguos patrones de elementos rígidos y pesados por elementos sencillos de mejor trabajo estructural dio lugar al empleo de materiales que el avance tecnológico colocó en disponibilidad, como es el caso de los derivados petroquímicos, la Espuma de Poliestireno (EPS).

Imagen obtenida de www.construipor.com con fines didácticos.



Fig 247. Casetones de EPS.

Surge de la necesidad primordial de contar con un material en los elementos de concreto reforzado que aligeraran la estructura optimizando el uso del acero de refuerzo y el mismo concreto en las losas de azoteas y entrepisos.

ADHESIVOS, JUNTAS Y SELLANTES

Los plásticos se emplean como auxiliares de la construcción en encofrados y como aditivos, cales y morteros. Los adhesivos estructurales por excelencia son las Resinas Epoxi. Se emplean para uniones rígidas que no deban soportar vibraciones o dilataciones. Para uniones de dos materiales con fuertes dilataciones o con coeficientes de dilatación distintos o que vayan a estar sometidas a cargas periódicas, es mejor utilizar adhesivos flexibles como los de poliuretano.



Fig 248. Resinas.

Imagen obtenida de www.homedepot.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.simbi.com.ve con fines didácticos.

Uno de los adhesivos de mayor consumo son las resinas de Fenol-Formaldehído que se emplean como aglomerantes del serrín en la fabricación de maderas aglomeradas y contrachapadas. Para pegar dos piezas de madera se emplea cola blanca que es una emulsión acuosa de Poliacetato de Vinilo o Resinas Fenólicas para uniones más resistentes.



Fig 249. Adhesivos.

También se emplean mucho en construcción, sobre todo para el pegado de suelos y planchas, los adhesivos de contacto. Son disoluciones de un Caucho, el Policloropreno. Se aplican en las dos superficies que deben ser unidas y se deja evaporar la mayor parte del disolvente antes de proceder a la unión.

Para unir tuberías de PVC se emplean adhesivos con un disolvente del PVC, el Tetrahidrofurano o THF. Éste disuelve superficialmente el material de la tubería y favorece la interpenetración del PVC de la pared con el PVC del propio adhesivo, dando así uniones estancas con continuidad del material.

Imagen obtenida de www.acespecialistas.com con fines didácticos.

En el sellado de algunos elementos pequeños como las bañeras se emplea Silicona que es hidrófoba. Para sellado de una cubierta se pueden emplear de Polisobutileno, un Caucho que se instala entre capas asfálticas. Las bandas de PVC se emplean para grandes superficies como el interior de un tunel. En las juntas de edificios se emplean adhesivos flexibles como el Thiokol (Polisulfuro) empleado en las torres del World Trade Center de Nueva York.



Fig 250. Sellantes.

AISLANTES TÉRMICOS

Las espumas de distintos materiales plásticos son las encargadas de actuar como aislantes térmicos y acústicos de las construcciones. Se fabrican añadiendo a la formulación agentes espumantes o hinchantes, finamente distribuidos. En determinadas condiciones de humedad o temperatura estos agentes espumantes producen gases que generan poros uniformemente distribuidos y expanden enormemente el material. Resultan así plásticos celulares con densidades que pueden variar desde 900 hasta 15 kg/m³. Las espumas ligeras, de menor densidad, son materiales aislantes pero no pueden soportar cargas.

Imagen obtenida de www.perman.worpress.com con fines didácticos.

Los aislantes térmicos más empleados son las Espumas de Poliuretano que se obtienen en forma de planchas rígidas o por proyección contra la pared, de sus dos componentes.

Las Espumas de Poliestireno se fabrican por moldeo y por extrusión en forma de planchas que se adhieren a la superficie que debe ser aislada. Las espumas de PVC y de Polietileno tienen un empleo mucho más restringido.

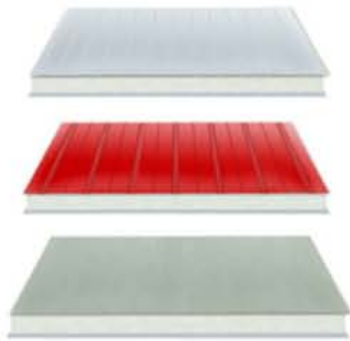


Fig 251. Aislante Térmico de EPS.

AISLANTES ACÚSTICOS

Las espumas se emplean también en construcción para disminuir la transmisión de sonidos de un local hacia los contiguos (aislantes acústicos) y para modificar la dentro de un local cerrado (absorbentes de sonido). La transmisión de sonido se debe a la resonancia de materiales rígidos a la flexión. Los materiales blandos y flexionables como las espumas convierten la energía acústica en calor.

Imagen obtenida de www.villalaminados.com con fines didácticos.

Pero no todas las espumas son buenos aislantes acústicos. Las espumas rígidas como la espuma extraída de poliestireno (PS) y las planchas rígidas de espuma cubiertas con revoque o pegadas en toda su superficie a un material rígido, pared o techo, no se deforman en respuesta a las ondas sonoras y transmiten el sonido en vez de absorberlo.



Fig 252. Aislante Acústico de PUR.

Un apartado especial dentro del aislamiento acústico es la protección frente al ruido de pisadas. El pavimento flotante aplicado sobre una capa de espuma blanda de partículas de poliestireno proporciona una buena reducción del ruido de pisadas. Para apantallar los ruidos del tráfico se construyen muros de protección con unos cajones de poliestireno de 1 m de anchura rellenos con un material amortiguante.

En cuanto a la absorción de sonido se consigue con espumas de células abiertas como las de resina de tere o las espumas blandas de poliuretano y las planchas de espuma de poliestireno con agujeros ciegos. En estos sistemas el sonido se amortigua por rozamiento en los poros de la corriente de aire. La absorción de sonido es mayor para los de alta frecuencia y aumenta con el espesor de la espuma.

Imagen obtenida de www.montyramx.com con fines didácticos.



Fig 253. Aislante Acústico de EPS.

Imagen obtenida de www.fresaudio.com con fines didácticos.

MUEBLES, UTENSILIOS Y OTROS PLÁSTICOS DE MENOR USO

Las mesas y sillas de plástico de color blanco o verde para jardín que pueblan las terrazas de muchos bares, se fabrican con polipropileno o con cauchos ABS (Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno). Los colchones de Espuma de Poliuretano son bien conocidos.

La mayoría de los muebles de cocina se fabrican con resinas de melamina-formaldehído (Formica) pero para encimeras resistentes al calor se utiliza PMMA mezclado con óxidos de aluminio (Corlan o Gibraltar).

Los depósitos para el agua, las piscinas y en algunos casos las bañeras y elementos de cuarto de baño se fabrican con poliésteres insaturados reforzados con fibra de vidrio. Los paneles construidos con un núcleo

de espuma, generalmente de poliuretano) a la que se adhieren dos paredes rígidas, se emplean en cámaras frigoríficas, en adornos de fachadas o en las puertas de superficie metálica. Las cornisas y decoraciones de fachada con formas complicadas y otros elementos decorativos de interior como las falsas vigas labradas se hacen con espumas de poliestireno. Con resinas de poliéster insaturado con las cargas adecuadas se consiguen piedras ornamentales simuladas como el mármol, el granito o el onix.

Es una realidad que el consumo y penetración de los plásticos en la industria de la construcción, va a continuar en aumento en los próximos años, mientras se continúen generando nuevos desarrollos tecnológicos para su aplicación en este sector⁴.

⁴ VIGIL MONTAÑO, MARÍA REYES; PASTORIZA MARTÍNEZ, ALEJANDRA. *Los Plásticos Como Materiales De Construcción*. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2002. p. 17-27.



Imagen obtenida de www.worktopfactory.co.uk con fines didácticos.

Fig 254. El Corian para barras se fabrica con PMMA.

4.9 PLÁSTICOS RECICLADOS EN LA CONSTRUCCIÓN

Está comprobada la viabilidad de que en el mercado de reciclaje de plásticos, también existen oportunidades de generar recursos a base de ideas innovadoras. Hoy día, se estima que existen alrededor de 50 proyectos destinados al reciclaje de plásticos para aplicarlos en la construcción a cargo de universidades, empresas e instituciones a lo largo de país.

A continuación se esbozarán algunos aspectos relevantes sobre el tema del reciclaje de plásticos extraídos de trabajos de diversos autores, esperando que otras personas o grupos bien informados al respecto aporten en un futuro sus propias experiencias y conocimientos sobre el mismo. Se darán algunos ejemplos de lo que actualmente se está realizando a lo largo del país y en algunos casos, internacionalmente, en materia de reciclado de plásticos aplicados a la construcción.

La finalidad de recopilar ejemplos de esta índole, es proporcionar elementos de información e interés común, a quienes estén interesados en construir o difundir un contexto de desarrollo sustentable y humano. En especial, se espera que los arquitectos se den cuenta de que la sustentabilidad en el campo de los materiales de construcción, también va en constante aumento y evolución, y así, que los interesados, sepan que existen esta clase de productos que bien pueden ser aplicados en aquellos proyectos que busquen de innovación tecnológica y sustentabilidad en este sector.



Fig 255. Existen actualmente muchas aplicaciones para el plástico reciclado.

4.9.1 DESARROLLOS SUSTENTABLES

CIMBRA PLASTICA

La cimbra es un conjunto de obra falsa y moldes temporales que sirven para soportar y moldear la construcción de elementos de concreto. El molde es la parte de la cimbra que sirve para confinar y amoldar el concreto fresco de acuerdo a las líneas y niveles especificados en el proyecto durante el tiempo que necesite para alcanzar su resistencia máxima.

En la construcción, se utiliza en la mayoría de los países madera de pino para fabricar productos como los polines, barrotes, tablas, tarimas y otros productos que sirven para elaborar en conjunto el procedimiento constructivo denominado “cimbrado” o “encofrado” en México.



Fig 256. Cimbra de madera.jpg

El consumo es constante de estos productos, no solo para construir casas, sino para muchos otros usos, en donde la madera de pino es en sus diferentes presentaciones consumida masivamente y generando buenos dividendos en la economía de quien explota este recurso natural. La competencia en este nicho es casi nula en todo el país, y esta es la gran oportunidad de incursionar en este negocio, con una tecnología económica y que es ideal para ser instalada en cualquier lugar.

Para esto se han creado productos como láminas lisas y acanaladas, barrotes, tarimas, y cimbra de diferente tipo, obtenida de la denominada “Madera Plástica”, cuya finalidad es la sustitución de la madera como elemento constructivo por un material ecológico.

Algunos de estos productos son producidos en San Juan Tepemasalco, Hidalgo, por una máquina patentada por el



Fig 257. Tarima Plástica.

Imagen obtenida de www.re-net.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.arqhys.com con fines didácticos.

D.R. © Fernando Pacheco Adame. Imagen obtenida con fines didácticos.

Arquitecto Fernando Pacheco Adame, bautizada “Reciplastic^{MR}”, la cual funciona dentro de la empresa “Cimbra Plástica”. La máquina, pesa dos toneladas y mide 12 metros de largo y es capaz de procesar hasta 3 toneladas por día de plástico y obtener productos de 12 variedades distintas; todos ellos, aplicados y necesarios en la industria de la construcción, los cuales sirven para el colado de paredes, de columnas, de techos y de pisos. Dichos elementos son fabricados con plásticos reciclados sin aditivos, principalmente Polietileno de Baja Densidad (PEBD) y Polipropileno (PP).

Dentro de las ventajas principales de estos productos, podemos mencionar su larga duración, superior hasta por tres veces a la cimbra de madera tradicional, la nula absorción de agua y su ligereza. Igualmente, a diferencia de la cimbra de madera, no hay que darle el tratamiento de aceite quemado o diesel, ya que por las propiedades del plástico, este no necesita desmoldantes para descimbrar. Otra aportación en la utilización de productos de este tipo, es la preservación de recursos naturales no renovables como lo es la madera obtenida de los árboles de los bosques y la disminución de Residuos Sólidos Urbanos, ya que se toma de calles y tiraderos la basura de plástico y se convierte en un material que posteriormente sirve para preparar el colado en una construcción.



Fig 258. Cimbra Plástica.

MADERA PLÁSTICA

La madera es un material ortotrópico encontrado como principal contenido del tronco de un árbol. Como la madera la producen y utilizan las plantas con fines estructurales es un material muy resistente y gracias a esta característica y a su abundancia natural es utilizada ampliamente por los humanos, ya desde tiempos muy remotos.



Fig 259. Madera.

Una vez cortada y secada, la madera se utiliza para muchas y diferentes aplicaciones. Una de ellas es la fabricación de pulpa o pasta, materia prima para hacer papel. Artistas y carpinteros tallan y unen trozos de madera con herramientas especiales, para fines prácticos o artísticos. La madera es también un material de construcción muy importante desde los comienzos de las construcciones humanas y continúa siéndolo hoy.

En la actualidad y desde principios de la revolución industrial muchos de los usos de la madera han sido cubiertos

por metales o plásticos. El plástico, es una maravilla que muchos ecólogos han satanizado por falta de información, por ser un recurso que no es degradable a largo plazo. Sin embargo, al conservarse permite salvar otros recursos naturales que actualmente se están agotando.

Bajo esta premisa, en Morelia, el Ingeniero Carlos Padilla y su hijo decidieron desarrollar una técnica que permite aprovechar desechos plásticos, particularmente, para producir madera plástica. Dirigido por su padre, lograron el desarrollo de una tecnología para dar alternativas al desperdicio. Lograron desarrollar, una tecnología para producir una tabla de plástico reciclado, con muy poca demanda financiera, porque no requiere de procesos como el de inyección o extrusión, sino solamente de calor y compactación.



Fig 260. Panel de madera plástica.

La empresa “Perfiles Plásticos^{MR}” a cargo del Ing. Carlos Padilla Fernández de la Vega, ofrece el reaprovechamiento del Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reciclado, para

construir tablas de distinto color, grosor y resistencia. El proceso está patentado, y a partir de este pueden construirse múltiples productos, como escritorios, cubiertas para baño, muros divisorios, o lo que la imaginación del cliente solicite; o hasta simplemente ser usadas como cimbra.



Fig 256. La madera plástica tiene muchos usos.

Las ventajas de estas tablas de plástico reciclado o madera plástica, consisten en que se pueden trabajar como a la madera misma, es decir, se pueden serruchar, clavar o atornillar, sin que se astillen, e inclusive tienen un punto de ignición alto y algunas propiedades extras que ya conocemos que algunos plásticos poseen, como la impermeabilidad y resistencia a la intemperie. Se ahorran 20 árboles, si se convierten 20 toneladas de desperdicios de plástico en madera, que dura más, que no se necesita pintar y que puede estar a la intemperie.

PANELES PLÁSTICOS

Las losas y muros, son elementos constructivos de cerramiento, que se sitúan sobre los interiores de las edificaciones para protegerlas de las inclemencias atmosféricas. Su principal función además de la división de espacios, es evitar la entrada de agua al espacio habitable, pero también desempeñan un papel importante en la rigidez estructural de una construcción y funcionan también como protección térmica. Han sido desde

los primeros tiempos unos de los principales elementos de la arquitectura, parte fundamental en su función de refugio y fuente de continuos retos constructivos.

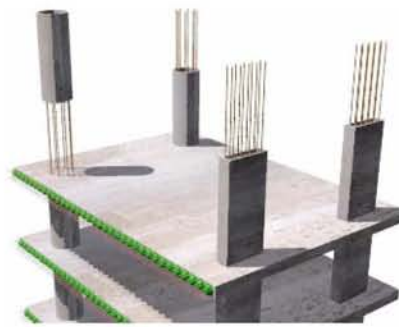


Fig 257. Las losas de concreto ya son sustituibles.

Estos sistemas constructivos convencionales han evolucionado de acuerdo a nuevos criterios para el análisis, desarrollo de procesos y puesta en obra. De esta manera surgen los paneles prefabricados de Poliuretano (PU) y Poliestireno (PS), ofreciendo una resistencia y capacidad de carga que le permita un desempeño igual o superior a los sistemas constructivos que actualmente se encuentran en aplicación. Además de ello, estos sistemas también imponen características físicas apropiadas en los materiales como son propiedades térmicas, antisísmicas, resistencia al fuego y una resistencia acústica aceptable.



Fig 258. Paneles de EPS.

El manejo de los desechos plásticos, se ha convertido en un tema referente a nivel político y social, por lo que diversos especialistas han coincidido que en lugar de eliminar el uso de plásticos como envases para diferentes artículos comerciales y emplear nuevos y costosos materiales degradables en el ambiente, por ahora lo mejor es garantizar un buen ciclo de reciclado de los polímeros y, una vez concluida su vida útil, utilizarlos en la fabricación de nuevos materiales. Con referencia a lo anterior, los plásticos reciclados actualmente también han incursionado en abundancia en el sector de la construcción de paneles para conformar muros y losas.

Para estos elementos, surge en Tlaxcala, un sistema constructivo para muros y losas llamado “Panel Ecológico^{MR}” patentado por el Arq. César Moreno Sánchez, a base de paneles prefabricados. Lo primero que se hace es seleccionar y lavar el material de desecho, pues cabe señalar que no se utilizan envases de contenido tóxico. El elemento principal, es una maraña de plástico mixto reciclado a manera de relleno el cuál se obtiene triturando la materia prima y se mezcla posteriormente con una serie de resinas y aditivos aglutinantes (moretero ligero) a fin de amalgamar todos los materiales. Este relleno se coloca y está protegido en ambos lados por un molde fabricado con mallas reticulares soldadas, las cuales son elaboradas con varilla de acero, formando en su conjunto, una estructura tridimensional. Finalmente se comprime el material y se deja fraguar hasta obtener el panel.



Fig 259. Panel de plástico reciclado.

Imagen obtenida de www.pertilespasticos.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de con fines didácticos.

Imagen obtenida de con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.murorologico.com.mx con fines didácticos.

Entre las ventajas que ofrece el Panel Ecológico durante la construcción de inmuebles, es que reduce el tiempo de levantamiento de obra, su instalación no requiere de mano de obra especializada y muestra mayor resistencia al salitre, así como a los impactos o movimientos de la cimentación (sismos). De hecho, en pruebas de esfuerzo soportado se determinó que el desarrollo de Moreno Sánchez es dos veces más resistente que el muro hecho a base de tabique rojo, y 37% más que el levantado con block. En cuanto a los terminados, el Panel Ecológico puede recubrirse con materiales texturizados, y debido a las características rugosas de su superficie se requiere de menor cantidad de mortero (cemento) para su cubierta, pues presenta mayor adherencia.



Fig 260. Panel Ecológico aplanado con mortero.

La resistencia de este producto se obtiene por el recubrimiento final de mortero. Esta innovación, como hemos mencionado, nos sirve para conformar muros y losas, siendo similar al producto conocido como "Panel W" de Poliuretano (PU) o Poliestireno (PS), utilizado en diversas construcciones con la finalidad de reducir los costos y peso de la construcción.

AFFRESOL

Una empresa de Gales, en el Reino Unido, "Affresol", ha puesto en marcha una serie de viviendas prefabricadas modulares que son construidas con un material procedente de materiales reciclados. El material desarrollado por la misma compañía, está hecho a base de plásticos reciclados y minerales para formular el "TPR^{MR}" o Thermo Poly Rock.



Fig 261. Casa fabricada con Thermo Poly Rock.

Este material se produce a partir de un proceso frío escogiendo productos de desecho que han sido desviados de los vertederos. Este desperdicio preseleccionado es molido en pedazos pequeños, tras lo cual se mezcla con una resina y los polímeros TPR. El resultado es un compuesto de líquido moldeable, que se moldea como concreto, y cuando fragua, es más fuerte que el hormigón. Los elementos de Thermo Poly Rock (TPR) pueden ser fabricados en grados diferentes de resistencia.



Fig 262. Detalle del Thermo Poly Rock.

Con la buena noticia de que el material es producido además con baja emisión de carbono, debido a que las casas están diseñadas para conseguir una calificación de alto grado de sustentabilidad, con un proceso patentado que permite transformar el plástico en un compuesto que, según asegura la marca, es más fuerte y ligero que el hormigón, resistente al agua, ignífugo, resistente a la putrefacción y tiene unas excelentes propiedades de aislamiento.

La marca, asegura que las casas modulares hechas con este TPR vendrían a tener unas 18 toneladas de material de plástico reciclado, y pueden ser hasta unos 12% más económicas que las construidas de manera convencional. Son rápidas de construir y son montadas en sitio según Affresol, en unos 4 días. Estamos hablando de viviendas con un ciclo de vida estimado de unos 60 años, y con elementos TPR 100% reciclables.



Fig 263. El TPR no solo es de material reciclado, es reciclable.

MUROS PLÁSTICOS

Los Muros son elementos estructurales lineales, capaces de cerrar espacios, contener cargas o soportar la estructura de una construcción, los cuales reciben distintas denominaciones según su aplicación. Los muros no cumplen sólo la función de limitar espacios como cerramientos laterales, sino que en muchos casos llegan a ser un componente de fuerte contenido estético; sin olvidar la importancia aún mayor que tiene en el caso del muro portante como componente estructural.



Fig 264. Muro de ladrillo.

Imagen obtenida de www.affresol.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.skyscrapercity.com con fines didácticos.

Si hablamos de materiales reciclables no podemos desconocer al plástico como uno de los grandes protagonistas. Teniendo en cuenta que es uno de los desperdicios sólidos que más se acumulan, que mejor que poder reutilizarlo para la construcción de viviendas.

