

COLEGIO DE ESTUDIOS CIENTÍFICOS Y TECNOLÓGICOS
DEL ESTADO DE PUEBLA



"PROCESO DE ROTOMOLDEO"

T E S I N A

Que para obtener el título de Técnico en Transformación de
plásticos.

P R E S E N T A N

Cirne Huitzil Ismael Isaí.

Tlachi Cuamani Juan David.

Toxqui Pajarito Sebastian.

Varillas Daniel Anyelo.

Zarate López Jaqueline Andrea.

A S E S O R

MC. Alejandro González García.

México, Puebla. Julio del 2023.

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS

Dedico este escrito a mis padres; Juan Manuel Cirne y Mercedes Huitzil, por todo el apoyo brindado, por siempre estar a mi lado apoyándome y dándome lo mejor para siempre sobresalir. Les agradezco de todo corazón por todo lo que me han brindado y siempre enseñarme a echarle ganas y nunca rendirme

-Cirne Huitzil Ismael Isaí.

Queridos maestros; me dirijo a ustedes hoy para expresar mi profunda gratitud por todo lo que han hecho para enseñar la carrera de Transformación de plásticos. Su dedicación y pasión por la enseñanza han sido una fuente constante de admiración para todos nosotros; sus estudiantes.

Gracias a su compromiso y experiencia, hemos adquirido un conocimiento valioso y habilidades prácticas que nos han preparado para enfrentar los desafíos de la industria de los plásticos. Además, su guía y apoyo han sido fundamentales para ayudarnos a descubrir nuestros propios talentos y habilidades, desarrollándolos al máximo.

En el nombre de todos los estudiantes, quiero expresar mi más grande agradecimiento por su dedicación, paciencia y compromiso.

-Tlachi Cuamani Juan David.

Gracias a mis padres; Sebastian Toxqui Ortega y María Adela Pajarito Toxqui, por haberme educado estrictamente, porque gracias a eso me enseñaron a ser responsable en muchos ámbitos. Muchos de mis logros se los debo a ustedes y uno de ellos es este, porque al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos.

Gracias, madre y padre.

-Toxqui Pajarito Sebastián.

Le agradezco a el maestro Alejandro González García, ya que él fue una de las piezas claves para llegar hasta aquí, le agradezco las veces que me regañó y también agradezco la manera en la que nos explica cada uno de los temas vistos en estos últimos tres años.

Espero y no cambie y siga inspirado a más alumnos a salir adelante. También agradezco a la maestra Yazmín Toríz Romero, porque su disciplina es muy buena para el aprendizaje de cada uno de nosotros.

Y sin duda alguna agradezco a los directivos por tener maestros como ellos.

Gracias por estos tres maravillosos años.

-Varillas Daniel Anyelo.

Más que nada agradezco a mi pareja; Eduardo Cuacuas, ya que me apoyo mucho y me ayudó a terminar mi bachillerato, me apoyo en los malos momentos y estuvo conmigo cuando más lo necesitaba. Agradezco a esta persona que me apoyo a pesar todo, más allá de sólo ser novios, por eso esto es para él. Estoy muy agradecida por tener a una persona así y me alegro de tenerlo a mi lado.

-Zarate López Jaqueline Andrea.

En nombre de todos los integrantes del equipo, le dedicamos este trabajo de investigación a la Coordinadora académica del plantel; la maestra María del Rocío Hernández García y a todos los profesores de Transformación de plásticos que nos ayudaron a lo largo de nuestra formación académica.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo diseñar y presentar un prototipo experimental de una maquina rotomoldeadora como un proceso alternativo a la transformación de compuestos poliméricos, enfocados en la industria del plástico. Con la limitante temporal de no más de tres semanas, las y los autores se dieron a la tarea de revisar y consultar la bibliografía pertinente para la elaboración del prototipo, la elaboración de un molde que se ajuste al prototipo y la obtención de una pieza final con buenas propiedades mecánicas y superficiales. Para ello, basados en el fundamento teórico del rotomoldeo, tomando en cuenta el resumen presupuestal del proyecto y considerando el aprovechamiento del prototipo como complemento de las competencias profesionales a desarrollar a lo largo de la carrera de Transformación de plásticos, el equipo optó por elaborar una pieza con resina de poliéster (cuya respectiva ficha técnica se encuentra al final de este escrito) ya que su polimerización no requiere de calor como catalizador, de ese modo se evitará el uso de un horno como equipo periférico que pudiera involucrar la integridad de las y los alumnos de futuras generaciones que tengan la oportunidad de enriquecer sus habilidades prácticas en cuanto al uso del Rotomoldeo como técnica de transformación de plásticos.