Preocupado por el impacto ambiental que generan las grandes cantidades de residuos plásticos, la empresa “Tabiques y Estructuras Reciclables^{MR}”, que se encuentra en Metepec, Estado de México, dirigida por el Ingeniero Mariano Núñez, creó un tabique que se asemeja a los ladrillos plásticos de la marca Lego, pero del tamaño de uno convencional, solo que fabricados con pellets de Polietileno de Alta Densidad (PEAD) reciclado. Estos tabiques se fabrican con envases de plástico tales como: agua embotellada, shampoo, refrescos, alimentos, entre otros.



Fig 265. Tabique plástico.

El tabique es hueco y se pueden ensamblar entre ellos. Se fijan atravesándolas verticalmente por medio de redondos de acero y funcionan a manera de muros prefabricados, donde por medio canaletas en los extremos de las trabes, cadenas y castillos se terminan de fijar los redondos con estas, confiriéndoles así la firmeza y estabilidad necesarias.

Imagen obtenida de www.tabiquesyestructuras.blogspot.mx con fines didácticos.

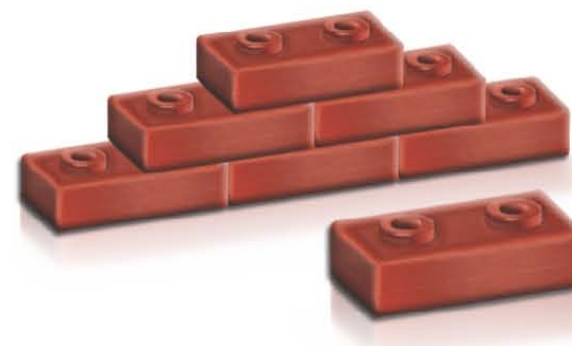


Fig 266. Tabiques y Estructuras Reciclables.

Entre las ventajas de este material, respecto a sus similares (tabique o el block) se encuentran que: ocupa menos mano de obra, es ligero, su proceso de fabricación es más rápido (1 vivienda de interés social en 15 días), y tiene buen comportamiento térmico (en inmuebles edificados con este producto se han registrado temperaturas internas de 18°C, cuando los termómetros marcan -3°C en el exterior; y temperaturas internas de 22°C con un clima externo de 32°C). Podemos también destacar la importancia de hacer útil un residuo sólido no renovable, evitando la contaminación.

Es un sistema muy económico, donde la marca asegura que las viviendas pueden ser hasta 50 % más económicas que las convencionales, aunque las desventajas de esta técnica, además de la baja capacidad de carga (por lo cual el mercado principal es el de interés social), serían la baja capacidad de resistencia al fuego directo y a la intemperie, las cuales mejoran considerablemente y se ven minimizadas a la hora de colocar el recubrimiento del acabado final, el cual debe ser colocado sobre una malla de acero (de gallinero) a manera de falso plafón, para poder retenerlo.

Imagen obtenida de www.tabiquesyestructuras.blogspot.mx con fines didácticos.



Fig 267. Muro armado con tabiques plásticos.

Imagen obtenida de www.abiquestructuras.blogspot.mx con fines didácticos.

LADRILLOS PLÁSTICOS

En el Centro Experimental de la Vivienda Económica (CEVE) en Córdoba, Argentina, se han desarrollado desde su fundación en 1967 y hasta el presente diversos sistemas constructivos, con la finalidad de obtener viviendas económicas aptas para nuestra realidad latinoamericana.

En el CEVE, se creó recientemente una nueva tecnología en producción de ladrillos, creada por el Arquitecto Horacio Berretta, la cual permite utilizar materiales no tradicionales (plástico reciclado) de forma tradicional, para fabricar ladrillos que se utilizarán en mamposterías.

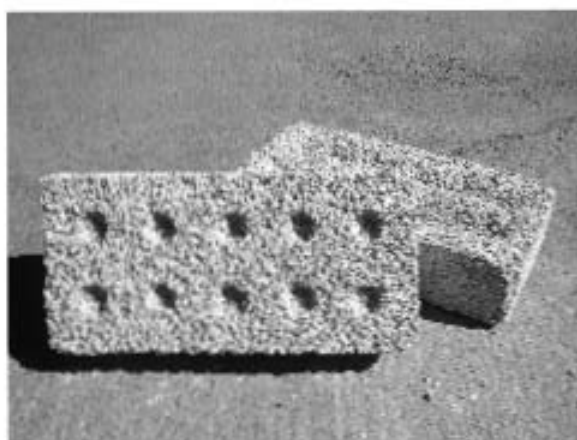


Fig 268. Ladrillo de PET Reciclado.

Imagen obtenida de www.ceve.org.ar con fines didácticos.

Se busca reemplazar parcialmente una tecnología muy arraigada en nuestra sociedad latinoamericana, para la construcción de viviendas, como es la mampostería de ladrillo común de tierra cocida (elaborado con un recurso no renovable como lo es el plástico). Este tipo de ladrillo, por sus dimensiones y condiciones físicas, ha resultado ser un material constructivo de aceptación universal. Esta tecnología posibilita la autoconstrucción, lo cual es importante para las mayorías de escasos recursos de nuestra Latinoamérica.

Este ladrillo se fabrica con cemento, Polietileno Tereftalato (PET) triturado a diferentes tamaños y algunos aditivos que posteriormente se compactan en una máquina bloquera o en

moldes manuales, dependiendo del elemento constructivo que se requiera. Los triturados de PET, vendrían sustituyendo el granzón y la arena gruesa que se utilizan para un ladrillo común. Se trata de un elemento constructivo prefabricado de tipo liviano para la construcción de envoltentes exteriores o interiores, no portantes. Realizada la mampostería, estos deben ser revocados con mortero para evitar su deterioro a largo plazo.



Fig 269. Block hueco de PET reciclado.

Imagen obtenida de www.ceve.org.ar con fines didácticos.

En base a las experiencias realizadas hasta el presente se puede decir que los materiales plásticos reciclados (en este caso PET y films para envoltorios de alimentos) son reemplazantes adecuados de los agregados pétreos de hormigones comunes debido a que los elementos constructivos obtenidos tienen un bajo peso específico, suficiente resistencia, excelente aislación térmica, baja absorción de agua, buena apariencia, buen comportamiento a la intemperie, buena adherencia con revoques tradicionales, bajo costo y cualidades ecológicas. Otras de las ventajas que encontramos es que puede ser fabricado inclusive en obra por personal no especializado, aunque, la capacidad de carga del ladrillo, no permite explotar el elemento para edificaciones grandes, por lo que se usa mucho en vivienda de interés social.



Fig 270. Ladrillos de PET reciclado.

BLOQUE P&P

Corría el invierno de 1997 cuando apareció en el sector de Puente Alto, Chile, un nuevo concepto habitacional denominado (por los habitantes de estas) “casa de nylon” o casas Copeva, las cuales tenían el defecto de presentar serias filtraciones en sus muros externos. Con el correr de los días los dardos apuntaron al ministerio de Vivienda y a la empresa constructora de su mala calidad de construcción.

El plástico fue el material con el que los pobladores de las famosas “casas Copeva” improvisaron en su momento la protección de sus precarias y humedecidas viviendas. Ese “evento” pone paradójicamente en evidencia las fortalezas de utilizar sistemas constructivos en plástico, y en forma particular el denominado Bloque P&P, diseñado por P&P Arquitectos. Como nicho, este grupo de arquitectos esperan abarcar las 600 mil viviendas sociales aún requeridas en el país. Según las estimaciones, 150 viviendas sociales requerirían de 80 toneladas de plástico reciclado.

Imagen obtenida de www.cev.org.ar con fines didácticos.

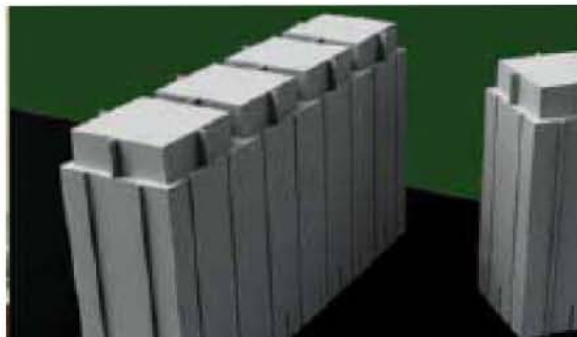


Fig 271. Bloque P&P.

Esta especie de ladrillo de plástico, al tener una superficie porosa, es un sistema que se puede revestir con diversos materiales, como estuco de cemento, volcánita, internit, madera, ladrillo o piedras. Entre las ventajas de este novedoso sistema constructivo destacan: la impermeabilidad; la condición de excelente aislante térmico y acústico (con huecos de aire seco y estático de unos 14 centímetros); la liviandad; y la rapidez de la edificación. La agilidad con que se construye abarata considerablemente los costos y disminuye el tiempo destinado para tales efectos. Además, es un material reciclable, reciclado y económico.



Fig 272. El Bloque P&P se puede ensamblar.

Actualmente, se han diseñado dos bloques: uno de 60 x 30 x 14 centímetros y otro de 30 x 14 x 14, ambos con 3 milímetros de espesor. Su material es a base Polietileno (PE) o Policloruro de Vinilo (PVC), pesando un kilo el primero y 250 gramos el segundo.



Fig 273. El Bloque P&P es de gran tamaño.

Replicando el modelo del “LEGO”, este sistema fomentaría, además, la autoconstrucción y podría cubrir las necesidades de una casa de descanso o segunda residencia. El sistema propuesto es de tabiquería, no estructural, pues ésta última se sigue generando mediante marcos rígidos de hormigón armado, vigas y pilares de acero o madera.

No es menor que este proyecto haya nacido de arquitectos y no de alguien que simplemente quiera hacer negocios. Realistas, saben que la propuesta debe luchar contra la idea generalizada que establece, sin mayor conocimiento, que “sí no es sólido, no es buena la construcción”, siendo que las casas huecas son las que tienen mejor aislamiento.

Imagen obtenida de www.issuu.com/creatinova con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.issuu.com/creatinova con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.issuu.com/creatinova con fines didácticos.

VAST ENTERPRISES LLC

En la tercera edición del Business Forum and Competition, concurso auspiciado por Battelle at GPEC® e impulsado por The Society of Plastics Engineers (SPE) en los Estados Unidos, una de las organizaciones mundiales más consolidadas en el mundo del plástico -desde 1942-, se entregaron los premios a la empresa VAST Enterprises LLC, creadora de un nuevo tipo de pisos y tabiques para albañilería, basado en plásticos post-consumo.



Fig 274. Vast Enterprises creó pisos ensamblables de plástico post-consumo.

Participaron en la justa más de 20 empresas, ya que el concurso da una plataforma envidiable a empresas establecidas, pero con ingresos menores a los cinco millones de dólares. Lo central aquí es el impacto que puede producir en el gremio el enorme potencial de sus ideas.

Al respecto, se destaca que las innovaciones que ganaron este concurso hacen posible el uso de materiales y energía procedente de fuentes renovables, reducen sustancialmente el consumo de recursos y eliminan emisiones y residuos”.

La firma VAST aplicó su tecnología patentada para transformar los materiales reciclados en un nuevo recurso para la

edificación sustentable, y ha creado ladrillos y adoquines que se emplean en espacios abiertos y que contribuyen a mejorar el paisaje urbano. Los productos formulados de VAST, es decir, los ladrillos delgados y, en especial, los adoquines que pueden instalarse en plazas jardines que son permeables y permiten aprovechar las aguas pluviales (lo cual mantiene los mantos freáticos recargados e impide los hundimientos) son, con sus distintas presentaciones, una alternativa de ingeniería ante el concreto y el ladrillo moldeado de arcilla.



Fig 275. Los bloques son permeables.

VAST cumple también con otros requisitos, ya que fue galardonado además al considerar su presentación, estética, la durabilidad, sustentabilidad, facilidad de instalación, colores vivos, resistencia al deslizamiento y ligereza ya que pesan una tercera parte de los adoquines de concreto.

La empresa, ha puesto fuera de circulación y de los basureros dos mil 500 neumáticos de automóviles y más 75 mil envases de plástico de todo tipo, y tiene todo por delante para multiplicar esas cifras tan solo en Estados Unidos, ya que son los materiales principales para la fabricación de estos tabiques.



Fig 276. Estos bloques usan llantas de automóvil como parte de su materia prima.

NANOCOMPUESTOS POLIMÉRICOS

En particular, un estudio que realizaron el Dr. Antonio Sánchez Solís y el Dr. Octavio Manero Brito en el Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM), va dirigido a aprovechar las botellas de PET que tiramos y aplicarlo en la extrusión de piezas plásticas.



Fig 277. Productos obtenidos con una mezcla de PET reciclado y arcillas volcánicas.

Imagen obtenida de con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.azek.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.azek.com con fines didácticos.

D.R. © Sanchez, Antonio; Manero, Octavio. IIM, UNAM. Imagen obtenida con fines didácticos.

Básicamente el problema de reciclar PET es que después de procesarlo por primera vez pierde viscosidad y al quererlo reprocessar parece agua y no tiene la suficiente manejabilidad para pasarlo del dado del extrusor al dado o accesorio formador. La pérdida de viscosidad está íntimamente relacionada con la degradación molecular de las cadenas del polímero original, por lo que es necesario recuperar esa viscosidad para poder reprocessarlo. Al combinar el PET con nanopartículas y aditivos se logra recuperar la viscosidad.



Fig 278. Viscosidad normal en el procesamiento del PET.

Las nanopartículas que se están utilizando son arcillas provenientes de cenizas volcánicas “Bentonitas y Montmorillonita” que en México tenemos gracias a ser un país volcánico.

Un nanocompuesto tiene dos o más fases y una de ellas deberá estar en escala nanométrica (placas de arcillas). Originalmente las arcillas vienen en pequeños granulos que se llaman Tactoides, estos son como un pequeño libro que se conforma de varias hojitas, cada hojita tiene el espesor de un nanómetro. Lo ideal en un nanocompuesto es poder separar cada una de esas hojitas, distribuirlas y dispersarlas a través de toda la matriz polimérica. Entre cada hoja se encuentran iones positivos que sirven de adhesivo entre ellas y dependiendo de la cantidad de iones que se tengan es la fuerza con la que estarán unidas. Es importante que esta unión no sea muy fuerte porque de lo contrario no se podrán separar y quizá no se lleguen a tener laminas en la escala nanométrica. Al proceso de separar las hojas se le llama exfoliado.



Fig 279. Dispersión de las arcillas en los nanocompuestos.

Además, los grupos funcionales que se intercalen en la arcilla deben ser compatibles con el polímero, para ello será necesario modificar las arcillas intercambiando los grupos originales por aquellos que sean compatibles con el PET.

Estos nanocompuestos de PET reciclado con arcillas volcánicas; permiten ser aplicados en la fabricación de láminas lisas y acanaladas, tuberías con diferentes aplicaciones y un gran número de perfiles plásticos para diversas aplicaciones.



Fig 280. Con los nanocompuestos se pueden producir perfiles.

LAMINA FLIPAR

Otra investigación hecha en el Instituto de Investigación en Materiales de la UNAM (IIM) acerca de materiales aplicados a la construcción, es la realizada por los ingenieros Dr. Antonio Sánchez Solís y Dr. Amado Padilla Ramírez en la creación de una lámina compuesta por plásticos reciclados, arena y fibras naturales.

La lámina tiene tres componentes principales: Polietileno reciclado (PE) como matriz, arena como carga y la fibra de agave como malla estructural. El Polietileno (PE) se lava

Imagen obtenida de www.deconcepitos.com con fines didácticos.

Dr. © Sanchez, Antonio; Manero, Octavio; IIM, UNAM. Imagen obtenida con fines didácticos.

Dr. © Sanchez, Antonio; Manero, Octavio; IIM, UNAM. Imagen obtenida con fines didácticos.

y se pulveriza, la fibra de agave se corta y se forma una malla con estructura irregular y finalmente, la arena que es de cuarzo y feldespato, se mezcla con el polvo de el primero, a los cuales, para obtener el peso específico correcto, es necesario incluir un líquido de parafina. La mezcla se vierte sobre la malla dentro de un molde, el cual se pone bajo presión en un horno de alta temperatura.

Este material compuesto permite fabricar láminas acanaladas plásticas que bien pueden sustituir a las muy dañinas láminas de asbesto.



Fig 281. La lámina Flipard se fabrica con PE y fibras de agave.

CONCRETO POLIMÉRICO

Mantener el ambiente limpio y sano es una tarea desafiante de los gobiernos y municipios de todo el mundo. La población mundial está aumentando y poniendo presión adicional sobre los ingenieros y los planificadores urbanos en la temática de agua potable y aguas residuales, especialmente en zonas de alta población.

A México le faltan esfuerzos para cumplir con las regulaciones ambientales más estrictos para el bien de

las generaciones futuras. La crítica situación de los sistemas de alcantarillado en algunas zonas también ha llevado a un replanteamiento del proceso de selección de materiales. De larga duración, a la corrosión y resistente a la abrasión, materiales como el Concreto Polimérico son cada vez más el enfoque de los diseñadores e ingenieros.



Fig 282. El Concreto Polimérico es una buena alternativa para reciclar PET.

El Concreto Polimérico posee propiedades diferentes a las del concreto convencional. Comparado con el Concreto de Cemento Portland los productos de Concreto Polimérico son de 3 a 5 veces más resistentes a la compresión, más ligeros, es prácticamente nula su absorción de agua, tienen mejores propiedades térmicas y acústicas, presentan mayor capacidad de absorción de energía de impacto, pueden resistir exposición continua al ambiente exterior, son de rápido endurecimiento (horas) y pueden mantener un aspecto estéticamente agradable. Además, puede dársele propiedades según las necesidades de cada aplicación.



Fig 283. El Concreto Polimérico es más resistente que el Concreto Tradicional.

El Concreto Polimérico se ha probado con éxito durante los últimos 30 años en todo el mundo. Debido a sus favorables propiedades como la resistencia a la corrosión, así como su fuerza y elasticidad, los productos fabricados con Concreto Polimérico se han utilizado durante décadas en el sector de la construcción en productos para fachadas y piezas sanitarias, en la ingeniería eléctrica se usa en dispositivos de aislamiento y, sobre todo en la industria química en la fabricación de todo tipo de conductos.



Fig 284. El Concreto Polimérico se usa mucho en sistemas de drenaje.

D.R. © Sanchez, Antonio; Padilla, Armando, IIM, UNAM. Imagen obtenida con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.milconcreto.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.civilelson.bloggfa.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.waterirrigation.co.uk con fines didácticos.

El desarrollo de productos de Concreto Polimérico, en mayoría de tuberías, se remonta a principios de los años 60`s. El objetivo era lograr un aumento sustancial en la resistencia al ataque químico en el interior y exterior y la fuerza con respecto a las tensiones externas e internas a las piezas.



Fig 285. El Concreto Polimérico es resistente a ataques químicos.

El Concreto Polimérico, es una alternativa interesante para el Polietileno Tereftalato (PET) con aplicación en el campo de la construcción, ya que este se puede reciclar químicamente para fabricar este novedoso material. En resumen, la idea es descomponer químicamente el PET, para obtener Poliéster Insaturado (UP). El resultado molecular de este material es una estructura o matriz muy grande, interconectada y muy fuerte, dentro de la cual, si dicha matriz es rellena con arena o grava, el producto final es una especie de concreto cuyo “pegamento” o aglutinante único es un polímero (en vez de cemento en el caso de concretos tradicionales), así como refuerzos estructurales de fibra de vidrio (equivalentes al emparillado de varillas y alambón en el concreto armado), para darle resistencia y durabilidad

Para fabricar el concreto polimérico, el poliéster insaturado se mezcla con estireno (en diferentes proporciones), y luego con los agregados (también con variadas proporciones).

Hasta este momento, la mezcla se mantiene estable, pero cuando se le añade el Octoato de Cobalto y el Peróxido de Metil Etil Cetona para producir el entrecruzamiento, comienza una reacción química que produce un fraguado muy rápido. Si la reacción se mantiene temperatura ambiente, el fraguado se presenta en unas cuantas horas (dependiendo de la proporción de los ingredientes de la mezcla), pero si se desea acelerar la reacción se puede someter la mezcla a mayores temperaturas.

El Concreto Polimérico se puede convertir en casi cualquier forma. Debido a la creciente demanda de productos químicos resistentes en los diversos sectores en todo el mundo, los siguientes productos se han convertido en el principal motor del mercado del Concreto Polimérico: Tubería y pozos de visita, estructuras simples, revestimientos, forro para rehabilitación de sistemas de alcantarillado existentes, mobiliario urbano, mobiliario sanitario.



Fig 286. El Concreto Polimérico se ha comenzado a introducir en mobiliario urbano.

PARTNERIS LV

Partneris LV es una PYME basada en la Investigación del Instituto de Mecánica de Polímeros en la Universidad de Letonia. Partneris LV es privada al 100%, su principal actividad es una eficaz utilización de los residuos plásticos para usarlos en la producción de nuevos materiales de construcción, sobre todo de placas para pavimentación. La compañía participa en proyectos de Letonia “Punto Verde” (sello en los envases de productos que indica que deben ser tirados en contenedores especiales para su eficaz recolección y clasificación) desde 2001.



Fig 287. La empresa Partneris usa el Concreto Polimérico en sistemas constructivos.

Las materias primas que se utilizan para la producción de estos nuevos materiales son residuos plásticos de diversas procedencias que sirven para formular una sustancia cohesiva. El material aglutinante se obtiene por fusión del Polietileno Tereftalato (PET) sin clasificar, aunque las mezclas de otros plásticos como el Polietileno de Alta y Baja Densidad (PEAD y PEBD) y el

Imagen obtenida de www.tuberiamorono.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.rqstone.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.innovation.lv/partneris con fines didácticos.

Polipropileno (PP) son aceptables en este caso. El relleno puede ser de diversas sustancias inertes como arena, residuos de la construcción de grava, vidrio estrellado y materiales similares, que servirán finalmente para elaborar un Concreto Polimérico.

Todos los materiales de construcción que fabrica Partneris LV son a base de Concretos Poliméricos Compuestos, los cuales cumplen con todos los estándares y certificación de calidad necesarios para la fabricación de materiales de construcción en Letonia.



Fig 288. Diversos los materiales de construcción fabricados con Concreto Polimérico.

La empresa tiene la patente sobre su sistema de fabricación de sus materiales. El proceso de fabricación de esta empresa consiste en lo siguiente:

- Secado, calentamiento de los materiales inertes, dosificación y transporte a la mesa de mezclas.
- La dosificación y transporte de los materiales plásticos a la mezcladora.

- Mezcla y homogeneización de la masa (el relleno y el plástico fundido).
- Transporte de la masa para el alimentador automático.
- Llenado de la prensa.
- Prensado.
- Vaciado.
- Almacenamiento del producto final.

Las ventajas del proceso son: La rentabilidad en la utilización de residuos plásticos, la fácil obtención de las materias primas; no hay necesidad del lavar, triturar, secar o granular los residuos de polímeros y además el proceso es continuo.

Expertos en la materia, afirman que dichos productos eventualmente serán más baratos que los ladrillos ordinarios, lo que significa que el impacto ambiental de los residuos de plásticos finalmente podría comenzar a disminuir con el uso masivo de este tipo de productos.



Fig 289. Celosías fabricadas con Concreto Polimérico.

ECO-TEC

En respuesta al alto consumo de envases de Polietileno Tereftalato (PET), desde hace más de 9 años, también han surgido diversidad de proyectos de gran interés, cuya finalidad es la del reaprovechamiento integro de la botella de Polietileno Tereftalato (PET) post-consumo, para incluirla como material de construcción primario.

Haciendo referencia al párrafo anterior, tenemos a un técnico alemán en Bioconstrucción y Ecodiseño llamado Andreas Froese, que dirige la empresa “ECO-TEC Soluciones Ambientales”, establecida en Marzo del 2001 en Honduras, Centroamérica, con la finalidad de prestar asesorías en materia ambiental en manejo y aprovechamiento de residuos sólidos. Se inventó una técnica única a base de botellas vacías de PET que permite evitar al máximo el cemento y bajar los costos de la construcción hasta en un 40% de los costos tradicionales.



Fig 290. Ecotec usa la botella de refresco como elemento constructivo.

La construcción con botellas de PET no se plantea únicamente como un sistema constructivo, sino también como un proceso de integración de una comunidad y de capacitación en la autoconstrucción.



Fig 291. Ecotec capacita a los interesados en esta técnica.

La gestión de los proyectos debe implicar una serie de factores para garantizar el cumplimiento de los objetivos, entre estos:

- Voluntad de la comunidad para trabajar y deseo de superación.
- Convenio con alguna entidad que apoye económicamente el proyecto estableciendo la contraparte por parte de la comunidad beneficiada en la mano de obra, aportación de algún material necesario, la donación de terrenos o alguna otra contribución.
- Organización y recopilación de la materia prima para la construcción: botellas de PET, tierra del lugar, cuerda de plástico, etc.

- Preparación del proyecto: bocetos, planos, y presupuestos.

Esta técnica de la que se habla consiste en el reaprovechamiento de las botellas vacías de PET, rellenándolas de arena o tierra a manera de barro para la sustitución de ladrillos convencionales.



Fig 292. El sistema utiliza las botellas rellenas de arena o barro.

La tierra de relleno de las botellas vacías, debe ser colada con una malla para facilitar el llenado; seguidamente, se llena cada botella y se comprime bien la tierra por dentro con ayuda de alguna varita para que esta resulte bien prensada. El resultado final es un ladrillo de plástico en forma de botella. Seguidamente se cierra con el tapón original de plástico para evitar la fuga de la tierra y garantizar la dureza. Las botellas se van colocando de forma horizontal y se amarran unas con otras con una cuerda de plástico. Entre hiladas, se coloca mezcla para asentarlas y nivelarlas. Al terminar de levantar los muros, todos los tapones se amarran con cuerda de plástico formando una malla que se utiliza para sostener el revestimiento de las paredes.



Fig 293. Ecotec capacita e integra a las comunidades de escasos recursos.

Dentro de las ventajas más importantes que tenemos con este sistema constructivo, además del buen aislamiento térmico y acústico, es que el PET, tiene un tiempo de degradación en el medio ambiente estimado entre 200 y 300 años; además en comparación con una construcción tradicional, la construcción con botellas de PET proporciona una solución mucho más económica para poblaciones en estado extremo de pobreza.



Fig 294. Este sistema se ha vuelto muy versátil.

Dentro de las desventajas podríamos mencionar la falta de resistencia al fuego por ser de plástico y no usar aditivos especiales en la técnica constructiva, y la falta de estabilidad de la construcción si se explota el sistema en más de un nivel de construcción, ya que se trata de un sistema constructivo no portante.

Sin embargo, hasta la fecha, el revestimiento exterior protege a los muros y no se ha registrado ningún suceso que ponga en duda el funcionamiento de una construcción con envases de PET. Todas las construcciones hechas hace más de 5 años, están todavía en perfecto estado y demuestran que con un poco de ingenio, podemos lograr excelentes resultados que permitan a los menos beneficiados acceder a una vivienda digna sin atentar contra el bienestar de nuestro planeta.



Fig 295. No se han presentado sucesos que pongan en duda el sistema constructivo.

EMIUM^{MR}

Como hemos mencionado en capítulos anteriores, son numerosos los envases plásticos desechables que utilizamos todos los días, casi todos los productos que consumimos ofrecen su versión envasada en distintos formatos de plásticos descartables. Uno de los grandes problemas que esto genera es que, en la mayoría de los países, resulta más económico y fácil deshacerse de estos envases que reciclarlos. Así, son llevados a basureros o rellenos sanitarios, donde tardan cientos de años en desintegrarse.



Fig 296. Botellas de PET.

En la actualidad, consumidores y productores prefieren, por su comodidad en el uso, los envases descartables, y justo cuando parecía que ya habían sido inventados todos los envases posibles, aparece un concepto innovador. Ahora, en el mundo hay diversidad de proyectos para cambiar el modo de fabricar los envases, uno de los cuales es "EMIUM^{MR}", concepto de envase

plástico, que promete revolucionar el sector y resolver uno de los graves problemas de la contaminación ambiental, la acumulación desmedida e irresponsable de envases usados.



Fig 297. Botella Emium.

EMIUM^{MR}, proyecto en Buenos Aires, Argentina a cargo de Mirta Fasci y Luis Pittau, surgió como concepto el cual implica la transformación del envase de Polietileno Tereftalato (PET) desde los orígenes del diseño, para crear envases modulares e interconectables unos con otros. Esta invención constituye un ingenioso recurso que posibilita la reutilización eficaz de los envases descartables. Tiene la particularidad de constituir, una vez vacío, un módulo con una utilidad concreta, independiente y distinta de su original función como contenedor de un producto.

En esencia, se trata de un nuevo tipo de envase provisto de medios de interconexión recíproca, de calce a presión, que permita el encaje con otros envases de iguales características. Esto posibilita su uso como módulos de construcción de todo tipo de estructuras, recreativas o funcionales.



Fig 298. Emium se puede ensamblar para formar muros.

Al mismo tiempo, este nuevo producto puede ser aplicado en la construcción; una vez vacío, puede conformar paneles que posibilitan el paso de la luz, formando una estructura termo-aislante.



Fig 299. Emium puede formar superficies traslúcidas.

Rellenos con arena, tierra o mezcla, toman mayor resistencia y pueden ser usados como ladrillos. EMIUM^{MR} puede fabricarse en cualquiera de los materiales usados actualmente para envases: PET, PETG, PEAD, polipropileno, PVC, polietileno, etc.



Fig 300. Se han contruido viviendas completas con la botella Emium.

Imagen obtenida de www.emium.com.ar con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.emium.com.ar con fines didácticos.

UNITED BOTTLE^{MR}

Cincuenta millones de botellas de Polietilen Tereftalato (PET) están circulando actualmente solo en Europa. Desde que se presentó el depósito obligatorio de botellas, la cuota de retorno ha excedido el 90 por ciento. Las botellas PET pueden servir de botellas retornables, así como también pueden ser recicladas y transformadas en una variedad de productos, desde textiles, como revestimientos a tejidos de lana. Este proceso de transformación como ya se ha mencionado, se produce principalmente en China, mientras que los productos finales, al igual que en México, se venden de nuevo en el mercado europeo como elementos de mucho mayor valor agregado que el propio producto que se exporta.



Fig 301. Se ha extendido el uso de botellas de PET para la construcción.

Esta intersección de circuitos locales y globales constituye la base del proyecto de United Bottle^{MR}, comandado por una oficina de arquitectura de basado instantáneo de Zúrich, Suiza (Dirk Hebel de Jörg & Stollmann con Tobias Klauser), Ellos han diseñado una botella de agua que puede ser reciclada y rellena de materiales locales para formar ladrillos y ensamblada a manera de refugio temporal en campamentos de refugiados, por ejemplo.

Imagen obtenida de www.visualsunited-photoshelter.com con fines didácticos.



Fig 302. United Bottle se ha enfocado en la idea de crear refugios temporales.

Teniendo en cuenta la creciente escasez de recursos, United Bottle^{MR} sugiere circuitos de reciclaje enfocados en zonas de riesgo adicionales a los ya existentes. La hipótesis de trabajo de este proyecto es que el diseño debe pensar más allá del producto final y diseñar pensando en el proceso futuro, donde los residuos de dicho proyecto se convertirán en algo útil. Esta botella de PET al igual que la botella EMIUM^{MR} ofrece un modelo ideal para estudiar y aplicar este programa de diseño.



Fig 303. Botella United Bottle.

Imagen obtenida de www.united-bottle.org con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.united-bottle.org con fines didácticos.

El escenario United Bottle^{MR} se basa en la idea que recientemente diseñadas las botellas PET pueden tomarse fuera de los circuitos regulares de reciclaje en caso de crisis o demanda específica, con el fin de ser reutilizadas como materiales de construcción instantáneo para vivienda temporal.

La idea, es introducir la United Bottle^{MR} en las ventas de agua local y por lo tanto ser instantáneamente disponible a una población en crisis. Una ventaja adicional de este crucial proyecto es la posibilidad de hacer uso de los conocimientos técnicos de la población local para construir refugios con la utilización adecuada de prefabricados de bienes consumo.

Los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales pueden emplear la United Bottle^{MR} en primer lugar para distribuir agua a nivel local como regional, a fin de utilizarlo después como material de construcción en combinación con materiales encontrados en el sitio, como arena, tierra, líquido y materiales de aislamiento natural como el pelo o plumas. La botella de agua funcionaría literalmente como un contenedor para formar un nuevo material constructivo.



Fig 304. United Bottle también puede ser rellena por diversos materiales.

ECOMAT RESEARCH^{MR}

Hace un tiempo, LEGO presentó un modelo a escala de “La Casa de la Cascada” de Frank Lloyd Wright construido enteramente con ladrillos de juguete. Estos juguetes han estado presentes desde la década de los 40’s, por lo que parece inevitable que alguien finalmente crearía una versión de tamaño de la vida de los bloques de construcción. Aquellos años de construir como un niño, finalmente han regresado.

Ecomat Research^{MR} en Bérgamo, Italia, pone en marcha un nuevo sistema de construcción y productos innovadores para el mercado. Esta tecnología permite crear cualquier tipo de construcción con técnicas resistentes a los terremotos y cumple con todos los requisitos de seguridad y confort, también tiene un claro impacto sobre el ahorro y los costes operativos de la construcción,



Fig 305. Ecomat asemeja mucho a una pieza de Lego.

permitiendo que los edificios diseñados con este sistema tengan grandes ventajas frente a los contruidos con sistemas tradicionales.

Diseñado para construcciones permanentes y temporales, los bloques de construcción de Ecomat Research^{MR} llamados “Ecomat^{MR}” pueden utilizarse para crear estructuras resistentes de manera rápida y eficaz. Los bloques de plástico 100% reciclado ofrecer buen aislamiento térmico y acústico, no requieren equipo especializado para instalarse en un edificio y se pueden montar sin el uso de mortero, lo que acelera considerablemente los tiempos de construcción. Su versatilidad en cuanto a la colocación se refiere, los hace un material para múltiples aplicaciones, gracias a sus ranuras para su fácil ensamble; y por su peso ligero, ofrece ahorros significativos en las emisiones por transportación, sobre materiales más pesados.

Imagen obtenida de www.united-bottle.org con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ecomatresearch.com con fines didácticos.



Fig 306. Ecomat es de fácil ensamble.

Ecomat Research^{MR} comercializa también otro producto interesante para la creación de muros falsos. Es un innovador sistema llamado “Mat Pack^{MR}”. Mat Pack^{MR} es más que un ladrillo, es un sistema que integra la estructura de los muros interiores en una construcción, a manera de esqueleto, los cuales posteriormente sirven de estructura para soportar paneles de yeso o cemento.

Este sistema es producido por la extrusión de un compuesto de polímeros reciclados (60%) y los residuos procedentes del tratamiento de piedras y mármoles (el 40% restante). Es una amalgama especial de eco-materiales y mineral de relleno. Estos ladrillos son ligeros y vienen diseñados de diferentes formas y tamaños para facilitar el ensamble de las piezas.

Imagen obtenida de www.ecomatresearch.com con fines didácticos.



Fig 307. El Mat Pack se usa como soportería de Tablaroca.

Imagen obtenida de www.ecomatresearch.com con fines didácticos.



Fig 308. El Mat Pack también funciona a base de piezas ensamblables.

Imagen obtenida de www.ecomatresearch.com con fines didácticos.



Imagen obtenida de www.ecomatresearch.com con fines didácticos.

Fig 309. Ecomat ensamblado para formar vivienda.

5 . DESARROLLO

**ROLLO DE UN
PROTOTIPO**

Cuando una nueva tecnología se inventa o conceptualiza por primera vez, generalmente no es adecuada para su aplicación inmediata. Las nuevas tecnologías suelen ser objeto de experimentos, refinamientos y las pruebas que sean necesarias para demostrar su aplicación. Una vez que el desarrollo tecnológico está suficientemente probado y ha alcanzado el nivel de madurez requerido, se puede incorporar finalmente a un sistema o línea de producción. El nivel de madurez tecnológica “Technology Readiness Level (TRL)”, es una medida utilizada por la mayoría de las instituciones gubernamentales de Estados Unidos y las agencias más importantes del mundo para evaluar la madurez de las nuevas tecnologías en materiales, dispositivos, componentes, etc., que están en proceso de desarrollo tecnológico. Esta metodología está avalada mundialmente y fue creada por la NASA (National Aeronautics and Space Administration) en los años 80’s.

El TRL está compuesto por 9 niveles distintos de preparación tecnológica, cada grado o nivel representa en la comunidad de investigadores, la evolución de un proyecto. Para esta tesis, se utiliza la TRL como una guía para avaluar y ubicar la metodología que se empleó y saber a ciencia cierta en qué nivel de madurez tecnológico se encuentra el desarrollo tecnológico que se intenta proponer.

Es normal y natural que el tiempo de estancia en una maestría no es suficiente para obtener el máximo nivel de preparación tecnológica en un proyecto, por lo que también se sugerirá de acuerdo al TRL, los pasos a seguir para poder llegar al máximo nivel de madurez en el desarrollo de este proyecto.



Fig 310. Diagrama explicativo del TRL.

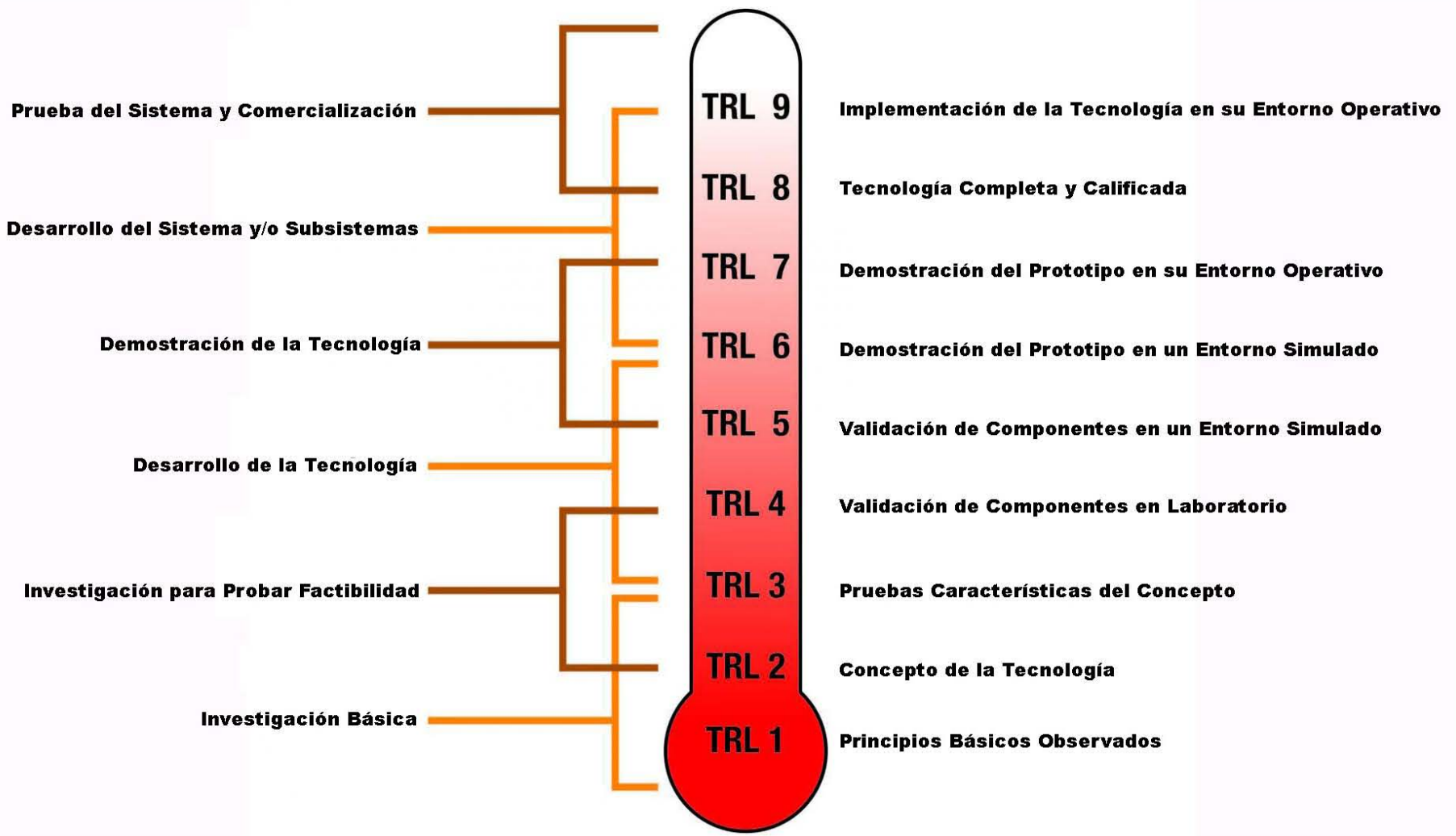
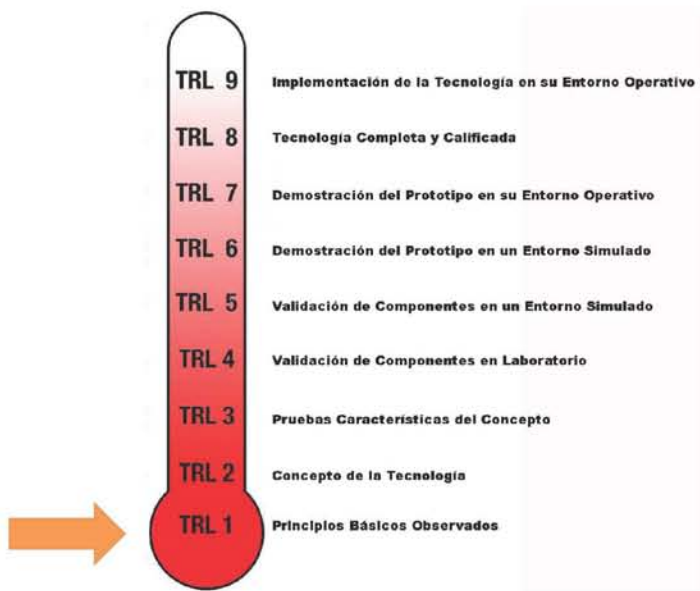


Fig 311. Fases y niveles del TRL.

5.1 PRINCIPIOS BÁSICOS OBSERVADOS



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

5.1.1 DIAGNÓSTICO

Como caso de estudio en particular de esta tesis, se pretende proponer una mezcla de materiales para generar un nuevo composite a partir del PET Reciclado (RPET), así mismo, se pretende diseñar un bloque modular para utilizar en el campo de la construcción de muros que sea fabricado a base de dicho material, cuyas características técnicas y funcionales se irán resolviendo a lo largo del capítulo.



Fig 312. Pellets de RPET.



Fig 313. Pet post-consumo molido.

Este es el nivel más bajo de la maduración tecnológica. En este nivel, la investigación científica comienza a ser traducida en investigación aplicada y desarrollo. Dicha información que se aprende de la investigación científica básica da el primer paso de una idea hacia una aplicación práctica desde una lección aprendida. Explicado de otra manera, en este nivel se pretende conjuntar los conocimientos adquiridos en el Estado del Arte para realizar informes de inteligencia que permitan conocer el entorno, oportunidad comercial y evolución de un concepto a desarrollar.