Pese a no alcanzar las expectativas que se tenían del proyecto y no poder aseverar del todo la hipótesis planteada en un inicio, por cuestiones relacionadas al presupuesto invertido y a la disposición temporal, las y los autores sugieren la continuidad del proyecto incluso como un proyecto de innovación en cuanto al desarrollo de una pieza rotomoldeada con refuerzos de fibra de vidrio, de carbono e incluso con fibras naturales, que más allá de ser consideradas cargas, se ha demostrado que mejoran en un rango del 5% al 20% sus propiedades mecánicas. El camino por recorrer aún es extenso y de carácter experimental, sin embargo, se espera que se tome de referencia el alcance al que llegó este proyecto como un precedente para continuar innovando en la industria del plástico y que de a poco, en conjunto, se pueda disolver el tabú de que los plásticos son los culpables de la contaminación actual, pues no son los plásticos per se los que han contribuido al avance de la contaminación, sino lo que hacemos con ellos después de que han cumplido un ciclo de “vida útil”.

PALABRAS CLAVE

Moldeo rotacional, propiedades físicas mecánicas, propiedades químicas, polímero, nanocompuestos, termofijos, termoplásticos, amorfos, cristalinos, sinterización, cristalización, moldes, refuerzo de fibra de vidrio y fibras naturales.

ABSTRACT

The objective of this research work is to design and present an experimental prototype of a rotational molding machine as an alternative process to the transformation of polymeric compounds, focused on the plastics industry. With the time limit of no more than three weeks, the authors undertook the task of reviewing and consulting the relevant bibliography for the development of the prototype, the development of a mold that fits the prototype and obtaining a final piece. with good mechanical and surface properties. To do this, based on the theoretical foundation of rotational molding, taking into account the budget summary of the project and considering the use of the prototype as a complement to the professional skills to be developed throughout the Plastics Transformation career, the team opted to develop a piece with polyester resin (whose respective technical sheet is at the end of this writing) since its polymerization does not require heat as a catalyst, thus avoiding the use of an oven as peripheral equipment that could involve the integrity of the and the students of future generations who have the opportunity to enrich their practical skills regarding the use of Rotomolding as a plastic transformation technique.

Despite not reaching the expectations that were held for the project and not being able to fully assert the hypothesis raised at the beginning, due to issues related to the invested budget and the temporary disposition, the authors suggest the continuity of the project even as an innovation project. Regarding the development of a rotomolded part with fiberglass, carbon and even natural fiber reinforcements, which, beyond being considered loads, have been shown to improve their mechanical properties in a range of 5% to 20%. The road ahead is still long and experimental, however, it is expected that the scope reached by this project will be taken as a reference to continue innovating in the plastics industry and that little by little, as a whole, can dissolve the taboo that plastics are to blame for current pollution, since it is not plastics per se that have contributed to the spread of pollution, but what we do with them after they have completed a "useful life" cycle ”.

KEYWORDS

Rotational molding, mechanical physical properties, chemical properties, polymer, nanocomposites, thermosets, thermoplastics, amorphous, crystalline, sintering, crystallization, molds, fiberglass reinforcement and natural fibers.

LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS

ARMO: (Affiliation of Rotational Moulding Organizations) Afiliación de Organizaciones de Moldeo Rotacional.

ASTM: (American Society for Testing and Materials) Sociedad Estadounidense para Pruebas y Materiales.

BPM: Buenas Prácticas de Manufactura.

CFRP: Polímero Reforzado con Fibra de Carbono.

CNT: Nanotubos de Carbono.

DOF: Diario Oficial de la Federación.

EMS: (Energy Management System) Sistemas de Energía y mantenimiento.

HDPE: (High Density Polyethylene) Polietileno de Alta Densidad.

HNT: Nanotubos de Halloysita.

ISO: (International Organization for Standardization) Organización Internacional de Normalización.

LDPE: (Low-Density Polyethylene) Polietileno de Baja Densidad.

LLDPE: Linear Low-Density Polyethylene) Polietileno Lineal de Baja Densidad.

NOM: Norma Oficial Mexicana.

PE: Polietileno.

PMMA: Polimetacrilato de Metilo.

PROG: Programación.

PVC: Policloruro de Vinilo.

RFV: Refuerzo de fibra de vidrio.

RM: Moldeo rotacional.

RPM: Revoluciones por minuto.

SGA: Sistemas de Gestión Ambiental.

SST: Seguridad y Salud en el Trabajo.

STPS: Secretaria del Trabajo y Previsión Social.

TF: Termofijo.

TM: Termoplástico.

TRAP: Transformación de Plásticos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	1
PALABRAS CLAVE	1
ABSTRACT	2
KEYWORDS	2
LISTADO DE SIGLAS Y ABREVIATURAS	3
1 CAPÍTULO PRIMERO	6
1.1 INTRODUCCIÓN	6
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.3 HIPÓTESIS	9
1.4 OBJETIVOS	9
1.4.1 General:	9
1.4.2 Específicos:	9
2 CAPÍTULO SEGUNDO: ANTECEDENTES.....	10
2.1 HISTORIA DEL ROTOMOLDEO	10
2.2 ROTOMOLDEO INTERNACIONAL	10
2.3 ROTOMOLDEO NACIONAL.....	11
3 CAPÍTULO TERCERO: MARCO TEÓRICO	12
3.1 PROCESO DE ROTOMOLDEO	12
3.2 PARÁMETROS Y VARIABLES DEL PROCESO	12
3.3 MATERIA PRIMA	12
3.4 MAQUINARIA Y TIPOS DE ROTOMOLDEO	13
3.4.1 Tipo Rock and Roll:	13
3.4.2 Tipo claimshell o concha:	13
3.4.3 Rotomoldeo de carga única:.....	13
3.4.4 Rotomoldeo de carga múltiple (Carrousel Rotational Molding):	13
3.5 MOLDES Y MATERIALES DE MOLDES.....	13
3.6 EQUIPOS PERIFÉRICOS.....	14
3.6.1 MOLINO/ PULVERIZADOR.....	14
3.6.2 HORNO	14
3.7 NORMATIVA Y CONTROL DE CALIDAD	15
3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO	18

3.8.1	VENTAJAS:.....	18
3.8.2	DESVENTAJAS:	19
3.9	APLICACIONES Y PRODUCTOS	20
3.9.1	ALMACENAMIENTO	20
4	CAPÍTULO CUARTO: MARCO METODOLÓGICO	22
4.1	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	22
4.2	DISEÑO DEL PROTOTIPO.....	23
4.3	DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO.....	24
4.4	ELABORACIÓN DEL MOLDE	25
	CAPÍTULO QUINTO: DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....	25
	CONCLUSIONES	29
	REFERENCIAS.....	29
	ANEXOS	32

1 **CAPÍTULO PRIMERO**

1.1 **INTRODUCCIÓN**

En ingeniería, el moldeo rotacional (RM) o coloquialmente denominado *Rotomoldeo* dentro del sector industrial, es una técnica de transformación de plásticos que ha ganado popularidad en las últimas décadas en cuanto a la producción de piezas huecas con propiedades que no proporcionan otros procesos de transformación de plásticos.

El moldeo rotacional consiste en la formación de una o varias piezas huecas mediante el movimiento rotatorio de dos ejes perpendiculares entre sí (primarios y secundarios) de un determinado material polimérico dentro de un molde cerrado, dependiendo de las consideraciones del producto final, el ángulo de rotación será considerado un parámetro variable, al igual que el tiempo y velocidad de rotación (rpm), temperatura de la materia prima y del molde en las distintas etapas del proceso y aquellas adicionales que dependerán del tipo de rotomoldeo, material del molde y uso de equipos periféricos.

Dicha técnica se caracteriza por la obtención de piezas sin costuras, juntas o líneas de unión, que, al ser considerados defectos de fábrica, requerirán un procesamiento adicional, implicando así una menor inversión presupuestal. Además, su bajo módulo de cizallamiento hace posible la elaboración en masa de piezas cuyas dimensiones se mantengan lo más estable posible, ergo, garantizando una mejor calidad y logrando una notable reducción en las pérdidas o desperdicios asociados al proceso.

En la actualidad, el desarrollo de nuevas formulaciones basadas en diversos polímeros y cargas para el moldeo rotacional se está llevando a cabo a un ritmo acelerado, pues el RM ofrece una amplia gama de aplicaciones en distintos sectores, cuyos productos requieren propiedades específicas a su finalidad. Es por esto que se han propuesto composiciones de polietileno lineal de baja densidad como matriz polimérica con agregados porcentuales de nanoarcilla (Mahsa et al., 2021); harina de cuarzo (Głogowska et al., 2022); nanotubos de carbono (V et al., 2020), fibra de vidrio o polvo (Ghanem et al., 2022), entre otros. Esto debido a la formación de múltiples capas propias de esta técnica, dado que es bien sabido que no se pueden encontrar todas y cada una de las propiedades deseadas en un mismo material, aprovechando así una de las cuantiosas ventajas que ofrece el RM.

1.2 JUSTIFICACIÓN

1.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Cuando un estudiante culmina sus estudios secundarios y decide cursar sus estudios de nivel Media Superior en el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Puebla (CECyTE), Plantel Cholula, ubicado en la comunidad de Santa Bárbara Almoloya, debe optar por elegir una de las carreras técnicas que oferta este sistema educativo, ya sea Programación (PROG) o Transformación de Plásticos (TRAP), siendo esta última la carrera técnica que la y los autores cursaron a lo largo de su estadía en CECyTE.

La carrera de Técnico en transformación de plásticos ofrece las competencias profesionales que permiten al estudiante realizar actividades dirigidas a la transformación de estos materiales, utilizando materia prima, aditivos, equipos y herramientas necesarios para el desarrollo y manufactura de productos plásticos, respondiendo a las necesidades de la sociedad actual que exige artículos de alta calidad, mediante el uso de materiales vanguardistas, todo esto bajo la reglamentación, estándares, normas y especificaciones que reclama el sector industrial del plástico.

Todas estas competencias posibilitan al egresado su incorporación al mundo laboral o desarrollar procesos productivos independientes, de acuerdo con sus intereses profesionales y necesidades de su entorno social.

Asimismo, contribuyen a desarrollar competencias genéricas que les permitan comprender el mundo e influir en él, les capacita para aprender de forma autónoma a lo largo de la vida, desarrollar relaciones armónicas, participar en los ámbitos social, profesional y político.