La mayoría de los conceptos que se deben definir en este nivel, fueron puntualizados en su capítulo correspondiente del Estado del Arte, por lo que solamente se hará un resumen de la temática a manera de diagnóstico.

¿Por qué se quiere utilizar RPET? Se ha observado que el PET es un material plástico cuyo consumo ha ido en aumento en los últimos años debido al alto consumo de bebidas carbonatadas. En México, es el material plástico que más desechos urbanos produce; y a pesar de ser el plástico que más se recicla en la actualidad, han sido pocos los esfuerzos para apoyar el eslabón final en la cadena de su reaprovechamiento. Más pocos aún han sido las intenciones de las instituciones de invertir en investigación para la fabricación de nuevos productos de aplicación final que otorguen un valor agregado a los que se conocen en la actualidad. El PET es un material fácil de separar de otros plásticos debido a su alto peso molecular, ya que se hunde. Básicamente, se lava y se recicla mecánicamente triturándolo para obtener hojuelas y así se distribuye a las principales empresas para su reprocesamiento. Se

ha podido concluir después analizar varios materiales poliméricos, que existen algunos más versátiles para emplear en la aplicación que se tiene pensada diseñar, sin embargo, se decide por este material ya que este plástico es el problema trascendental a resolver en los Residuos Sólidos Plásticos, lo cual es la principal fundamentación de esta tesis.

La oportunidad comercial de integrar un nuevo producto fabricado con materiales plásticos reciclados en el campo de la construcción de muros existe, ya que es un mercado en constante expansión económica y tecnológica. Tan sólo el sector de la construcción utiliza toneladas de insumos provenientes de otras industrias como el acero, hierro, cemento, arena, cal, madera, aluminio, plástico, etc., por este motivo es uno de los principales motores de la economía del país ya que beneficia a múltiples ramas de actividad a nivel nacional.

Por otro lado, la factibilidad técnica y tecnológica en la generación y comercialización de productos con las características buscadas para su uso en la construcción con el beneficio ambiental correspondiente, también existe, tan solo basta con revisar de

Imagen obtenida de www.mexiplast.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.istockphoto.com con fines didácticos.



Fig 314. Se necesitan buscar nuevos mercados en el reaprovechamiento del RPET.

nuevo la cantidad de desarrollos que se están generando en la actualidad alrededor de México y el mundo con características similares a la aplicación con la que se busca innovar en esta tesis.

El trabajo, más que llegar teóricamente a una conclusión teórica de este tipo, será solucionar la parte práctica, la cual está compuesta por una diversidad de etapas. Comenzando por el diseño de la aplicación y generación de un nuevo material compuesto, se pasarán por etapas de experimentación y pruebas de laboratorio, para finalmente llegar a la obtención de un prototipo definitivo que incluya patentes y derechos de autor.



Fig 315. Innovar en los materiales de construcción.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.dailymotion.com con fines didácticos.

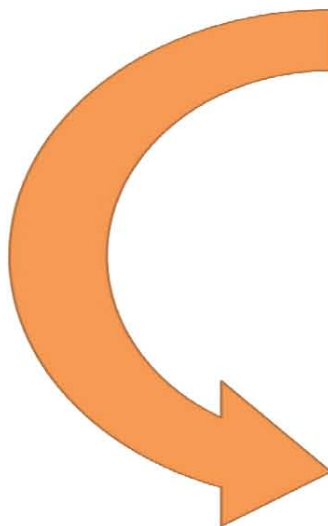


Fig 316. Residuos plásticos.

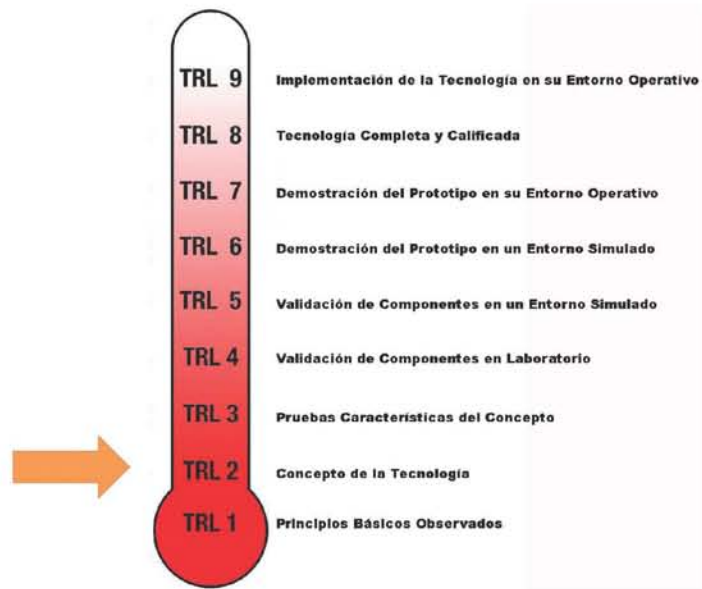
Imagen obtenida de www.gettyimages.com con fines didácticos.



Fig 317. Bloques constructivos fabricados con residuos plásticos.

Imagen obtenida de www.poworld.com con fines didácticos.

5.2 CONCEPTO DE LA TECNOLOGÍA



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

del proyecto, con la finalidad de asegurar que el producto será diseñado de acuerdo a lo establecido, identificando posibles problemas o desafíos a los que se puede enfrentar el producto en el proceso de desarrollo. Otros aspectos de esta etapa es conocer los posibles escenarios de uso y las funciones a realizar por el modelo a diseñar. La información que aquí se presenta debe considerarse una guía fundamental y un punto de partida útil para comprender la complejidad del diseño de producto.

5.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONCEPTO TECNOLÓGICO

El prototipo consistirá en el diseño y fabricación de un bloque modular tipo “LEGO” el cual servirá para la construcción de muros, el cual será elaborado a base de un material compuesto reforzado con fibras minerales o de vidrio para desarrollar altas prestaciones mecánicas. Para cada material o concepto propuesto en este capítulo se harán observaciones acerca de su funcionamiento como parte de un sistema constructivo integral.

Una vez que los principios básicos fueron observados y analizados, como siguiente paso se deberán enfocar para identificar y describir las características de las aplicaciones específicas. En este nivel, la aplicación a desarrollar sigue siendo especulativa ya que todavía no hay pruebas experimentales o de análisis detallado para apoyar las conjeturas. Lo que sí se puede desarrollar son las herramientas analíticas necesarias para la simulación o análisis de la aplicación.

En este nivel, también se recopila la voz del cliente, entendiéndose por cliente cualquier persona que esté en contacto con el producto durante su ciclo de vida, para definir los atributos del producto a desarrollar; a su vez, estos atributos son transformados en una lista de especificaciones técnicas medibles, las cuales servirán como guía en las diferentes etapas de desarrollo

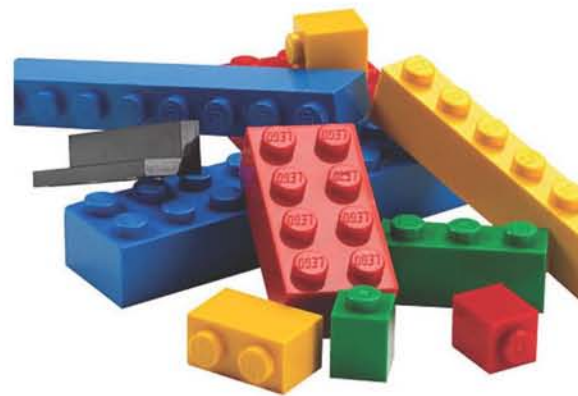


Fig 318. La inspiración del desarrollo proviene de los bloques modulares Lego.

Un factor condicionante para el desarrollo de este prototipo, es el material base con el cual se va realizar, en este caso PET Reciclado, ya que como se ha mencionado con anterioridad, es necesario que hoy en día los nuevos desarrollos tecnológicos que salgan al mercado tengan un compromiso ambiental. Para esta tesis, es menester cumplir con este compromiso de que el proyecto favorezca la disminución de Residuos Sólidos ya que en este momento, el PET es de los materiales más contaminantes.



Fig 319. Botella de PET post-consumo.

Para obtener un sistema constructivo polimérico efectivo proveniente de plásticos reciclados, es importante aprovechar de lo que existe en el mercado actualmente, las propiedades que funcionan como ventajas, para buscar aplicarlas a los nuevos desarrollos en estudio y así obtener como resultado un producto competitivo. Dentro de las características positivas a implementar en un nuevo prototipo, tenemos la resistencia a la carga e intemperie, la buena apariencia, la aislación térmica, acústica y eléctrica, la flexibilidad en la modulación, la facilidad

Imagen obtenida de www.stockphoto.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.select.yecyan.org con fines didácticos.

de interconexión entre las piezas, la compatibilidad con sistemas constructivos actuales, la velocidad de construcción, bajo mantenimiento, la capacidad de albergar instalaciones, y, sobre todo, la economía del producto. De ser posible la implementación de prototipos con estas características, se podrá demostrar que las posibilidades de penetración del plástico reciclado en la construcción, tiene mayor perspectiva de uso que lo ya establecido.



Fig 320. Son muchas las ventajas para este tipo de desarrollos.

Recordemos que para la elaboración de un material compuesto existen 2 fases, las cuales se refieren a los materiales de los cuales estará fabricado el prototipo. En nuestro caso, la fase matriz, que es la aglutinante, estará compuesta por PET Reciclado el cual será modificado en sus propiedades al momento de su

reprocesamiento utilizando aditivos extensores de cadena y así recuperar sus propiedades. La fase dispersa, que es la del material de refuerzo, se compondrá por el agregado de Wollastonitas (fibras minerales) que le dará rigidez estructural. Existen también otros aditivos capaces de perfeccionar los plásticos como los colorantes, agentes ignífugantes y estabilizantes UV, que habrán de considerarse para integrarlos al prototipo.

Imagen obtenida de www.gabinosanchez.com con fines didácticos.



Fig 321. RPET + Wollastonitas + Aditivos.

Imagen obtenida de www.stockphoto.com con fines didácticos.

5.2.2 IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS Y PROVEEDORES

Para la etapa de desarrollo del nuevo material se necesitarán proveedores que suministren la materia prima que se pretende emplear, tal y como es el caso del PET reciclado, aditivos plásticos y los diversos minerales. Para la etapa de diseño se necesitarán del apoyo de otras tantas compañías productoras de piezas plásticas para obtener el prototipado rápido, la fabricación de moldes de inyección, la maquinaria de procesamiento, entre otras.

Para el suministro de la materia prima, existen empresas que trabajan el PET reciclado, por lo que no será un problema la obtención de la hojuela resultante del reciclado mecánico de las botellas de PET. También, existen empresas como BASF, líder mundial de productos químicos, para la cual podría resultar de gran interés aplicar sus productos en esta investigación, ya que ellos cuentan con una sección especializada en aditivos para plásticos de los cuales tenemos el interés de utilizar uno de ellos en particular que sirve para mejorar las propiedades en el reprocesamiento del PET.



Fig 322. BASF suministra los extensores de cadena necesarios para el desarrollo.

Otra de las empresas involucradas que pudieran tener interés para brindar su apoyo es la empresa Insuquim, la cual ofrece distintos grados de Wollastonita provenientes de la compañía minera NYCO, mineral el cual se pretende añadir a la mezcla del nuevo material a manera de fibras minerales de refuerzo.



Fig 323. NYCO suministra las fibras de Wollastonitas.

Imagen obtenida de www.gettyimages.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.royalcanal.com con fines didácticos.

Para la etapa de experimentación en los materiales propuestos, se necesitará también apoyo de investigadores afines a la temática, muchos de estos se encuentran en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM) de la UNAM, aunque existen otras opciones de investigadores especializados también en la materia dentro de la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).



Fig 324. El IIM sería el lugar ideal para todas las pruebas de los materiales.

En búsquedas recientes, se localizó a una nueva empresa estadounidense NGplastics Corp, la cual ha comenzado a suministrar pellets de RPET Composites con características muy similares o lo que se está buscando obtener, lo cual podría sustituir la falta de apoyo de algunas instituciones nacionales, teniendo como ventajas, reducir costos a corto plazo en la compra de la maquinaria necesaria para realizar todo el proceso de reciclado y obtención de la materia prima.



Fig 325. NG Plastics suministra Composites de RPET.

Paralelamente a todo experimento se deberá trabajar la parte de diseño del prototipo constantemente, para lo cual es posible acudir al Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI) o al Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET) a sus respectivas áreas de prototipado rápido. Teniendo el diseño definitivo y la materia prima disponible, para las muestras

Imagen obtenida de www.iim-unam.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.ngplasticscorp.com con fines didácticos.

finales del prototipo, se deberá acudir a empresas fabricantes de piezas de plástico para cotizar una pequeña producción experimental y así poder realizar ensayos en estas antes de poder imaginar el inicio de una producción mayor, lo cual implica un proceso cíclico de ensayo y error hasta obtener el prototipo final. Dicha producción que aún se encuentra lejana, involucrará el diseño de los procesos finales de producción los cuales se desarrollarán y sugerirán en algún punto posterior a este capítulo. Es sabido con anticipación que por la complejidad que tendrá el producto se utilizará el moldeo por inyección, el cual sirve para la elaboración de altos volúmenes de producción con una excelente calidad, para este punto será indispensable un molde para colar la pieza de buenas cualidades, elaboración precisa y duración aceptable. Para la fabricación de estos moldes se tendrá que acudir al Instituto de Ingeniería (II) y al Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI), o inclusive a compañías particulares orientadas a la producción de estos para asesorarse con los especialistas en la materia.



Fig 316. En el CCADET se pueden hacer las pruebas de diseño de producto.

Cabe mencionar que en todos los institutos mencionados anteriormente de la UNAM, también se pudieran hacer las pruebas finales del prototipo definitivo, ya que cuentan con la maquinaria, aparatos e instrumentos necesarios para realizar las mediciones correspondientes, tal y como son las pruebas de resistencia mecánica, conductividad térmica, etc.

Imagen obtenida de www.ccadet.unam.mx con fines didácticos.

Teniendo el prototipo final junto con las pruebas correspondientes y habiendo demostrado su factibilidad, la investigación podría evolucionar a la creación de una empresa productora de ladrillos plásticos, para lo cual habría que tomar en cuenta al Sistema de Incubadoras de Empresas InnovaUNAM, la cual tiene como misión promover y apoyar a los emprendedores universitarios con los recursos y servicios necesarios para transformar una idea de negocio en una empresa formalmente constituida con alto potencial de crecimiento.



Fig 317. En Innova UNAM se puede buscar el apoyo para formar una empresa.

Imagen obtenida de www.ingenieria.unam.mx con fines didácticos.

5.2.3 ESCENARIOS DE USO

El escenario de uso de un prototipo “bloque”, busca la facilidad y la velocidad de construcción de una vivienda por medio del tamaño en la pieza y ensambles versátiles para conectarse a manera de juguete de LEGO. La ligereza que nos brinda el plástico, logrará que las piezas puedan cargarse y conectarse sin aplicar un gran esfuerzo. Las piezas se podrán armar de diversas maneras: en sus 4 caras laterales tendrá ensambles modulados tipo “cola de milano” para así lograr unir las piezas a manera de muro doble, muro continuo o intersectar 2 muros a 90°. La pieza deberá poderse ensamblar también por sus 2 caras restantes, superior e inferior para lograr la altura en la construcción de los muros. Los tipos de ensambles se diseñarán para que las piezas al unirse no necesiten adhesivo entre ellas, con lo que se obtendrá una gran

velocidad de armado de muros, traduciéndose también en una reducción en los costos de la mano de obra y materiales extras en la construcción.



Fig 318. Los ensambles cola de milano serán fundamentales en el diseño.

La resistencia del bloque deberá de ser muy elevada para que el sistema pueda funcionar como muro de carga; dicha resistencia se pretende lograr por medio del mismo material de fabricación del bloque (RPET Composite). Además de resistente el prototipo deberá de tener huecos que lo crucen en su totalidad de manera vertical para que, a manera de cimbra, puedan rellenarse con concreto para formar castillos y así obtener en la estructura los refuerzos verticales, evitando paralelamente con esto, gastos en madera para cimbra. Si todos los orificios del bloque fueran atestados continuamente a lo largo de todo un muro, se tendría como resultado una especie de muro de concreto armado. La inclusión de varilla tanto vertical como horizontal para amarrar el sistema a columnas y trabes también estará considerada.

Imagen obtenida de www.rockdec.com con fines didácticos.

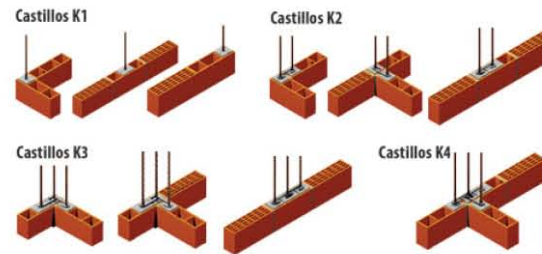


Fig 319. Los castillos serán necesarios para generar una estructura resistente.

El acabado de la pieza deberá ser mate y áspero, o hasta rugoso para que no resbale un acabado final en caso de que el constructor así lo requiriera. Como complemento u opción alternativa, también la pieza debe contar con hendiduras horizontales para facilitar la adherencia de dichos acabados. El prototipo, deberá funcionar también como material aparente, es decir, no sufrir deformaciones al quedar a la intemperie.



Fig 320. El acabado deberá ser áspero para poder recibir acabados convencionales.

Al ser de un material plástico, tendrá ventajas adicionales como el aislamiento térmico y acústico hacia el interior de la construcción, generando automáticamente ahorro energético y evitando la compra de aislantes térmicos independientes.

Imagen obtenida de www.ladrilleramecanizada.com con fines didácticos.



Fig. 321 El prototipo tendrá capacidades de aislamiento acústico y térmico.

Imagen obtenida de www.dopox.es con fines didácticos.

Por lo pronto, se trabajará sobre un diseño único, sin embargo, de funcionar los materiales en las pruebas como se tiene previsto, nos obligará a diseñar un sistema constructivo más completo compuesto de más variedad de piezas, de diversos tamaños y diferentes funciones, teniendo como pieza madre o principal el prototipo a diseñar.

5.2.4 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

Los problemas específicos del diseño se pueden analizar desde distintos ángulos, muchos conceptos se abordan en el capítulo del Estado del Arte dedicados a los materiales y procedimientos concretos, los cuales incluyen variedad de especificaciones técnicas.

Los materiales compuestos de polímeros entrañan una mayor complejidad de diseño que los homopolímeros. La mayoría de los materiales compuestos varían según el tiempo que están bajo carga, la velocidad de carga, pequeños cambios de temperatura,

ADITIVO EXTENSOR DE CADENA “JONCRYL ADR^{MR}”.

Los extensores de cadena son usualmente compuestos bifuncionales que incrementan el peso molecular otorgando cierta rigidez a la cadena de un polímero mediante reacciones. Para la solución de los problemas anteriormente mencionados, cabe mencionar la importancia de esta nueva tecnología en aditivos creada por BASF que logrará recuperar tanto las propiedades de viscosidad intrínseca del PET reciclado que se pierden por los esfuerzos mecánicos, como la degradación química por hidrólisis a la que es expuesto el material durante su recuperación industrial, al mismo tiempo que mejorará e implementará otras propiedades muy benéficas al material. Inclusive, estos aditivos llamados “extensores de cadena”, nos permitirá crear materiales composites en base a la unión del Polietileno Tereftalato (PET) reforzado con otro plástico como por ejemplo el Policarbonato (PC), el cual compartiría sus extraordinarias propiedades de resistencia con la relativa fragilidad al calor del primero.



Fig 325. Los aditivos extensores de cadena recuperarán las propiedades del RPET.

WOLLASTONITAS. Otros elementos que nos permitirán mejorar la rigidez y resistencia del material del prototipo, convirtiéndolo en material compuesto de altas prestaciones, son los agregados de fibras de refuerzo. En este caso, se planea utilizar la Wollastonita, que es un mineral de origen natural de

gran valor ecológico que se encuentra abundante; que normalmente se utiliza como carga o refuerzo en el plástico, sobre todo para utilizarlo en sectores como la construcción. En el caso de los plásticos, la Wollastonita se utiliza para proveerlos de mejores propiedades físicas y mecánicas, además de estabilidad térmica, dureza, impermeabilidad, resistencia a la abrasión, aumento en el módulo de tracción y esfuerzo y una menor compresión. Además de proveer de propiedades químicas y resistencia a la corrosión, es un mineral aislante y muestra resistencia a la luz ultravioleta. Las ventajas de la familia de Wollastonitas frente a otros aditivos y refuerzos, son que los plásticos adquieren propiedades mecánicas más elevadas. La viscosidad inicial de proceso es menor, lo que representa un menor consumo de energía de las máquinas de procesamiento. Gracias a su estructura en forma de aguja, se ha convertido en uno de los aditivos más importantes de alto desempeño en el mundo de los materiales plásticos reforzados con fibras y de plásticos de ingeniería y de desempeño mejorado. La Wollastonita también tiene la ventaja de ser un mineral que se obtiene en el mercado nacional donde se encuentra Zacatecas como productor principal. También se puede encontrar en Sonora, Puebla, Chihuahua y hasta en Chiapas como subproducto de la explotación del cobre.



Fig 326. Las Wollastonitas otorgarán excelentes prestaciones mecánicas.

Con la combinación de estos 3 productos, nos damos una idea de las propiedades principales que debe tener el Composite:

- Resistencia a la intemperie.
- Resistencia a los rayos UV.
- Resistencia a la corrosión.
- Aislamiento térmico.
- Aislamiento acústico.
- Aislamiento eléctrico.
- Gran capacidad de carga e impacto.
- Ligereza.