Permite al técnico incorporarse al ámbito laboral en diversos sitios de inserción como: fabricación de partes para la industria automotriz, electrónica, médica, construcción, agrícola, comunicaciones, cosmética, petroquímica, alimentos procesados, industria del juguete, electrodomésticos y muebles, entre otras. (CECyTE Plantel Cholula, 2023)

Según el plan de estudios del plantel y la formación que ofrece la carrera de Técnico en Transformación de Plásticos a través de la articulación de saberes de diversos campos, el perfil del egresado se compone de:

- Competencias profesionales.
- Competencias genéricas.
- Competencias disciplinares.
- Competencias de productividad.

Sin restar importancia a las demás competencias, se le dará un mayor enfoque a las de carácter profesional. Como se puede observar en la figura 1 y según el acuerdo número 653 por el que se establece el Plan de Estudios del Bachillerato Tecnológico en su artículo cuarto cuya estructura curricular está constituida por cinco módulos a lo largo de seis semestres a excepción del primero, cada módulo se subdivide a su vez en dos o tres submódulos según corresponda.

Las competencias profesionales generales son:

- Prepara compuestos para la transformación de plásticos.
- Fabrica productos plásticos por el proceso de extrusión.
- Moldea plásticos por el proceso de inyección.
- Moldea plásticos por otros procesos de transformación.
- Prepara moldes y dados para los procesos de transformación de plásticos.

Y las competencias profesionales de acuerdo con el módulo V, Submódulo I y II, son:

1. Desmonta moldes y dados de máquina.
2. Limpia moldes y dados.
3. Verifica condiciones de moldes y dados.
4. Acondiciona moldes y dados.
5. Monta moldes y dados.



Figura 1: Mapa de competencias profesionales de la carrera de Técnico en Transformación de plásticos

El proyecto surge como una propuesta de complementación de las competencias profesionales a desarrollar, en concreto la número cuatro que estipula que los egresados deberán moldear plásticos por otros procesos de transformación, siendo en este caso el proceso de Rotomoldeo, ya que el plantel no cuenta con la maquinaria necesaria para que futuras generaciones amplíen sus conocimientos tanto teóricos como prácticos. Asimismo, diversos estudios han demostrado que el uso de una matriz polimérica para la elaboración de un producto rotomoldeado, per se, no le confiere las propiedades necesarias de acuerdo con su finalidad, es por esto por lo que el proyecto busca demostrar que la adición de refuerzos de fibra de vidrio mejorará las propiedades mecánicas del producto final.

Además, el proyecto busca sustituir el uso de materia prima polimérica que requiera el uso de un equipo periférico como método de calentamiento, por aquella en donde no es necesario aplicar calor para que ocurra la polimerización, ya que el prototipo no cuenta con un sistema de calentamiento propio y el uso de flama abierta se considera de carácter riesgoso. De este modo, se asegurará la integridad física de las y los estudiantes.

1.3 HIPÓTESIS

El desarrollo de un prototipo experimental de una máquina rotomoldeadora por parte de un grupo de alumnos de la carrera de Transformación de plásticos (generación 2020-2023) que pasará a formar parte de la maquinaria dentro del taller de TRAP de las instalaciones del plantel CECyTE Cholula, tendrá un impacto positivo en cuanto al desarrollo cognitivo de competencias profesionales de futuras generaciones, así mismo, se propone como un complemento dentro del plan de estudios del plantel en cuanto a la realización de prácticas de taller se refiere.

Se cree que la obtención de un producto termofijo rotomoldeado que a su vez es reforzado con fibra de vidrio mejorará las propiedades mecánicas del mismo, incrementando así su vida útil.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 General:

Diseñar y presentar un prototipo experimental de una máquina rotomoldeadora como un proceso alternativo a la transformación de compuestos poliméricos, enfocados en la industria del plástico.

1.4.2 Específicos:

Diseñar la maquinaria propuesta conforme a las dimensiones establecidas.

Elegir los materiales de la maquinaria de acuerdo con el resumen presupuestal del proyecto.

Seleccionar la geometría, dimensiones y materiales del molde de acuerdo con el resumen presupuestal del proyecto.

Obtener una pieza termofija por el proceso de rotomoldeo.

Obtener una pieza termofija reforzada con fibra de vidrio por el proceso de rotomoldeo.

Demostrar los fundamentos del rotomoldeo mediante la exposición del prototipo.

Fomentar el latente enfoque pedagógico del prototipo como material didáctico para la enseñanza del proceso a futuras generaciones.

2 CAPÍTULO SEGUNDO: ANTECEDENTES

2.1 HISTORIA DEL ROTOMOLDEO

EL rotomoldeo como técnica de transformación de plásticos es protagonista de una serie de procesos y acontecimientos que lo han convertido en lo que hoy en día es; una eficiente y moderna forma de moldeo. Pero, como muchos inventos e innovaciones a lo largo de la historia, surgió en y por un contexto bélico; para satisfacer las crecientes demandas de material militar en cuanto a cascos de proyectiles de artillería, armas, municiones y otros instrumentos, con el primer proceso de moldeo por rotación patentado por el inglés R. Peters.

Apenas una década más tarde, este sistema pensado en la producción de piezas para la industria militar sería mejorado por T. J. Lovegrove, quien lleva la nacionalidad del país que tenía que seguir al Imperio Británico en la industria de guerra, como su historia siempre lo ha reflejado: Estados Unidos.

No fue sino hasta 1905 que el rotomoldeo comenzó a ser empleado con fines no bélicos; pues la industria estaba lista para expandir sus horizontes más allá de la producción de material de confrontación, cuando F. A. Voeke usó el moldeo para obtener piezas de cera, 5 años después, ya se usaba para fabricar huevos de chocolate; para en 1920 generar productos de yeso. Esta nueva producción fue importante porque le daba un nuevo sentido al rotomoldeo y lo estableció como un precedente para las expectativas de la continua y próxima evolución.

En 1932, W. Kay fabricó por primera vez algo que no tenía una forma constante: balones de caucho; y para 1946 se creó el *Plastisol* (conocido como PVC líquido), el cual fue la materia prima por excelencia de este proceso hasta la introducción del Polietileno de Alta Densidad (HDPE), que era mejor.

Una transición que no puede ser pasada por alto en la industria, es la paulatina sustitución de las velas en la iluminación desde hacía ya varias décadas; por eso fue en 1964 que el rotomoldeo produjo luminarias transparentes a base de policarbonato, para innovar con polietileno entrecruzado en las industrias del transporte, hasta que en 1980 llegó el Polietileno Lineal de Baja Densidad (LDLPE).

Hasta aquí llega la fase de mejoras básicas de materiales, puesto que lo siguiente en la historia es la innovación a través de la implementación de catalizadores de metalocenos, permitiendo obtener distintos polímeros, incorporar nanotecnología en el uso de nanocompuestos, mejorar la técnica de rotomoldeo y con ello los productos que se pueden obtener.

2.2 ROTOMOLDEO INTERNACIONAL

El rotomoldeo es una técnica de fabricación ampliamente utilizada en diferentes partes del mundo; En América (Estados Unidos, Canadá y México), en Europa (Italia, Alemania, Francia, España) y Asia (China, India, Japón), el rotomoldeo es una industria establecida y en crecimiento. Esta técnica se aplica en una variedad de sectores y se destaca por su capacidad para producir piezas de gran tamaño y con diseños complejos. La industria del rotomoldeo sigue evolucionando con el tiempo, incorporando nuevas tecnologías y materiales para satisfacer las demandas del mercado global.

2.3 ROTOMOLDEO NACIONAL

El rotomoldeo es una técnica de fabricación ampliamente utilizada en México, tanto en la industria manufacturera como en la producción de productos plásticos. El país cuenta con una sólida industria del rotomoldeo, con numerosas empresas especializadas en esta técnica.

En México, el rotomoldeo se aplica en una amplia variedad de sectores, como el automotriz, el agrícola, el de construcción, el de mobiliario, el de juguetes, entre otros. Se utilizan diversos tipos de polímeros termoplásticos en el proceso, como el polietileno de alta densidad (HDPE), el polietileno lineal de baja densidad (LLDPE) y el polietileno de baja densidad (LDPE), debido a su disponibilidad, versatilidad y buenas propiedades físicas.

El rotomoldeo en México ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años, gracias a su capacidad para producir piezas de gran tamaño, su flexibilidad en el diseño y su bajo costo de herramientas en comparación con otros procesos de fabricación. Esto ha llevado a un aumento en la demanda de productos rotomoldeados en el mercado mexicano y en la exportación hacia otros países.

El sector del rotomoldeo en México también se ha caracterizado por su capacidad de innovación y adaptación a las necesidades del mercado. Las empresas mexicanas han desarrollado soluciones creativas y personalizadas para diferentes aplicaciones, incorporando tecnologías avanzadas y mejorando continuamente los procesos de producción.

La ARMO (Afiliación de Organizaciones de Moldeo Rotacional) es una organización que representa y promueve los intereses de la industria del rotomoldeo a nivel global. Fue fundada en 2003 y se ha convertido en un punto de referencia para los fabricantes, proveedores y profesionales involucrados en el proceso de rotomoldeo.

La ARMO cuenta con una amplia membresía que incluye empresas de diferentes sectores relacionados con el rotomoldeo.

Entre las empresas afiliadas a la ARMO que se ubican en territorio mexicano se encuentran fabricantes reconocidos en el sector, proveedores de maquinaria y equipos especializados, así como proveedores de resinas y aditivos. Algunas de las empresas afiliadas son:

- Rotoplas: Es una de las empresas líderes en México en la fabricación de productos rotomoldeados, especialmente en el sector de soluciones de almacenamiento de agua.
- Resirene: Es un proveedor de resinas de polietileno y polipropileno, que son utilizadas en el proceso de rotomoldeo.
- Roto Industries: Es una empresa especializada en la fabricación de maquinaria y equipos para el rotomoldeo, ofreciendo soluciones tecnológicas y servicios relacionados.
- Plásticos Rotomex: Es una empresa dedicada a la fabricación de productos rotomoldeados para diferentes sectores, como agricultura, construcción y automotriz.