Fig 327. Los composites mejoran las propiedades de los materiales.

MEDIO AMBIENTE. Todo el material, o por lo menos el 80% a utilizar en la fabricación del producto, deberá provenir de fuentes económicas y recicladas. A la hora de diseñar un producto de plástico, las condiciones físicas, químicas y térmicas del entorno se transforman también en consideraciones muy importantes. El intervalo de temperatura práctico para la mayoría de los plásticos rara vez excede los 200°C como es el caso. Como la pieza a diseñar estará expuesta a energía radiante y ultravioleta, podría experimentar una rápida descomposición de la superficie, quedar frágil y perder su resistencia mecánica. Además de los extremos

de temperatura, humedad, radiación, abrasivos y otros factores del ambiente solucionables al utilizar la Wollastonita en el Composite. Se deberá considerar la resistencia al fuego, ya que el peligro de incendio es la objeción más importante al uso de plásticos en estructuras arquitectónicas, y que si bien no existen plásticos totalmente incombustibles, los retardantes de flama podrán hacer la labor suficiente para cubrir las normas al respecto. La humedad puede causar el deterioro y debilitar el refuerzo y la unión de matriz en los materiales compuestos. Orificios, bordes expuestos o superficies mecanizadas de diseños compuestos deberán ser protegidos con un recubrimiento para evitar la infiltración de la humedad o la absorción capilar.



Fig 328. El prototipo debe resistir a la intemperie.

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS. Todos los plásticos poseen útiles características como aislantes eléctricos. Los materiales compuestos de partículas, en los que se utiliza carbón, grafito, metal o refuerzos con revestimiento de metal, proporcionarán al prototipo una protección de interferencias electromagnética



Fig 329. El prototipo debe ser aislante eléctrico.

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS. La naturaleza química y eléctrica de los plásticos está íntimamente relacionada con su composición molecular. Los dos componentes básicos del aire atmosférico son el nitrógeno (79%) y el oxígeno (21%). El nitrógeno es un gas muy poco activo, pero el oxígeno es el responsable de la mayoría de los procesos químicos que tienen lugar en los materiales expuestos a la intemperie. En ambiente seco y cálido, el oxígeno provoca la oxidación de muchos materiales, mientras que en ambiente húmedo, lo que se produce es la corrosión, para lo que los plásticos son muy resistentes y en especial el PET, que actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂.



Fig 330. El prototipo debe resistir los ataques químicos.

FACTORES MECÁNICOS. La elección del material incluye la consideración de factores mecánicos como son la resistencia a la fatiga, a la tracción, a la flexión, al impacto y a la contracción, la dureza, el amortiguamiento, el flujo en frío, la dilatación térmica y la estabilidad dimensional. Nuestro prototipo, al requerir de estabilidad dimensional exigirá una atenta selección de los materiales, si bien las cargas de fibras de refuerzo servirán para mejorarla. El tipo y orientación de los refuerzos también influirá en gran medida en las propiedades del producto compuesto resultante.



Fig 331. La correcta orientación de las fibras otorgará estabilidad dimensional.

ECONOMÍA. No es aconsejable considerar el coste del material en la selección preliminar de los materiales candidatos. Es posible que un polímero con características de comportamiento mínimas no sea la mejor opción cuando priman la fiabilidad y la calidad. La relación resistencia-masa, o la resistencia química, eléctrica y a la humedad, pueden superar el inconveniente del precio. En el aspecto económico debe prever tanto el método de producción como las limitaciones de diseño del producto. El número de piezas que se van a producir y los costes de producción iniciales pueden constituir un factor decisivo.

Imagen obtenida de www.cikcer.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.kleinanzeigen.mhinstad.de con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.fibrasparaconcreto.com con fines didácticos.



Fig 332. La economía no debe regir el diseño del material.

CONSIDERACIONES SOBRE EL DISEÑO

ASPECTO. El color, la textura, la forma y el material deberán hacer que el producto sea atractivo para el consumidor. Una de las características más llamativas de los plásticos es que pueden ser transparentes o de color, lisos y duros como el vidrio o flexibles y blandos como el cuero. Nervaduras, grabados, flecos y perlas son los métodos más comunes para añadir resistencia sin aumentar el grosor. Las muescas (internas o externas) de las piezas, requerirán en la técnica de moldeo, piezas móviles en el molde para su extracción. La textura, se podrá grabar, con ácido por medios electroquímicos en las cavidades del molde.



Fig 333. La variedad de colores en el producto dará atractivo.

Imagen obtenida de www.stockphoto.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.practi-k.com.ar con fines didácticos.

LIMITACIONES DE DISEÑO. La velocidad de producción, las líneas de división, las tolerancias de dimensiones, las muescas, el acabado y la contracción del material son puntos que deberá tener en cuenta el fabricante de moldes o diseñador de herramientas. Al requerirse tolerancias estrechas, será necesario considerar la contracción del material y la estabilidad dimensional. Una vez realizado el diseño preliminar, se obtendrá un prototipo físico, con el que se compruebe y ensaye el moldeo. Con dicho prototipo se podrá averiguar el comportamiento simulado y realizar las pruebas de servicio. Si se hubieran cometido errores de diseño o de material, será posible rectificarlas.



Fig 334. La rectificación se usará en cada etapa para corregir posibles errores.

CONSIDERACIONES DE PRODUCCIÓN.

La forma, el tamaño, la formulación de matriz y la forma de la pieza a diseñar limitará el medio de producción a una o dos posibilidades.

PROCESOS DE FABRICACIÓN. Después de un análisis de las ventajas y desventajas de cada proceso de transformación plástica por medio del cual se puede fabricar el

prototipo y debido a la complejidad geométrica del proyecto, no existe mejor alternativa que la Inyección Plástica. Suponiendo que la mezcla que se ha propuesto para producir el material plástico a emplear en la fabricación del prototipo tenga éxito, se proponen a continuación los pasos a grandes rasgos de cómo debería funcionar el modelo de producción del prototipo.

1. Recolección. Como primer paso tenemos el problema de la obtención de la materia prima, es decir, las botellas de PET. En el 2007 un kilo de botellas post-consumo de PET oscilaba entre \$1.00 y \$1.70, hoy en día, se ha comprendido el valor que tiene este material y se han hecho muchos esfuerzos para su recopilación, promediando su valor actual entre \$3.50 y \$5.00 el kilo dependiendo de la limpieza con que se encuentre este. Para obtener la materia prima, se deben establecer alianzas entre instituciones, comercios y empresas que sumen colectivamente esfuerzos para llevar a cabo el proceso de recolección, y lo conveniente sería recopilar los envases antes de llegar a los vertederos, donde el costo por traslado del material aumentaría considerablemente.



Fig 335. Se deberán eficientar la recolección de materia prima.

Imagen obtenida de www.stockphoto.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

2. Molienda. Las botellas tienen diferentes materiales en su presentación, la botella misma es de PET, la tapa y el anillo de seguridad de PP y la etiqueta de PEBD. Se ha determinado experimentalmente que estos materiales guardan una relación de 5.20 % de PP, 4.02% de LDPE y 90.78% de PET, es por eso que es necesaria la limpieza y separación de los distintos tipos de materiales. Teniendo lista la materia prima, el siguiente paso es triturarla mediante un Molino-Lavador-Secador de PET para convertirlo en hojuela. Los flakes de PET están generalmente contaminados con comida, papel, piedras, polvo, aceite, solventes y en algunos casos pegamento, de ahí que después de la molienda pasan a una segunda cámara donde son limpiados en un baño que garantice la eliminación de contaminantes. Posterior al ciclo de lavado sigue un proceso de secado el cual debe eliminar el remanente de humedad del material, para que pueda ser comercializado o procesado. Al salir de esta máquina de reciclado de 3 tiempos, el PET aumenta su precio hasta en un 200% por el simple hecho encontrarse ya limpio y molido, por lo que a partir de este punto, podemos afirmar que existe un valor agregado en el material desde que se recopiló por primera vez. Dicho material recibe el nombre de RPET y surge la oportunidad de comercializar los excedentes que no se ocupen en la fabricación del proyecto.



Fig 336. Molienda de materia prima.

3. Pelletización. La hojuela limpia y seca como ya hemos dicho, puede ser vendida, o como alternativa en nuestro caso, debe convertirse en pellets para lo cual debe fundirse y pasarse a través de una máquina de Extrusión. Este será el paso más importante para tratar el RPET y crear el material composite, donde la calidad y limpieza de la hojuela será esencial. En este proceso se mezclará la hojuela de RPET, Policarbonato (PC), aditivos extensores de cadena, aditivos retardadores de flama, aditivos estabilizadores UV, aditivos colorantes y las Wollastonitas como fibras de refuerzo, según especificaciones; para que después de procesarlos, se obtengan los pellets de RPET Composites listos para ser utilizados en una máquina de Inyección Plástica. Anteriormente, con el proceso de Extrusión cerraba el ciclo del reciclado, quedando los pellets como producto final, pero con el tiempo la tecnología de Inyección que puede incorporar directamente las hojuelas de PET hará que este paso dentro de poco tiempo sea obsoleto, sin embargo, lo ideal es aún convertirlo a pellets debido al costo actual de dicha tecnología. Los pellets antes mencionados que se utilizarán en el siguiente proceso, que es el de inyección de las piezas, es el corazón mismo de la investigación, sin embargo para dicha etapa se tienen dos alternativas:



Fig 337. Pellets de RPET.

4. Inyección. La siguiente etapa es la inyección del producto final, para lo que se necesitará una máquina de Inyección Plástica así como tener los moldes terminados cuya tarea será recibir y distribuir el material plástico fundido, para ser formado, enfriado y para finalmente expulsar la parte moldeada. Los pellets de RPET se deberán introducir en la tolva de la máquina de Inyección el cual es compactado y fundido mientras es transportado por el husillo. Finalmente el molde se llenará volumétricamente donde comenzará la fase de enfriamiento, durante la cual, el material plástico se contraerá y deberá añadirse más material para que la presión interior aumente (compresión). Cuando la presión sea suficiente, comienza la fase contraria llamada descompresión donde esta disminuye paulatinamente mientras la pieza completa la fase de enfriamiento y posteriormente finalice todo con el desmolde de la pieza y el proceso vuelve a empezar.

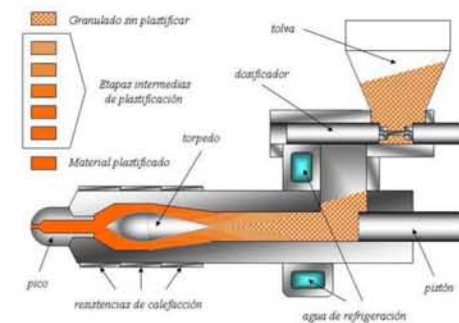


Fig 338. Según el análisis la inyección será el proceso utilizado.

CONTRACCIÓN DEL MATERIAL. Las zonas gruesas tardarán más en enfriarse que las delgadas y podrán causar repuchados. La contracción típica del polímero reforzado con fibra es aproximadamente un tercio o la mitad menos que la de los otros polímeros, ya que las fibras que están orientadas en la dirección de la corriente impiden la contracción libre normal del plástico.

Imagen obtenida de www.economia.terra.com.mx con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.juhlergroup.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.nando-tila.wordpress.com con fines didácticos.

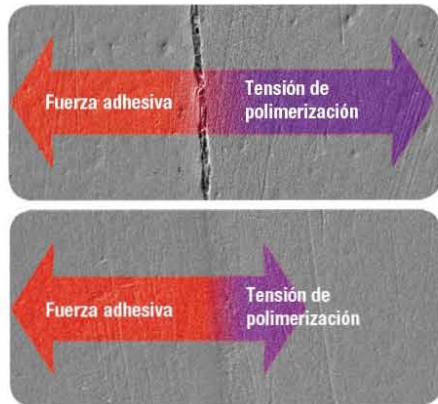


Fig 339. La contracción del material es menor cuando está reforzado con fibras.

TOLERANCIAS. El moldeo de artículos con tolerancias de precisión exige una selección cuidadosa de materiales, siendo además más caras las herramientas. Los patrones de tolerancia han sido establecidos por los moldeadores especializados por adaptación al cliente y por la comisión de normas de la Society of the Plastics Industry, Inc. Estas normas deben considerarse únicamente como una guía, ya que conviene analizar cada plástico y diseño en particular para determinar las dimensiones.



Fig 340. Las tolerancias de ensamble exigirán una selección cuidadosa de materiales.

Imagen obtenida de www.solutions3m.com con fines didácticos.

DISEÑO DEL MOLDE. El diseño del molde es muy importante para determinar la producción. Debido al tamaño de la pieza a colar, se necesitarán entradas adicionales y canales secundarios para transportar el plástico fundido desde el bebedero hasta la cavidad, dicho sistema deberá estar diseñado de manera que todos los materiales recorran la misma distancia desde el bebedero hasta la cavidad. Una conicidad buena, entradas adecuadas, un grosor de pared uniforme, un enfriado correcto, eyección suficiente, aceros apropiados y soporte de moldeo amplio son elementos importantes en el diseño del molde.

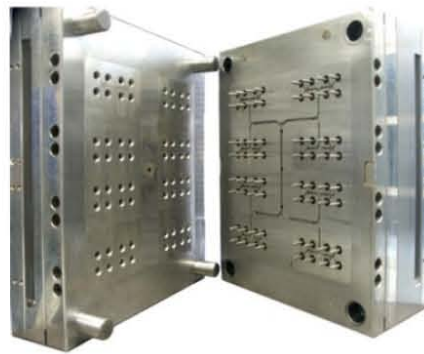


Fig 341. El molde determinará la producción.

Imagen obtenida de www.amazon.es con fines didácticos.

PRUEBAS DE COMPORTAMIENTO.

Lo que verdaderamente pone a prueba un producto es su comportamiento en las condiciones de operación reales. Las pruebas sirven para valorar el diseño y volver a rehacerlo si es necesario y para determinar su calidad. La palabra prueba implica los métodos y procedimientos empleados para determinar si las piezas satisfacen las propiedades demandadas o específicas. Los procedimientos de control de calidad deben aplicarse para averiguar si un producto se ajusta a las especificaciones. Se trata

primordialmente de una técnica utilizada para conseguir calidad. La inspección garantiza que el personal de fabricación comprueba los procedimientos técnicos, las lecturas del calibre y detecta los defectos en el tratamiento de materiales. La inspección forma parte del control de calidad.

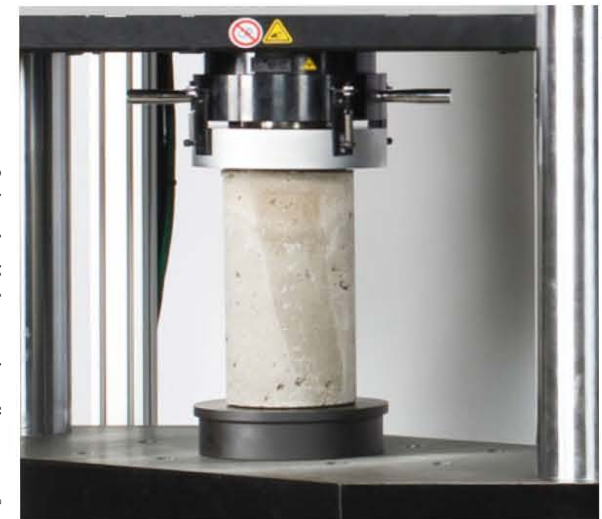


Fig 342. Las pruebas serán las que en verdad pondrán a prueba el producto.

Imagen obtenida de www.ariatrading.com con fines didácticos.

Imagen obtenida de www.instron.com.es con fines didácticos.

5.2.5 APORTACIONES TECNOLÓGICAS

La aportación tecnológica de acuerdo a la originalidad de este desarrollo, es radical, ya que a pesar de que la idea de los bloques modulares aplicados a la construcción como tal no es nueva, mediante la incorporación de nuevos avances y de adaptaciones tecnológicas de procesos existentes se generarán una serie de combinaciones originales que darán lugar a un producto de nuevas cualidades funcionales y más útil.

Dentro de las principales innovaciones en este nuevo desarrollo se pueden citar:

- La generación de nuevos materiales de ingeniería a partir de residuos plásticos, en este caso la obtención de Composites de RPET a partir de botellas de plástico post-consumo, que es la materia prima mediante la cual se fabricará el prototipo experimental.
- La construcción lograría disminuir en altos porcentajes su huella ambiental al optar por la utilización de nuevos productos constructivos hechos con plásticos reciclados.
- Se abren nuevos mercados para los materiales composites, ya que principalmente se utilizan en la industria automotriz y en porcentajes menores o nulos en la construcción.
- La nueva aplicación para los bloques modulares ensamblables, que alguna vez fueron vistos solamente como juguetes y hoy es una realidad su integración a la construcción.
- El tipo de ensambles que se manejarán están inspirados en los que se utilizan para unir la madera, los cuales muchas veces se han dejado de considerar para otro tipo de aplicaciones que no sea la carpintería.
- La velocidad y facilidad de construcción con estas piezas será algo sin precedentes que permitirá avanzar una construcción a pasos agigantados, con poca mano de obra y menos especializada.
- Las propiedades mecánicas, térmicas y acústicas que estarán integradas en un solo producto, evitando gastos innecesarios en cuanto a la compra de materiales extras para dichos fines.



Fig 343. Generación de nuevos materiales a partir de residuos plásticos.

5.3 PRUEBAS CARACTERÍSTICAS DEL CONCEPTO

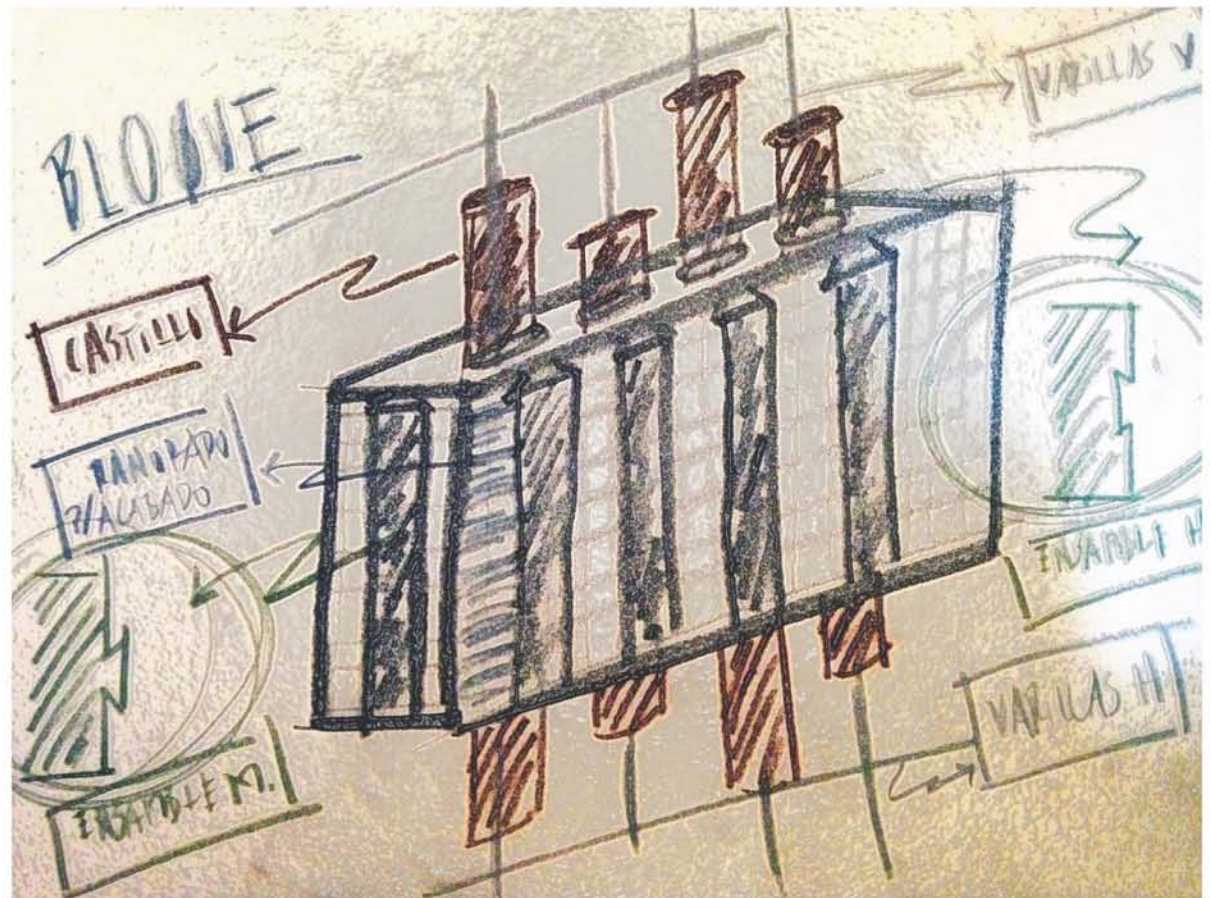
5.3.1 ESTUDIO ESQUEMÁTICO DEL CONCEPTO



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

En este paso del el proceso de maduración tecnológica, inicia la investigación activa y el desarrollo (I+D). Esto debe incluir, estudios analíticos para definir la tecnología en un contexto adecuado y de laboratorio para validar físicamente que las predicciones analíticas fueron correctas. Estos estudios y experimentos deben constituir la validación de los conceptos formulados en TRL 2 y generalmente se analizan por separado todos los componentes que integran la aplicación.

A partir de las necesidades del cliente traducidas en especificaciones de diseño, se genera los ensayos de diseño que de forma separada o en conjunto satisfacen dichas necesidades y permiten identificar la mejor solución desde los puntos de vista técnico y de usabilidad. La información generada en esta etapa es empleada para definir la estructura general del producto.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 344. Estudio esquemático del prototipo.

5.3.2 DISEÑO PRELIMINAR

Los objetivos principales de esta tesis es el proponer materiales emergentes para la construcción, generados a partir del aprovechamiento de Residuos Plásticos, para crear con estos, nuevos, creativos e innovadores productos tecnológicos. Con lo anterior, se definen nuestros 2 objetivos: generar un nuevo material y diseñar y fabricar una nueva aplicación para dicho material.

El proceso para obtener un prototipo experimental consiste en generar y evaluar conceptos alternativos de solución que den respuesta a los requerimientos de diseño. Para diseñar estas alternativas se utilizará software específico de dibujo CAD donde se trabajará en 2 dimensiones, paralelamente, se realizarán modelos en CAD 3d, los cuales habrá que evolucionar constantemente hasta llegar al diseño preliminar.

1A ETAPA DEL DISEÑO DEL BLOQUE

El primer diseño del prototipo, busca como características principales la versatilidad en el ensamblado de las

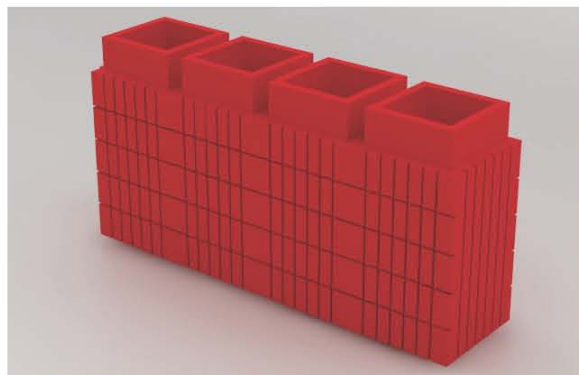


Fig 345. Vista completa del primer diseño del prototipo.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

piezas, el tamaño para construir con rapidez decidiendo así por diseñar una pieza de 0.60 x 0.40 x 0.15 m.

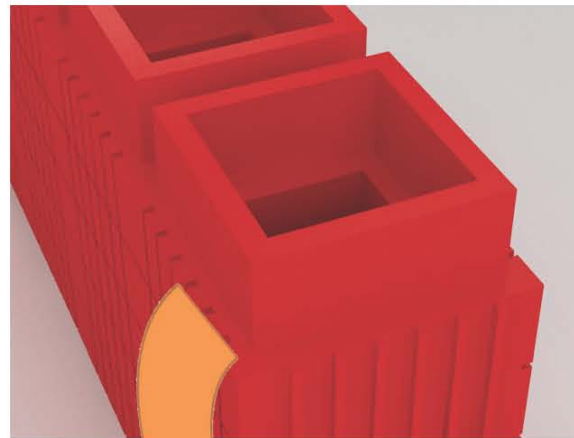


Fig 346. Ensamble vertical.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

El ensamble para unir horizontalmente las piezas, después de reflexionar cual sería el óptimo, se decidió utilizar el tipo “Cola de Milano” a manera de machihembrado, el cual generalmente es utilizado para uniones en madera que estén sometidas a esfuerzos de tracción y compresión, resultando, por su geometría, casi imposible de que las uniones se deslicen. Los ensambles para unir verticalmente las piezas son en forma de cuadrado, simples, resultado de los huecos que atraviesan las piezas verticalmente cuya funcionalidad es el ser rellenos de concreto a manera de castillos en caso de requerir refuerzos verticales en el sistema. El modelo está ranurado horizontalmente a todo lo largo por sus 4 caras, provocando con esto la posibilidad de una mejor adherencia de algún acabado final en caso de necesitarse.

2A ETAPA DEL DISEÑO DEL BLOQUE

El segundo diseño del prototipo busca corregir errores del primer diseño que sobresaltan a primera vista. Podemos confirmar que el tamaño sugerido de la pieza, es el óptimo. Por ser una pieza grande, constructivamente hablando, nos ayudará en acelerar el proceso de levantamiento total de un muro.



Fig 347. Detalle de ensambles colas de milano y vertical.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González.

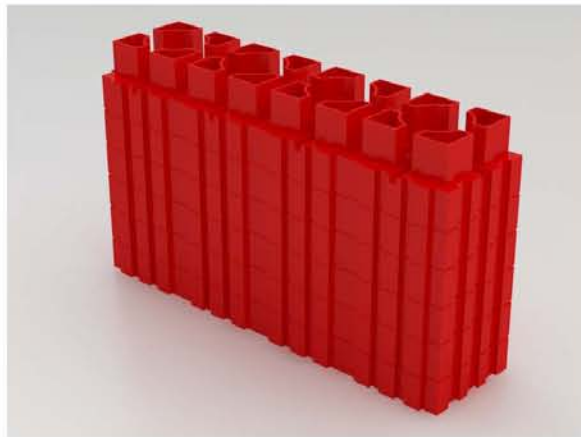


Fig 348. Vista completa del segundo diseño del prototipo.

El ensamble “Cola de Milano”, en su primera fase se veía un poco pequeño y frágil para la resistencia en la adherencia bloque con bloque que se requiere, por lo que se propuso modificar su tamaño, aunque la idea del machihembrado se mantuvo. Al funcionar la adherencia de los bloques con un ensamble de alta resistencia, se podrá lograr un ahorro; económico al evitarse la necesidad del uso de mortero para pegar piezas, y en tiempo de ejecución al ahorramos el secado de materiales.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Los ensambles verticales también se modificaron como consecuencia de la necesidad de agregar refuerzos horizontales en caso de ser requeridos. El cuadrado, fue dividido en 4 secciones, permitiendo en la mitad de cada cara, el paso libre del refuerzo.

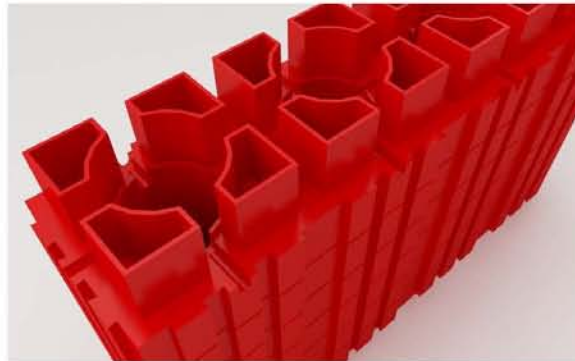


Fig. 350 Vista superior de ensambles verticales.

Los ensamble verticales, al igual que los horizontales, con el sistema de machihembrado, permiten el ensablado de nuevas piezas hacia el sentido que se desee.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

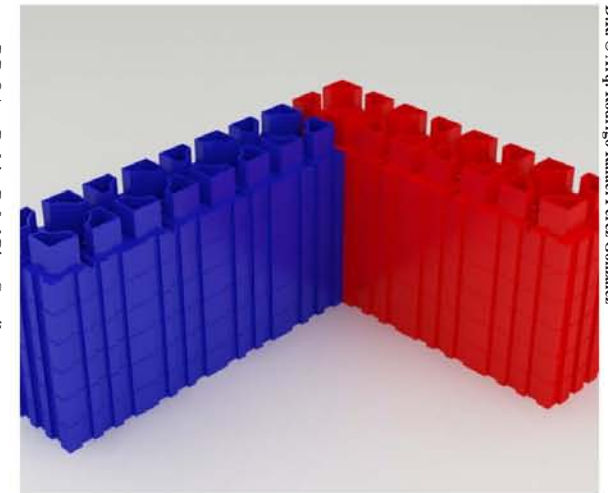


Fig 352. Ensamble a 90°.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

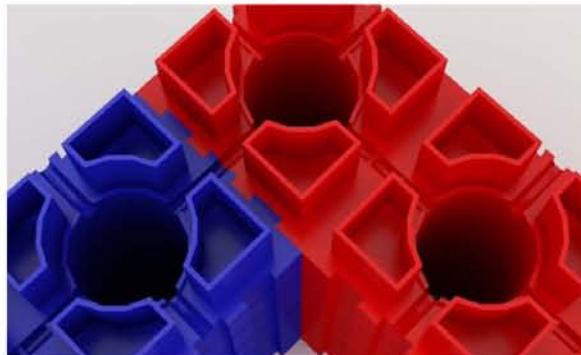


Fig 349. Los ensambles colas de milano se agrandaron.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

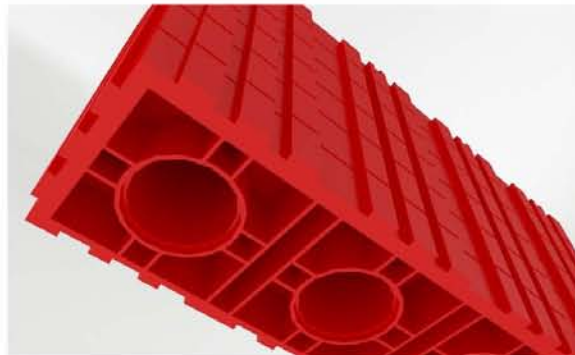


Fig 351. Vista inferior de ensambles verticales.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

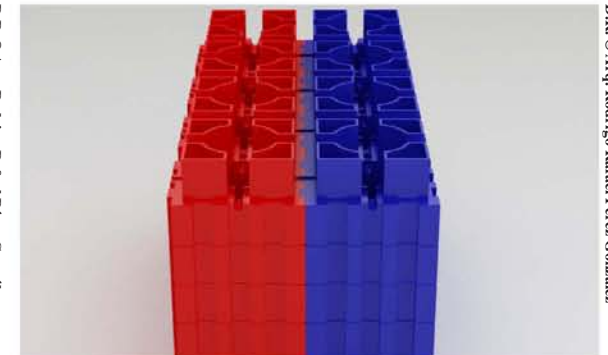
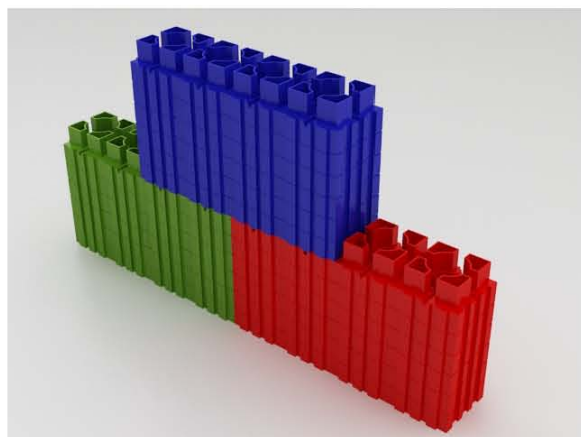


Fig 353. Aparejo “aguacalado”.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

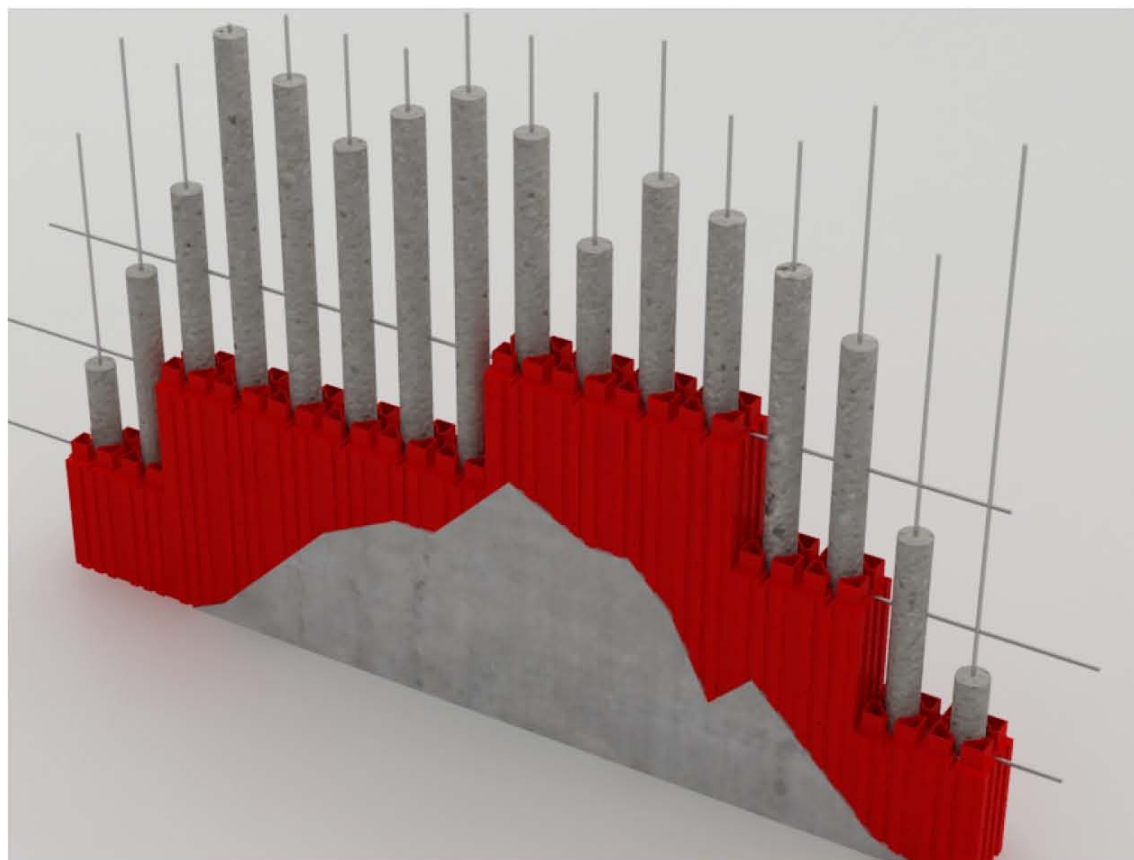


D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 354. Ensamble vertical de las piezas.

El concepto de formar un sistema constructivo integral que sea de carga, queda completado al rescatar la idea de los huecos verticales que pueden ser rellenado a manera de castillos. Estos últimos, a desición del constructor, pueden ser rellenados casi en su totalidad hasta formar un aparente muro de concreto armado, al mismo tiempo que la idea del ranurado de los bloques permita la adherencia de algún acabado. A continuación se muestra un esquema de como se pretende que funcione el sistema constructivo armado en su totalidad.

La versatilidad que nos da el plástico también puede se ve reflejada en las múltiples opciones de colores y texturas para aplicar en el prototipo.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 355. Explosión del funcionamiento del sistema constructivo con todos sus componentes.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 356. El uso del plástico nos da mucha versatilidad en el uso del color.

5.3.3 PROTOTIPOS RÁPIDOS.

Al tener la primera propuesta del prototipo definida, se tuvo que evaluar físicamente usando procesos de prototipado rápido de impresión 3d, para lo cual se tuvo la posibilidad de elegir entre 2 tecnologías: Estereolitografía o Polyjet inclinándose finalmente por el uso de la segunda por la facilidad de acceso a esta en el CCADET.



Fig 357. Impresora 3d Polyjet.

Ambos procesos, utilizan la estratificación para la construcción de un modelo de diseño. En ambos casos se utilizan resinas líquidas fotopoliméricas que se solidifican al exponerse a la luz ultravioleta. Un programa informático traduce un modelo CAD 3d en formato electrónico «STL» y organiza la información en capas.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

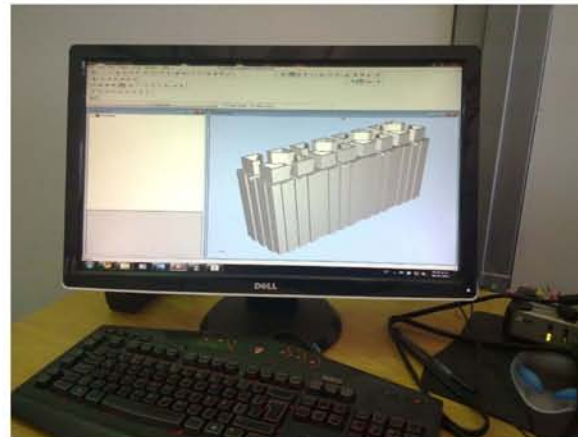


Fig 358. Software de la impresora preparando el archivo STL.

Para la tecnología Polyjet, la diferencia con la Estereolitografía radica en la manera en que la pieza es construida. El sistema se basa en la inyección de fotopolímeros líquidos mediante cabezales anchos de varias boquillas que inyectan simultáneamente el material del modelo junto con material de soporte.

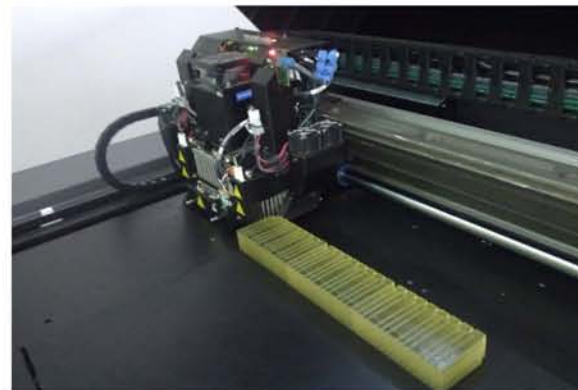


Fig 359. La tecnología Polyjet de impresión 3D trabaja por capas.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

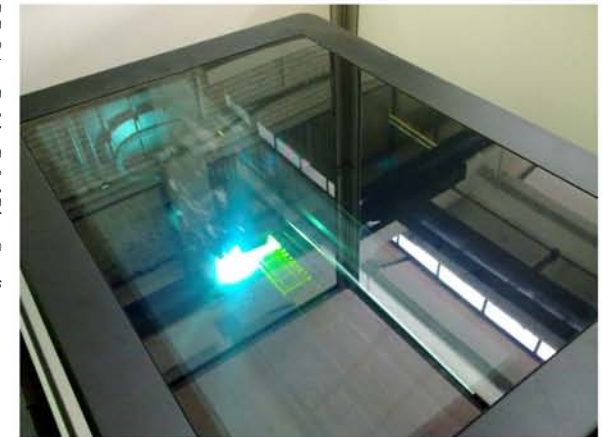


Fig 360. Cada capa inyectada es curada por una luz ultravioleta.

El sistema funciona muy similar a una impresora de inyección pero de manera tridimensional. En cada pasada de los inyectores de resina, los polímeros inyectados son curados mediante una luz ultravioleta. Este proceso se repite y una y otra vez, capa por capa hasta obtener la pieza deseada.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González



Fig 361. Piezas recién terminadas.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 362. La pieza sale con bastante material residual que sirve de soporte.

Una vez terminado el modelo, debe extraerse el material de soporte a mano o por medio de chorros de agua, logrando así, un modelo de mayor precisión.

Después de obtener el modelo físico y limpio deseado, se evaluó la pieza para hacer los ajustes y modificaciones pertinentes en el diseño digital para finalmente volverlo a imprimir, repitiendo el ciclo las veces que sean necesarias hasta tener como resultado el modelo miniatura preliminar.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 363. Con agua a presión se quita el material residual de la pieza.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 364. Pieza terminada después del proceso de limpieza

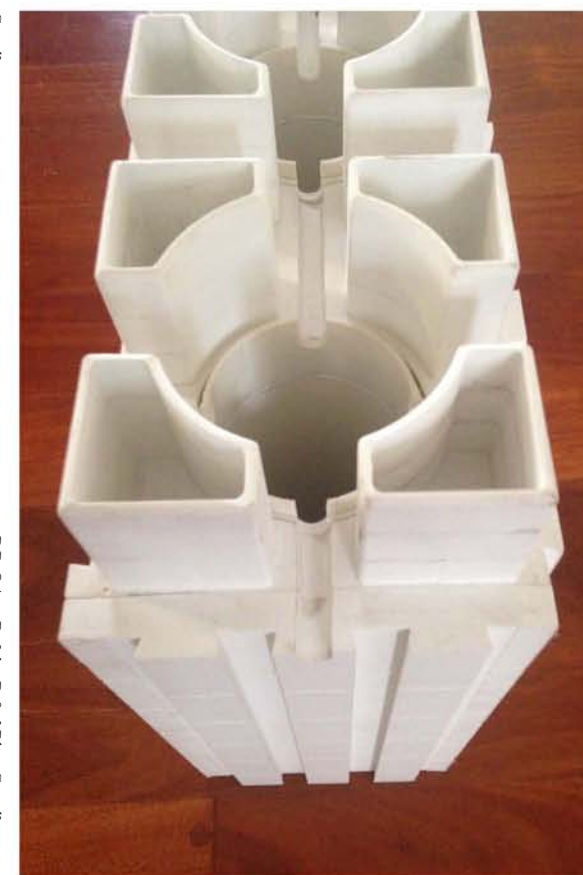
Recordemos que este modelo fue realizado a escala, por lo que al termino de los trabajos previos, fue necesario entrar a un segundo proceso de verificación y obtención de un nuevo protitipo, pero ahora a escala real, para analizar de manera objetiva cada detalle. El proceso se pudo haber repetido mediante la tecnología Polyjet, pero debido a los elevados costos de producción, se optó por realizar un trabajo más manual; se decidió manufacturarlo con el apoyo de un router numérico debido a la precisión de corte en la generación de piezas que nos puede ofrecer este procedimiento.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 365. Router numérico.

En un principio, se optaba por la utilización de la madera para fabricar este prototipo a escala real, pero debido a que la madera es un material de fácil deformación por causas naturales, finalmente se decidió por la utilización de un PVC Espumado para obtener un resultado de calidad.



D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Fig 366. Primer prototipo de diseño terminado escala 1:1.