3 CAPÍTULO TERCERO: MARCO TEÓRICO

3.1 PROCESO DE ROTOMOLDEO

El proceso más común de rotomoldeo se puede condensar en 6 etapas; las cuales son:

1. Preparación del molde: El molde utilizado en el rotomoldeo debe estar limpio y libre de cualquier residuo. También se puede aplicar un agente desmoldante para facilitar la extracción de la pieza final.
2. Carga del polímero: Se introduce una cantidad específica de resina de polímero en polvo en el molde. La cantidad de resina utilizada depende del tamaño y la forma de la pieza final deseada.
3. Calentamiento: El molde cargado con la resina se coloca en un horno o una cámara de calentamiento. La temperatura y el tiempo de calentamiento varían según el tipo de resina utilizada.
4. Rotación: Una vez que la resina se ha fundido y se ha adherido a las paredes del molde, comienza la rotación del molde en dos ejes (horizontal y perpendicular). Esta rotación asegura que la resina se distribuya uniformemente en todas las áreas del molde.
5. Enfriamiento: Después de un tiempo de rotación determinado, se detiene la rotación y se enfría el molde. El enfriamiento puede ser natural o acelerado mediante la aplicación de aire frío o agua.
6. Desmoldeo: Una vez que la pieza se ha enfriado y solidificado, se extrae del molde. En algunos casos, puede ser necesario utilizar herramientas o equipos adicionales para facilitar la extracción.

3.2 PARÁMETROS Y VARIABLES DEL PROCESO

Los principales parámetros que controlar en el proceso de rotomoldeo son la temperatura, las velocidades de plastificación y el tiempo. Además, las variables presentes en un proceso de rotomoldeo dependen del material a trabajar, del diseño del molde y de la pieza a obtener.

3.3 MATERIA PRIMA

En el proceso de moldeo rotacional, la matriz está formada por un polímero sintético, como polietilenos (HDPE, LDPE, LLDPE, MDPE, XLPE), PVC, etilvinilacetato (EVA), EBA, poliamidas (PA) o "nylon" (PA6, PA11, PA12), polipropileno, poliéster-elastómero, policarbonato (PC), entre otros. Además, se utilizan materiales termoplásticos como ABS, acetales, PC, HIPS, PP, EVA, así como materiales termoestables. Estos materiales se presentan en forma de polvo o gránulos y se calientan hasta que el plástico fluya y tome la forma deseada en el proceso de rotomoldeo. En el caso del rotomoldeo, los polietilenos en sus diferentes formas representan la mayor parte de los polímeros utilizados, seguidos por otros materiales mencionados anteriormente. La materia prima puede ser tanto líquida como en polvo.

3.4 MAQUINARIA Y TIPOS DE ROTOMOLDEO

Como ya los antecedentes se encargan de exponer la evolución e historia del proceso de rotomoldeo, es hora de profundizar en la maquinaria que se empleó y se sigue empleando para llevar a cabo este proceso.

R. Peters ya usaba en su rol de pionero una máquina de dos ejes y que requería de calor para producir las primeras piezas surgidas de este proceso.

Varios de los tipos de moldeo dependen directamente del tipo de maquinaria que se emplea, lo que hace sencillo identificar unos de otros.

3.4.1 Tipo Rock and Roll:

Este tipo de rotomoldeo se utiliza para producir piezas de gran tamaño; y se basa en el movimiento de vaivén antes abordado en los tipos de maquinaria; con un eje completo y otro que tiene un giro limitado. También se conoce como rotomoldeo biaxial; y se suele emplear para producir kayaks y canoas, tanques de almacenamiento y recipientes, juegos infantiles, y componentes automotrices.

3.4.2 Tipo claimshell o concha:

Este tipo de rotomoldeo aloja en el mismo sitio la estación de calor y de enfriamiento, permitiendo que sea compacto y que requiera de un solo brazo que se puede anclar desde uno o dos puntos a la pieza rotada según las dimensiones y peso.

3.4.3 Rotomoldeo de carga única:

Es el método más básico y utilizado con mayor frecuencia. Se carga una única cantidad de resina de plástico en el molde, que luego se calienta y gira en dos ejes perpendiculares simultáneamente para distribuir el plástico fundido y formar la pieza.

3.4.4 Rotomoldeo de carga múltiple (Carrousel Rotational Molding):

En este método, se utilizan varias cargas de resina de plástico en el mismo molde, que se agregan en diferentes etapas del proceso de rotomoldeo. Esto permite la creación de piezas multicapa o la combinación de diferentes colores y materiales en una sola pieza. También se conoce como *rotomoldeo en cascada*.

3.5 MOLDES Y MATERIALES DE MOLDES

Los moldes son piezas clave en el proceso de rotomoldeo. Deben tener una buena conductividad térmica para que el calor se transfiera o se elimine del plástico lo más rápidamente posible. Además, deben tener la suficiente resistencia mecánica para permanecer sin alabearse durante los ciclos de calentamiento y enfriamiento a los que deben ser sometidos. Los moldes pueden estar compuestos por una o varias partes, y cada una de ellas debe disponer de un sistema de cierre que permita cerrarlas de manera firme y abrirlas con facilidad. Asimismo, deben poder montarse sobre el brazo o plato de

forma que no se impida la circulación del aire a su alrededor. También se requiere un respiradero en el molde para mantener la presión del interior igual a la atmosférica.

Los moldes utilizados en el rotomoldeo pueden estar hechos de diferentes materiales, como acero, aluminio, bronce, cobre, níquel, entre otros. El material del que están fabricados debe tener una buena conductividad térmica para que el calor se transfiera o se elimine del plástico de manera eficiente. Además, deben tener la suficiente resistencia mecánica para soportar los ciclos de calentamiento y enfriamiento.

3.6 EQUIPOS PERIFÉRICOS

En palabras de Amador (2011), la dotación requerida para la producción de piezas de Rotomoldeo incluye entre otros equipos: un molino, para la trituración y adecuación de la materia prima, un horno de calentamiento y el molde donde se conforma la pieza. Las características relevantes para cada uno de estos equipos se presentan a continuación:

3.6.1 MOLINO/PULVERIZADOR

Los proveedores de resinas suministran los polímeros termoplásticos en forma de gránulos (pellets), presentación inapropiada para el moldeo rotacional, debido a que el proceso se basa en la capacidad del polímero para adquirir la forma del molde sin la aplicación de ninguna presión, el estado idóneo para garantizar la fluidez durante la rotación es el polvo. Además para garantizar una efectiva transferencia de calor es necesario también que el polímero este en forma de polvo, pues el material granular, que tiene menor área superficial, necesitaría temperaturas mayores, generando una fundición poco deseable en el proceso. Existen excepciones como el Nylon, que puede ser procesado en forma granular debido a sus propiedades de baja viscosidad y rápida fusión.

Para producir el tipo de polvo requerido en el proceso, los gránulos deben ser sometidos a un proceso de molienda, en el cual se alimentan 2 rodillos que giran a alta velocidad y que poseen poca distancia separación entre estos, así la acción cortante de los rodillos reduce los gránulos a polvo, que posteriormente es tamizado para obtener partículas del tamaño adecuado para ser rotomoldeadas. La eficiencia y calidad del equipo de pulverización tienen un efecto importante en la facilidad de moldeo, además de la distribución de tamaño de partícula y la forma de ésta, también es importante.

3.6.2 HORNO

Se emplean hornos convencionales que utilizan gas para su funcionamiento, donde el aire que rodea al molde es calentado y transfiere el calor por convección al molde, estos hornos son los más populares, no obstante, presentan el inconveniente de que la corriente de aire no siempre transfiere calor de igual manera hacia toda la geometría del molde. Por lo que ciertas zonas reciben mayor transferencia de calor que otras, especialmente cuando existen áreas de difícil acceso que crean zonas de aire encerrado y con dificultad de fluir.

Actualmente, se cuenta con hornos calentados mediante energía Infrarroja (Hornos Infrarrojos), estos métodos permiten expandir significativamente los diseños y la capacidad de producción del proceso. Lo anterior debido a que favorece el control puntual del calor en áreas difíciles o de formas complejas, también permite incrementar la transferencia de calor en ciertas áreas y consecuentemente aumentar el espesor de la pared o reducir el tiempo del ciclo de calentamiento. Con el sistema infrarrojo el calor puede ser concentrado en ciertas áreas empleando tintas oscuras que absorban los rayos. Asimismo puede ser disminuido en ciertas zonas empleando materiales que reflejen los rayos. Esto permite un

mejor control de la temperatura y una operación más precisa cuando se va a trabajar con moldes espumados.

3.7 NORMATIVA Y CONTROL DE CALIDAD

Las aplicaciones de los productos rotomoldeados son numerosas, aparentemente parecen no guardar ningún tipo de relación entre sí más allá de su método de fabricación. Sin embargo, un rasgo característico y propio de la producción industrial en general es el control de calidad.

Entiéndase como producción industrial a aquella producción masiva de productos que se obtienen mediante el empleo de sofisticada maquinaria, tecnología, recursos especializados, personal capacitado e instalaciones adecuadas al proceso, la sinergia anterior debe poder garantizar que el producto final cumpla con los estándares de calidad establecidos para su uso; dichos estándares no se ven limitados puramente a la estética y acabado del producto.

Debido a que el rotomoldeo contempla sectores de la industria naval y automotriz, las piezas que sean lanzadas al mercado deberán poder respaldar la seguridad y protección de sus consumidores

En México y el mundo, son diversas las dependencias u organismos gubernamentales que se encargan de gestionar, regular y determinar el cumplimiento de los requisitos mínimos y condiciones de ensayo que debe tener un proceso, bien material, producto y servicio; adecuado en el marco legal, dichas especificaciones y directrices son declaradas mediante la publicación de documentos oficiales de carácter obligatorio y cuyo desacato es penalizado con distintas sanciones que incluyen multas económicas, cierre o suspensión de la operación, retiro del producto del mercado e incluso pueden llegar a prohibir su venta y/o distribución.