5.3.4 ENSAYO DE MATERIALES

Paralelamente al empleo del prototipado rápido, en el Instituto de Investigación de Materiales (IIM), se deberá de trabajar la mezcla de los materiales propuestos para mezcla final con ayuda de los investigadores del sitio, para así establecer la proporción de cada uno de ellos y para lo cual se habrá de ir registrando el

procedimiento empleado para obtener la mezcla correcta, así como la manera de incluirse dicha mezcla a la hora de producir una pieza. Se deberán hacer pruebas básicas de laboratorio al material resultante para obtener datos generales sobre los cuales se podrá trabajar para pronosticar el comportamiento final del prototipo mediante cálculos.

5.3.5 PROTOTIPO FUNCIONAL

Al igual que en el tema anterior, por falta de tiempo y presupuesto, no se pudieron hacer los ensayos y experimentos correspondientes para comprobar que la mezcla de Policarbonato - Pet Reciclado - Fibras de Refuerzo de Wollastonitas - Aditivos diversos, puede ser apta para generar un nuevo material composite de altas prestaciones adecuado para utilizar en construcción.

5.3.6 EVALUACIÓN Y VERIFICACIÓN

Con el prototipo terminado, será posible aprender sobre problemas que se presentarán durante la implementación del producto y mejorarlo de allí. Este es el momento de probar la funcionalidad y viabilidad tanto del funcionalidad teórica del producto como de los materiales propuestos del cual se fabricaría. Así que se requerirá varios cambios para completamente profundizar la idea. Se repite el proceso, hasta que el prototipo ha evolucionado tanto como sea posible. Después de un largo proceso de retroalimentación de estudio de forma y función, se debe llegar a tener un prototipo final del material deseado para poder comenzar a realizar las pruebas necesarias para una posible implementación.



Fig 368. La evaluación y verificación es parte de una buena retroalimentación.

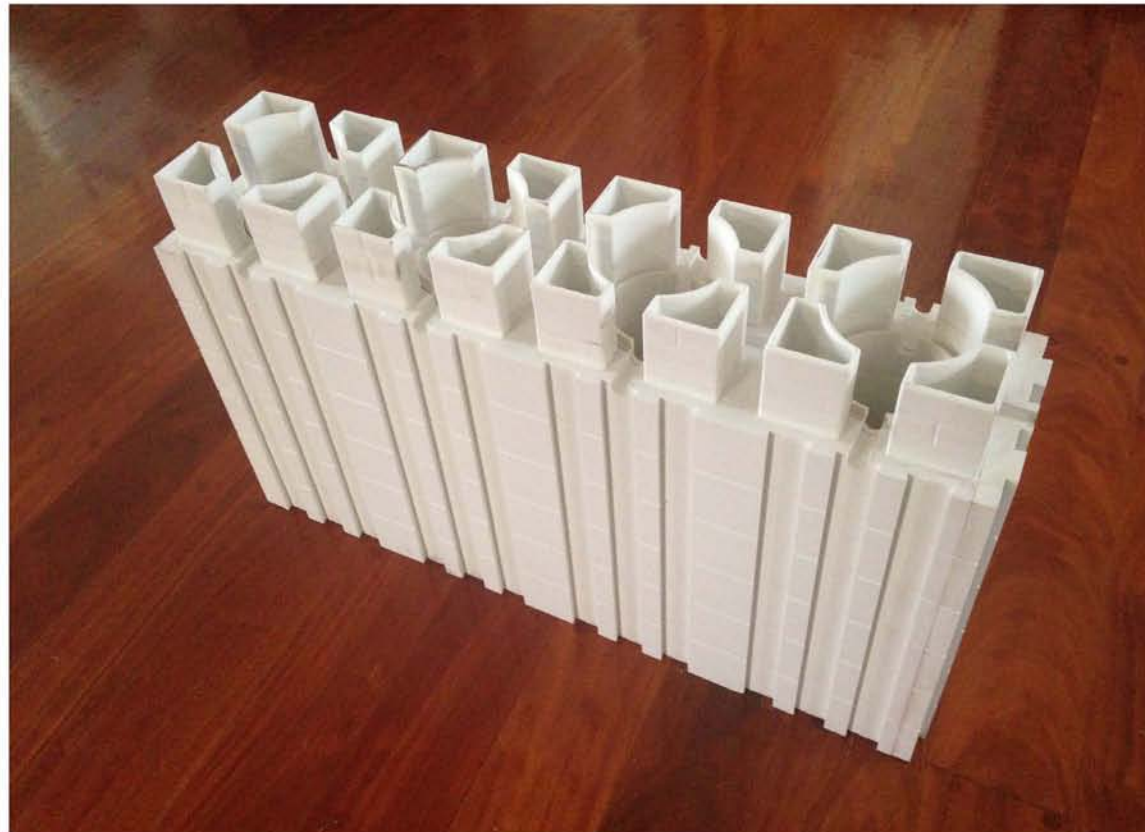
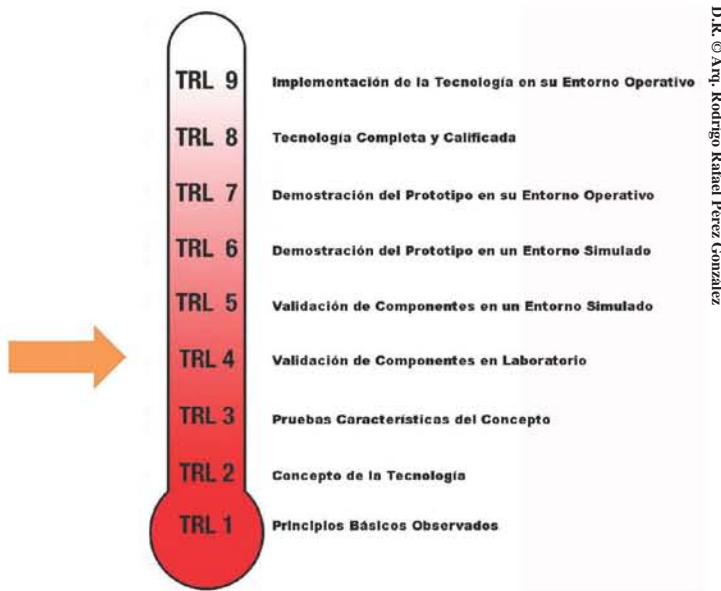


Fig 367. Vista del prototipo de diseño terminado escala 1:1.

D.R. © Arq. Rodrigo Rafael Pérez González

Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

5.4 VALIDACIÓN DE COMPONENTES EN LABORATORIO



En este nivel se generarán prototipos independientes para analizar cada uno de los componentes involucrados, así como las pruebas en laboratorio requeridas para su validación. Luego del trabajo de las pruebas conceptuales en el nivel TRL 3, los elementos básicos de la tecnología deben integrarse para establecer que las “piezas” trabajarán en conjunto para lograr el concepto que permitirá ver los niveles de rendimiento de los componentes. Esta validación debe idearse para apoyar el concepto formulado antes, y también debe ser consistente con los requisitos de las aplicaciones potenciales del sistema. Los experimentos deben hacerse a escala real para diagnosticar posibles problemas. Se deberá llevar el diseño al detalle, donde se debe verificar el modelo preliminar para finalmente poder proponer el modelo de producción o tecnología que permitirá su realización. Así mismo, se identificarán los posibles proveedores finales para la fabricación del producto.

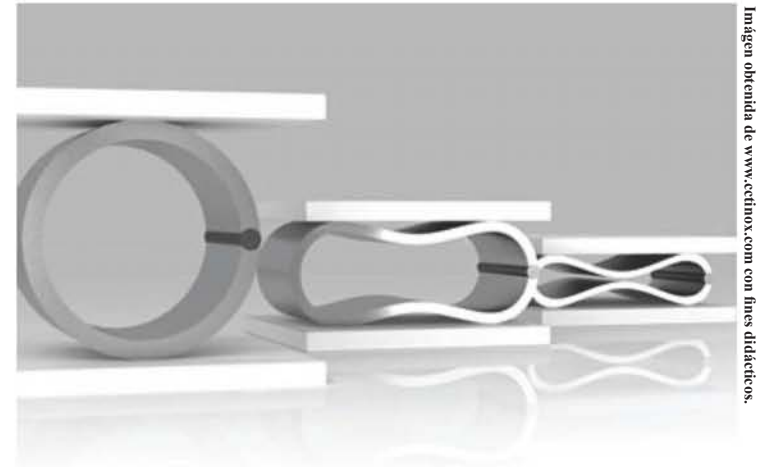


Fig 369. Se deberán hacer diversas pruebas de laboratorio para comprobar si el producto es el adecuado.



Fig 370. Se deberán identificar los proveedores posibles para realizar las alianzas comerciales pertinentes.

5.5 VALIDACIÓN DE COMPONENTES ENTORNO SIMULADO

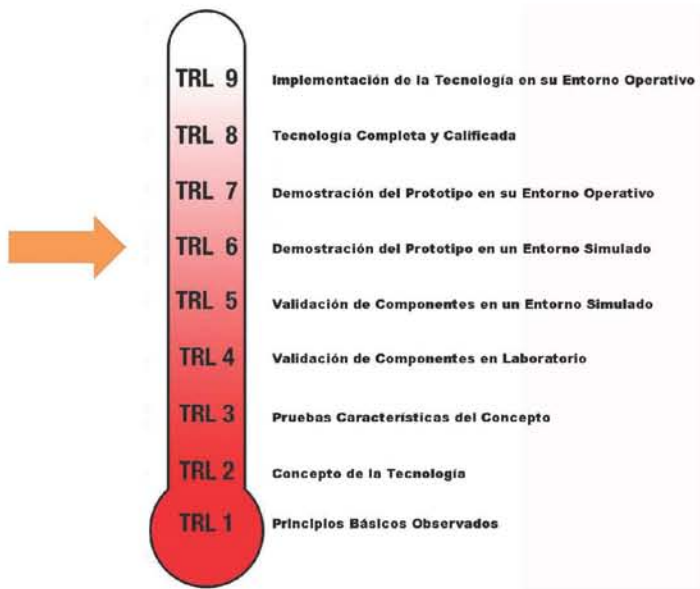


En este nivel, los componentes deben tener la mayoría de las funciones disponibles y se deben probar para incrementar de manera significativa su precisión. Los elementos tecnológicos básicos deben estar integrados con la mayoría de sus elementos finales, de modo que se puede probar el sistema en un entorno de “simulación” algo realista.



Fig 371. La validación se deberá realizar en laboratorios de pruebas en condiciones simuladas de trabajo.

5.6 DEMOSTRACIÓN DEL PROTOTIPO ENTORNO SIMULADO



D.R. © Anri- Rodrigo Rafael Pérez González

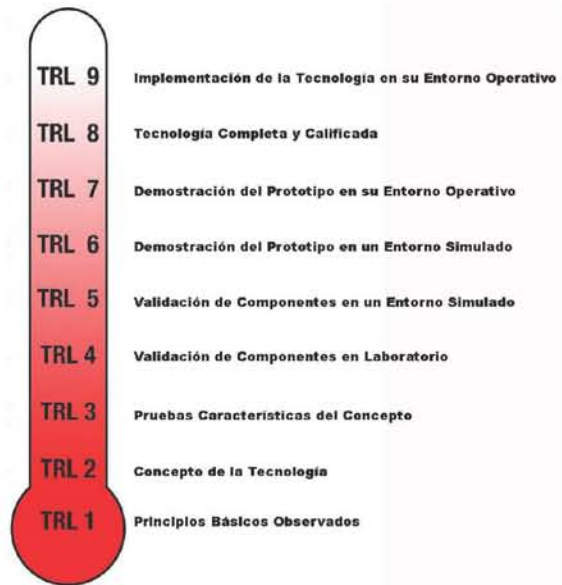
Un paso importante en la demostración de la tecnología es la culminación del TRL 5. En TRL 6 la manera que determinará el éxito o fracaso del sistema - que va mucho más allá de probar solamente componentes -, será validándolo en un entorno simulado. En este nivel, si el único “entorno simulado” es el medio ambiente, entonces el modelo debe ser demostrado a la intemperie. Por supuesto, las pruebas deben tener éxito para representar un verdadero TRL 6. De hecho, no todas las tecnologías se someten a una demostración de TRL 6, ya que este punto en el paso de la maduración se basa más en asegurar la confianza de la gestión de la I + D. La manifestación, en pocas palabras podría representar una aplicación real del sistema, o sólo podría ser similar a la aplicación prevista, eso sí, sin sustituir tecnologías. En este nivel, la mayoría de las tecnologías involucradas podrían ser integradas en la demostración.



Imagen obtenida de www.modulo.typed.com con fines didácticos.

Fig. 372. Las pruebas en esta etapa se realizarán en un entorno simulado.

5.7 DEMOSTRACIÓN DEL PROTOTIPO ENTORNO OPERATIVO



D.R. © Anri. Rodrigo Rafael Pérez González

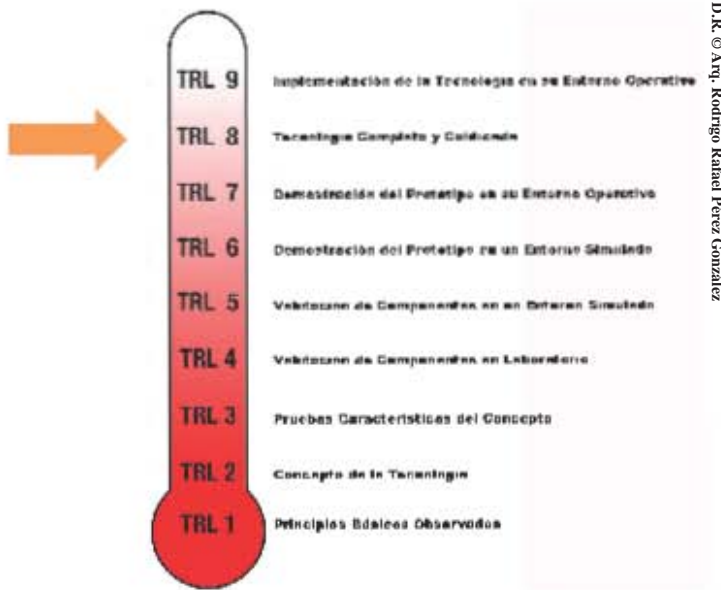
TRL 7 es un paso significativo más allá del TRL 6 que requiere que el prototipo se demuestre en su entorno operativo el cual no siempre ha sido implementado en el pasado. En este caso, el prototipo debe estar en o cerca del sistema operativo planeado y la manifestación debe tener lugar en alguna construcción. Los objetivos del nivel al lograr este nivel de madurez, son para asegurarse de la ingeniería aplicada y seguridad de la gestión del desarrollo más que para propósitos de la tecnología de I + D. Por lo tanto, la manifestación debe ser en la aplicación del prototipo. No todas las tecnologías asisten a este nivel. TRL 7 normalmente sólo se realiza en los casos en que la tecnología o la aplicación sean de riesgo relativamente alto.



Imagen obtenida de www.tecnomedia.com con fines didácticos.

Fig 373. Las pruebas en esta etapa se realizan en un entorno operativo real.

5.8 TECNOLOGÍA COMPLETA Y CALIFICADA



Por definición, todas las tecnologías que se aplican en los sistemas reales de pasan por TRL 8. En casi todos los casos, este nivel es el fin del “desarrollo del sistema” y es válido para la mayoría de los elementos de la tecnología al haberse sometido a todas las pruebas de funcionamiento en escenarios simulados y operativos. Es decir, la Verificación y Validación (V&V) se ha completado. En este nivel la mayoría de la documentación para el usuario y de mantenimiento debe completarse para que el producto se integre al mercado. En esta etapa también se puede añadir la búsqueda de propiedad intelectual del producto, generación de manuales técnicos para el usuario y obtener certificados de calidad.



Fig 374. Las certificaciones respaldarán la calidad del producto.



Fig 375. El registro de marca y patentes protegerán los derechos intelectuales del producto

5.9 IMPLEMENTACIÓN DE LA TECNOLOGÍA



D.R. © Anp. Rodrigo Rafael Pérez González

En este nivel el sistema estará completamente demostrado y probado exitosamente en su entorno operativo real. En este nivel se recomienda mantener el apoyo de supervisores en el lugar donde se implementa el sistema como retroalimentación de la tecnología. Toda la documentación relacionada con la tecnología y el usuario deberá estar completa por lo cual se recomienda realizar reportes y evaluaciones constantes del uso en campo.



Imagen obtenida de www.atuafm.com.br con fines didácticos.

Fig 376. En esta etapa es importante la documentación de la experiencia de uso mediante supervisiones físicas y canales de atención a clientes.

6 . CO

CONCLUSIONES

6.1 RESULTADOS

Como se ha mencionado y observado a lo largo de esta investigación, el proyecto estaba enfocado en resolver 2 temas principales: generar un nuevo material compuesto a partir de PET Reciclado, y al mismo tiempo, innovar en el diseño de un nuevo sistema constructivo. Se llevaron los 2 temas de la mano durante un tiempo, pero finalmente, y probablemente debido a mi perfil de diseñador por un lado y falta de apoyo en algunas instituciones para experimentar en la parte del nuevo material por otro lado, se tuvieron mas adelantos en el área correspondiente a la parte arquitectónica, es decir, la constructiva.

El producto final de esta investigación fue el diseño de un bloque modular tipo “LEGO” que servirá para la construcción de muros, los cuales podrán ser de carga o divisorios según avancen y se detallen las futuras investigaciones. Dicho prototipo, medido con el termómetro TRL, se quedó en una etapa 3 de 9 al lograr fabricar un prototipo tangible escala 1:1, aunque sin terminar de solucionar la parte química, que es la de obtención de los materiales los cuales se pronosticó se podrían usar para su producción final. En el tema 5.2, están descritas con precisión todas las características del concepto, identificación de procesos y posibles proveedores, los escenarios de uso, las especificaciones de diseño y la aportación tecnológica de este nuevo sistema constructivo.

La restricción económica fue un factor clave para no concretar la obtención de un prototipo completo con todos los componentes y características deseadas, ya que en cada paso que se logra avanzar, va aumentando el costo de experimentación de manera exponencial. Sin embargo, en cada tema desarrollado, se sugieren los lineamientos a seguir para poder retomar esta investigación.

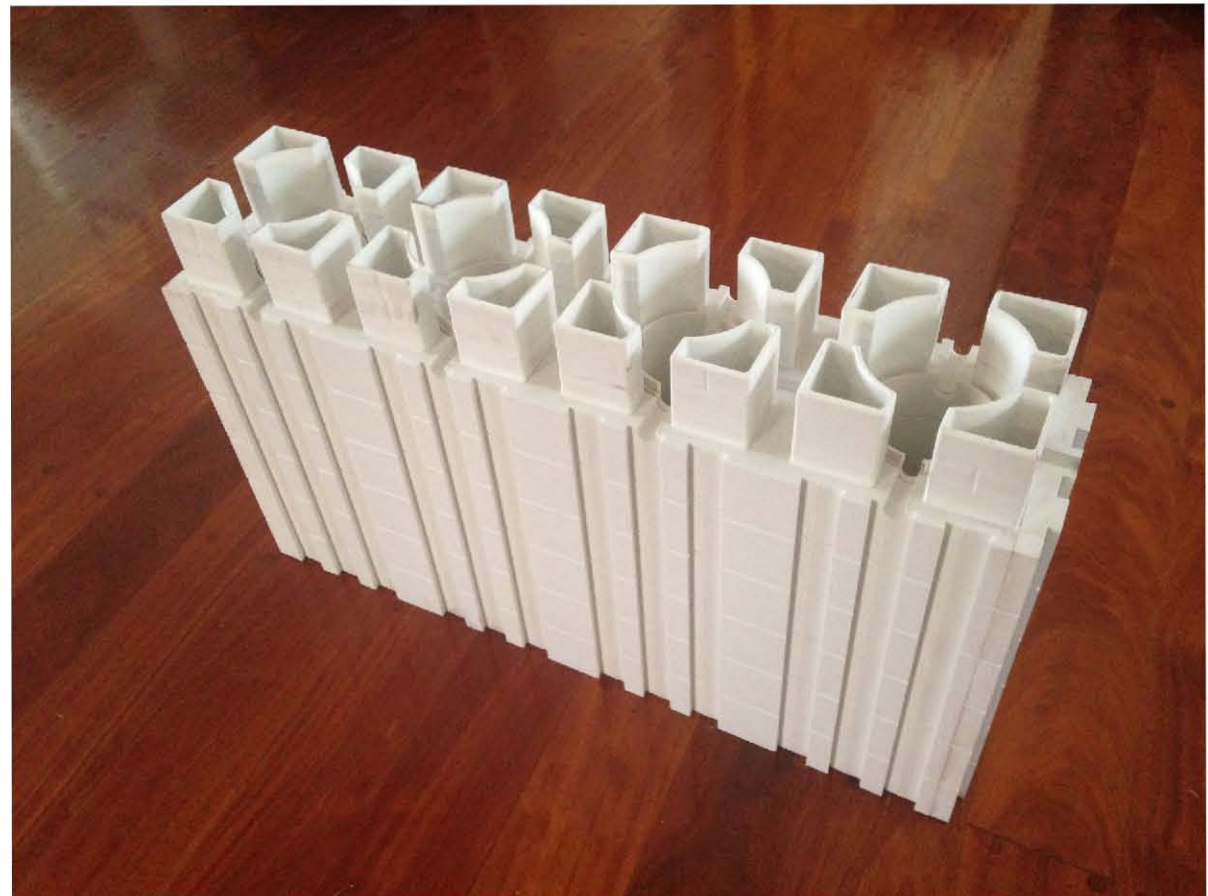


Fig 377. Vista del prototipo de diseño terminado escala 1:1.

6.2 CONFRONTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Según Tamayo (2004), existen varios tipos de investigación: la histórica, la descriptiva y la experimental, sin que una sea mejor que la otra. Esta investigación en un principio tenía tintes de ser experimental 100%, sin embargo, es prácticamente imposible que los tipos de investigación se presenten de manera aislada y pura, por lo que al final, debido probablemente a falta de recursos económicos para experimentación por un lado, y por otra tanta información a digerir, se obtuvo una investigación de tipo ecléctico.

La hipótesis de esta tesis asegura que las propiedades y costos de las construcciones realizadas con los materiales fabricados a partir de PET reciclado serán más económicas y de mejor calidad que las realizadas con materiales tradicionales.

La investigación se encuentra todavía en una etapa joven, por lo tanto, para poder comprobar como positiva o negativa la hipótesis formulada, faltan todavía muchos elementos tanto cualitativos como cuantitativos para poder someterla al proceso de verificación correspondiente. Para empezar, se necesita culminar con la investigación principal, que consiste en obtener un nuevo material y un nuevo sistema constructivo, los cuales, nos proporcionen información y puedan funcionar como variables. Finalmente, al tener estos elementos, podremos ocupar y hacer trabajar dichos datos a manera de valores operacionales.

Dentro de los datos que pudieran funcionar como futuras variables, se encuentran los que se pudieran conseguir de las pruebas de calidad del nuevo material que se propone obtener, así como el análisis del proceso de fabricación del nuevo sistema constructivo propuesto. Toda esta información nos arrojará valores que podremos interpretar y comparar más adelante con lo formulado en la hipótesis. De manera predictiva, podemos decir que es muy posible que el material compuesto a obtener pudiera

resultar más caro de fabricar que uno tradicional, es casi un hecho a simple vista. En lo que debemos trabajar para lograr hacer positiva nuestra hipótesis, es en el análisis del costo de mano de obra a la hora de construir un elemento arquitectónico, así como en el estudio del ciclo de vida y huella ambiental, los cuales pudieran jugar un papel importante a la hora de la comparativa final.

Por todos los argumentos anteriores podemos sugerir que la investigación está aún en un proceso joven y no está en una etapa madura de afirmar o rechazar la hipótesis formulada en el inicio de esta tesis..

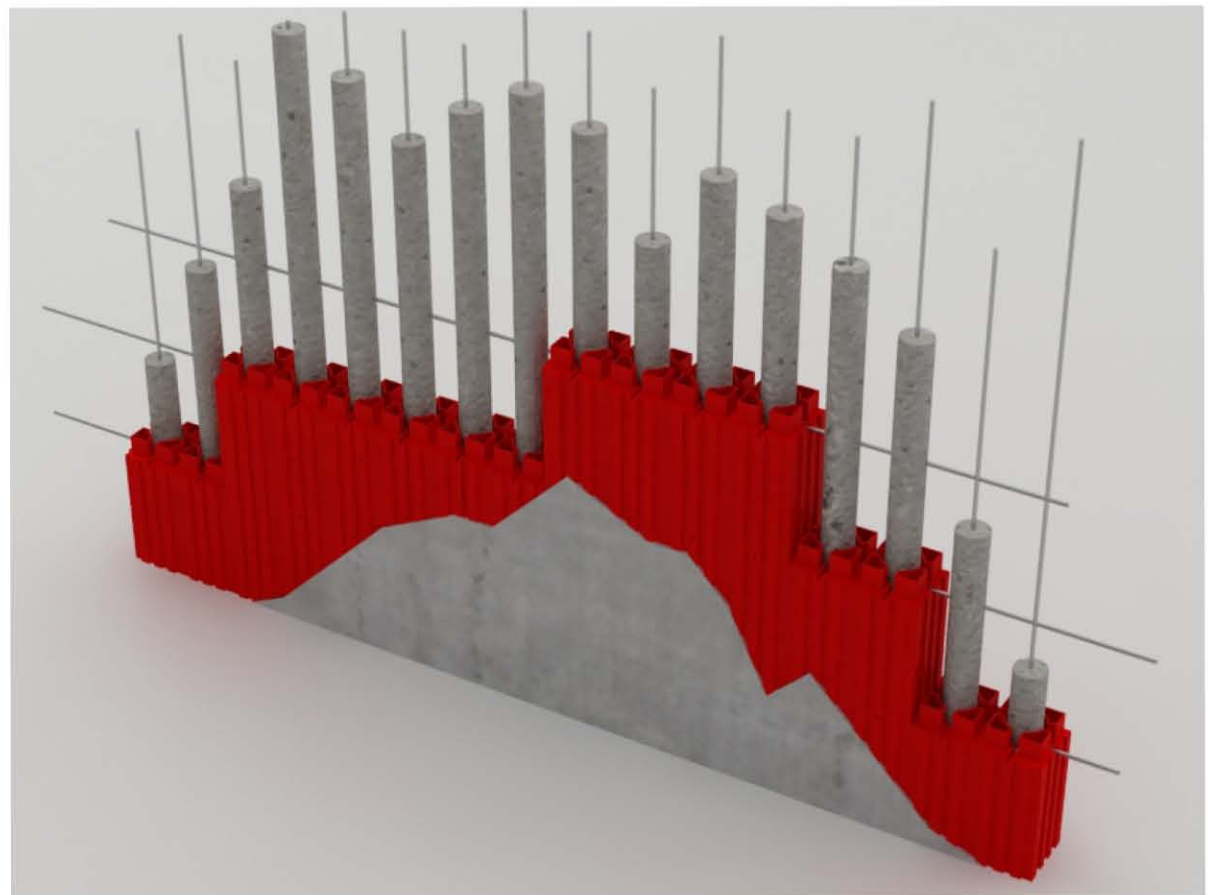


Fig. 378 Sistema constructivo a base de bloques modulares obtenidos a partir de residuos plásticos.

6.3 PROSPECTIVA

El primer paso a seguir en un futuro inmediato de esta investigación, consistiría en patentar el diseño del bloque modular obtenido en este proyecto. Esto se debe realizar como prioridad como consecuencia de un esencial y conveniente proceso en la protección de los derechos intelectuales del producto de esta tesis.

En seguida, será indispensable profundizar en la parte de diseño del prototipo, ya que se analizó siempre desde una perspectiva constructiva, pero la parte de las ingenierías, es decir, las instalaciones hidro-sanitarias, instalaciones eléctricas, refuerzos estructurales, serán temas a resolver próximamente. En resumen, se requerirá estudiar y detallar el proyecto desde un punto de vista integral, a manera de sistema constructivo, y no solo como una pieza independiente, lo cual nos ayudará en la compatibilidad con sistemas existentes ya en el mercado. Lo más seguro es que este análisis nos dirija finalmente al desarrollo de más piezas con diferentes características y funciones para complementar el sistema.

Para una segunda y no menos importante etapa de esta investigación, se precisará experimentar en laboratorios para obtener finalmente la mezcla que generará el nuevo material compuesto del cual estará fabricado el prototipo, así como las proporciones de agregados que deberá de llevar este. Se deberán iniciar la pruebas pertinentes de laboratorio para garantizar la viabilidad de su aplicación en la construcción.

Esta segunda etapa de creación de un nuevo material para la construcción, la cual puede ser traducida y desarrollada en un doctorado, tiene tal importancia que, pudiera fácilmente culminar en la obtención de nuevas patentes para la Universidad.



Imagen obtenida de www.bhoon.com con fines didácticos.

6.4 CONCLUSIONES

El reciclaje de plástico ofrece muchas ventajas, además del ahorro de materia prima para la fabricación de nuevos productos; dicha reutilización de desechos, hace posible que el esfuerzo de generar prototipos con características especiales, sea reconfortante al ser parte de una ayuda para contrarrestar el deterioro al medio ambiente.

La idea de que en una construcción sólo el concreto y el acero la hacen más duradera y resistente, ya es obsoleta en estos tiempos, pudiendo demostrar a lo largo de este estudio, que las propiedades de los plásticos pueden en ocasiones llegar a ser muy superiores a las de los materiales tradicionales.

En la actualidad, una casa habitación puede ser construida casi en su totalidad ya sea con plástico reciclado o no reciclado; desde paredes, pisos, exteriores y ventanas.

De acuerdo a lo investigado principalmente en el capítulo de Estado del Arte, técnica y tecnológicamente es posible la creación de un prototipo innovador que utilice como materia prima el PET Reciclado. Es posible, mezclarlo con otros polímeros y reforzarlo con fibras minerales para obtener características mecánicas superiores a los materiales utilizados en la construcción tradicional.

Hoy en día, también existen muchas tecnologías nuevas para el procesamiento de plásticos. Han surgido aditivos y procesos de moldeo muy innovadores que pueden trabajar muy bien con el material obtenido de los desechos, pudiendo asegurar la fabricación de una gran diversidad de productos con dicho material.

En México, como hemos visto y comprobado a lo largo de esta tesis, se ha comenzado a valorar el reciclado del plástico, ya que puede ser un gran negocio al introducirlo en la industria de la construcción, ya que genera recursos y buena imagen al generar desarrollos de productos propositivos y sustentables, además de tener la aportación de beneficiar al medio ambiente para las generaciones futuras.



Imagen obtenida de www.shutterstock.com con fines didácticos.

BIBLIOGRAFÍA

A PRÉFACIA REBÂNTIDA

LIBROS

- BERRETA, HORACIO.** Ladrillos De Plástico Reciclado. Ed. Nobuko. Argentina, 2008.
- BILLMEYER, FRED W.** Ciencia De Los Polímeros. Ed. Reverte. México, 1975.
- BUCH, TOMÁS.** El Tecnoscopio. Ed. AIQUE. Argentina 1990.
- DEFFIS CASO, ARMANDO.** La Casa Ecológica Autosuficiente: Clima Cálido Y Tropical. Ed. Árbol. México 1994.
- GARCÍA PARRA, BRENDA.** Ecodiseño. Ed. Designio. México, 2008.
- JONES MORTON.** Procesamiento De Plásticos: Inyección, Moldeo Y PVC. Ed. Limusa. México, 1993.
- MARTÍNEZ DE LAS MARÍAS, P.** Química Y Física De Los Altos Polímeros Y Materias Plásticas. Ed. Alhambra. México, 1972.
- MINK, W.** El Plástico En La Industria: Tratado Práctico. Ed. G. Gili. México, 1991.
- RODRIGUEZ, FERDINAND.** Principios De Sistemas De Polímeros. Ed. Manual Moderno. México, 1984.
- SECOFI: CONCAMIN.** Botellas De Plástico. Ed. Limusa. México 2000.
- SEYMOUR, RAYMOND BENEDICT.** Introducción a La Química De Los Polímeros. Ed. Reverte. Barcelona 1995.
- URETA BARRON, ERNESTO.** Polímeros Estructura, Propiedades y Aplicaciones. Ed. Limusa. México, 1989.
- URIBE VELASCO, MIGUEL.** Los Polímeros: Síntesis y Caracterización. Ed. Limusa. México, 1986.
- AKOVALI, GÜNERI.** Polymers in Construcción. Ed. Rapra Technology. UK, 2005
- SEMARNAT.** Informe De la Situación Del Medio Ambiente en México. Compendio De Estadísticas Ambientales. Edición 2008. México, 2008.
- VAL, ALFONSO DEL.** El Libro Del Reciclaje: Manual Para La Recuperación Y El Aprovechamiento De Las Basuras. Ed. Oasis. Barcelona, España, 1997.
- CASTELLS, XAVIER ELIAS.** Reciclaje De Residuos Industriales : Aplicación A La Fabricación De Materiales Para La Construcción. Ed. Díaz de Santos. Madrid, España, 2000.
- COLOMER MENDOZA, FRANCISCO JOSÉ.** Tratamiento Y Gestión De Residuos Sólidos. Ed. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España, 2007.
- SOCA, RICARDO.** La Fascinante Historia De Las Palabras. Ed. Asociación Cultural Arturo Nebrija. Montevideo, Uruguay, 2005.
- ASKELAND, DONALD R.** Ciencia E Ingeniería De Los Materiales. Ed. Thomson. México, 2004.
- SCHMID, STEVEN R.** Manufactura, Ingeniería Y Tecnología. Ed. Prentice Hall. México, 2002.
- IMPI.** Enciclopedia del Plástico 2000. IMPI, Instituto Mexicano del Plástico Industrial. México, 2000.
- RODRÍGUEZ SALINAS, MARCOS ARTURO; CÓRDOVA Y VAZQUEZ, ANA.** Manual De Compostaje Municipal. Tratamiento De Residuos Sólidos Urbanos. Ed. INE-SEMARNAT-GTZ. México, 2006.
- SEDESOL-INE.** Manejo Y Reciclaje De Los Residuos De Envases Y Embalajes. México, 1993.
- CALLISTER, WILLIAM D.** Materials Science And Engineering. Ed. John Wiley & Sons, Limited. Utah, 2010.
- CALLISTER, WILLIAM D.** Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales. Editorial Reverte. Barcelona, España, 2005.
- VIGIL MONTAÑO, MARÍA REYES; PASTORIZA MARTÍNEZ, ALEJANDRA.** Los Plásticos Como Materiales De Construcción. Ed. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Madrid, 2002.
- AREIZAGA, JAVIER; CORTÁZAR, M. MILAGROS; ELORZA, JOSÉ M.** Polímeros. Ed. Síntesis. España, 2002.
- RICHARDSON Y LOKENSGARD.** Industria Del Plástico: Plástico Industrial. Ed. Thomson. España, 2007.
- YURKANIS BRUICE, PAULA.** Química Orgánica. Quinta Edición. Ed. Pearson Educación. México, 2008.
- N. KERLINGER, FRED; B. LEE, HOWARD.** Investigación Del Comportamiento: Métodos De Investigación En Ciencias Sociales. Cuarta Edición. Ed. Mc Graw Hill. México, 2008.
- WALPOLE, RONALD E.; MYERS, RAYMOND H.; MYERS, SHARON L., YE, KEYING.** Probabilidad y Estadística Para Ingeniería Y Ciencias. Octava edición. Ed. Pearson Educación. México, 2007.
- TAMAYO Y TAMAYO, MARIO.** El Proceso De La Investigación Científica: Incluye Evaluación Y Administración De Proyectos De Investigación. Cuarta Edición. Ed. Limusa. México, 2004.
- BISSIO, ROBERTO; INSTITUTO DEL TERCER MUNDO.** Guía del mundo, 1999-2000: el mundo visto desde el sur. Ed. Instituto del Tercer Mundo. Uruguay, 2000.
- FIGUEROA, EMILIO.** El Comportamiento Económico del Mercado del Petróleo. Ed. Díaz de Santos. España, 2006.

TESIS

SANCHEZ ROQUE, MARTHA VIRGINIA. El propósito doble del envase de PET: ojos arquitectónicos en lo que antes se desechaba. (Maestría en Arquitectura (Tecnología)) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 1999.

SCHWANSE, ELVIRA. Plásticos reciclados para la construcción: Potenciales para el reciclaje de los desechos de plásticos bajo criterios sustentables en México. (Maestría en Arquitectura (Tecnología)) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 2007.

CÁRDENAS VÁZQUEZ, SERGIO. Los polímeros como biomateriales: desarrollo de un catéter. (Maestría en Diseño Industrial (Materiales y Procesos)) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 1991.

SOLANO BENÍTEZ, PEDRO ENRIQUE. Elementos para el diseño de productos con-materiales plásticos. (Maestría en Diseño Industrial (Productos)) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 1991.

URRIETA VEJAR, ERIC. Protea: línea de productos de plástico reciclado. (Diseñador Industrial)-UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 2005.

AGUIRRE ZABAL CASTELLOTE, GABRIELA. Compactador de envases de PET. (Licenciado en Diseño Industrial) UNAM, Facultad de Arquitectura. México, 2003.

BARRIOS CAMACHO, AARÓN. Tendencias de reciclamiento de envases PET. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México 2005.

BOLAÑOS DELGADO, JORGE. Aspectos económicos del reciclado del Polietileno Tereftalato (PET) grado botella. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 1996.

CORONA FLORES, EDMUNDO. Reciclado de PET. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 2003.

CORTES GUTIERREZ, HUMBERTO GABRIEL. Programa de recolección y reciclado de plástico. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 1993.

FERNÁNDEZ GJÓN, CÉSAR AUGUSTO. Alternativas para reciclar el PET de desecho o basura, grado botella, en un laboratorio de enseñanza experimental. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 2008.

HERNÁNDEZ CASTILLO, RUBÉN OMAR. Proceso de secado del PET, microondas vs. Calentamiento conductivo. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 2006.

MEZA PEREZ, RICARDO. Reciclado de plástico. Tecnologías de reciclado terciario. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 1996.

RIVERA MORALES, BÁRBARA. Estudio de factibilidad técnico-económica para reciclado de Polietileno Tereftalato (PET). (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 2003.

ROJAS GALICIA, FRANCISCO. Situación actual del reciclado de botellas de plástico Polietileno Tereftalato (PET) en México. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 1993.

ROMERO IBARRA, ISSIS CLAUDETTE. Nanocompuestos a base de PET y arcillas químicamente modificadas. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Química. México, 2003.

SALDAÑA MEZA, JOSÉ AURELIO. Proceso de moldeo por inyección, aplicación de polietileno y PET (Polietileno Tereftalato) como materia prima. (Ingeniero Químico) UNAM, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán. México, 2006.

MARTÍNEZ MARTÍNEZ, OSCAR. Diagnóstico y análisis para el establecimiento de una industria que recicle botellas de PET en Cuautla Morelos. (Ingeniero Industrial) UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 2002.

VERA URDAPILLETA, HELENA. Recolección de Polietileno Tereftalato (PET): una alternativa factible para beneficio económico de la FES Acatlán. (Ingeniero Civil) UNAM, Facultad de Estudios Superiores Acatlán. México, 2007.

ARCHUNDIA PEÑA, OSCAR ABELARDO. Análisis de la problemática del reciclado de PET y propuestas alternativas de solución. (Ingeniero Mecánico Electricista) UNAM, Facultad de Ingeniería. México, 1995.

MIRANDA SALGADO, JHAZMIN. Problemática de los residuos plásticos en la generación de basura en el Distrito Federal: el caso de PET. (Licenciado en Economía) UNAM, Facultad de Economía. México, 2005.

GARCIA AYALA, MARIA DE LOS DOLORES. La industria del plástico en México y su reciclaje, el caso del PET. (Licenciado en Sociología) UNAM, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales. México, 2003.

LORENZO YUSTOS, HÉCTOR. Aplicación de nuevas tecnologías en la realización de herramientas para moldes de inyección de termoplásticos. (Doctorado, Ingeniero Industrial) Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales. Madrid, 2008.

REVISTAS

CONDE, MÓNICA. "Mercado De La Industria Del Plástico 2004". Ambiente Plástico, no. 09. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2004), p. 32-47.

CONDE, MÓNICA. "Plásticos En La Construcción". Ambiente Plástico, no. 12. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2005), p. 34-44.

RIVERA, GERARDO. "Wollastonita". Ambiente Plástico, no. 20. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007), p. 70-71.

CHAO ENRIQUE. "El Juego De La Botella". Ambiente Plástico, no. 20. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007), p. 106-109.

MÁRQUEZ, LORENA; CONDE, MONICA. "Reciclaje: Los Plásticos Giran Hacia La Sustentabilidad". Ambiente Plástico, no. 21. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2007), p. 42-60.

PRIETO, ALLARI. "Las Wollastonitas Ultrafinas Aterrizan En México". Ambiente Plástico, no. 28. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2008), p. 28.

PRIETO, ALLARI. "La Degradación Que A Todos Agradan". Ambiente Plástico, no. 28. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2008), p. 46-50.

DE SALAZAR, MÓNICA. "Bioplásticos, La Verdad De Lo Verde". Ambiente Plástico, no. 33. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2009), p. 42-62.

CONDE, MÓNICA. "Para Cumplir Cualquier Deseo En La Industria Del Plástico: Hay Un Genio Compuesto". Ambiente Plástico, no. 35. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2009), p. 46-68.

BASF. "Las Mezclas Perfectas De BASF". Ambiente Plástico, no. 40. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2010), p. 54-55.

GUERRERO, GEORGINA. "La Evolución Del Material Para Prototipos Rápidos: Ideas Sólidas". Ambiente Plástico, no. 47. IMPI. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. (2011), p. 22-25.

PAGINAS WEB RECOMENDADAS

SEMARNAT. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS

NATURALES. www.semarnat.gob.mx/temas/estadisticas-ambientales (Consultada en Junio de 2015)

SEDEMA. SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE. www.sedema.df.gob.mx/educacionambiental/ (Consultada en Junio de 2015)

INE. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO. www.inecc.gob.mx/publicaciones/ (Consultada en Junio de 2015)

INEGI. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/estadistica/ (Consultada en Junio de 2015)

ANIQ. SOCIEDAD NACIONAL DE LA INDUSTRIA QUÍMICA. www.webpublico.aniq.org.mx/ (Consultada en Junio de 2015)

IMPI. INSTITUTO MEXICANO DEL PLÁSTICO INDUSTRIAL. CENTRO EMPRESARIAL DEL PLÁSTICO. www.plastico.com.mx/ (Consultada en Junio de 2015)

ANIPAC. ASOCIACIÓN NACIONAL DE INDUSTRIAS DEL PLÁSTICO. www.anipac.com/ (Consultada en Junio de 2015)

CANACERO. CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DEL HIERRO Y DEL ACERO. www.canacero.org.mx/ (Consultada en Junio de 2015)

BIBLIOTECA CENTRAL UNAM. <http://bc.unam.mx/> (Consultada en Junio de 2015)