La actividad empresarial debe estar sujeta a la normativa anteriormente descrita, dentro de las normativas de mayor prestigio a lo largo de toda la geografía se encuentran las normas ISO (International Organization for Standardization), a nivel nacional se encuentran las NOM (Normas Oficiales Mexicanas), las cuales son publicadas en el Diario Oficial de la Federación (DOF). Este conjunto de normas contextualizadas a la industria del plástico incluye la realización de pruebas mecánicas y químicas para la evaluación de las propiedades críticas del producto en función de su finalidad.

En términos de Rotobasque (2022) [empresa de base tecnológica especializada en ofrecer soluciones globales en la transformación de plásticos por moldeo rotacional]:

Los **certificados de calidad** constituyen el medio más generalizado de verificar que los procesos de producción desarrollados por una empresa cumplen con los parámetros de calidad necesarios para salir al mercado.

Pese a tener un carácter voluntario, son fundamentales para establecer una relación de confianza entre el proveedor y el cliente, dando una garantía de valor añadido. Contar con un certificado de calidad puede convertirse, por tanto, en un elemento diferencial a la hora de destacar frente a la competencia aumentando el atractivo y la confianza hacia los productos.

Las certificaciones son concedidas a través de auditorías por instituciones independientes y autónomas, ajenas a la empresa. La más importante es la International Organization of Standardization (Organización Internacional de Estandarización, conocida como ISO), encargada de elaborar las normas técnicas internacionales en multitud de ámbitos de aplicación.

Se trata de reglas que contienen especificaciones técnicas basadas en los resultados del desarrollo tecnológico y la experiencia. Que están al alcance de todas las partes interesadas en las transacciones comerciales (proveedores, clientes, consumidores, etc.) y que por lo tanto constituyen documentos de referencia nacional e internacional.

En cuanto a los certificados de calidad en rotomoldeo pueden tener un carácter más genérico o responder a las exigencias propias de un sector productivo en particular, pues varían en función de las piezas demandadas por los clientes. A continuación, se recopilan las más sobresalientes normas ISO aplicables:

- **ISO 9001:2015**

- **Sistemas de gestión de la calidad**

- Especifica los requisitos para un sistema de gestión de la calidad cuando una organización necesita demostrar su capacidad para proporcionar de manera consistente productos y servicios que cumplan con los requisitos del cliente y los legales y reglamentarios aplicables, y tiene como objetivo mejorar la satisfacción del cliente a través de la aplicación efectiva del sistema, incluidos los procesos para la mejora del sistema y la garantía de conformidad con el cliente y los requisitos legales y reglamentarios aplicables.

- Todos los requisitos de la norma ISO 9001:2015 son genéricos y están destinados a ser aplicables a cualquier organización, independientemente de su tipo o tamaño, o de los productos y servicios que proporcione.

- **ISO 14001: 2015**

- **Sistemas de Gestión de Medio Ambiente**

- Establece los criterios para un sistema de gestión ambiental y se puede certificar. Traza un marco que una empresa u organización puede seguir para establecer un sistema de gestión ambiental eficaz.

- Diseñado para cualquier tipo de organización, independientemente de su actividad o sector, puede proporcionar seguridad a la dirección y los empleados de la empresa, así como a las partes interesadas externas, de que se está midiendo y mejorando el impacto ambiental. Garantiza al proveedor y cliente que la gestión de residuos es adecuada con la normativa vigente a través de gestores autorizados.

- **ISO 45001:2018**

- **Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo**

- Proporciona un marco de referencia para gestionar los riesgos y oportunidades para la SST. El objetivo y los resultados previstos del sistema de gestión de la SST son prevenir lesiones y deterioro de la salud relacionados con el trabajo a los trabajadores y proporcionar lugares de trabajo seguros y saludables; en consecuencia, es de importancia crítica para la organización eliminar los peligros y minimizar los riesgos para la SST tomando medidas de prevención y protección eficaces.

- Cuando la organización aplica estas medidas a través de su sistema de gestión de la SST, mejoran su desempeño de la SST. Un sistema de gestión de la SST puede ser más eficaz y eficiente cuando toma acciones tempranas para abordar oportunidades de mejora del desempeño de la SST.

- Implementar un sistema de gestión de la SST conforme a este documento permite a una organización gestionar sus riesgos de la SST y mejorar su desempeño de la SST. Un sistema

de gestión de la SST puede ayudar a una organización a cumplir sus requisitos legales y otros requisitos.

▪ **ISO 14006:2020**

Sistemas de gestión ambiental

Este documento brinda pautas para ayudar a las organizaciones a establecer, documentar, implementar, mantener y mejorar continuamente su gestión del diseño ecológico como parte de un sistema de gestión ambiental (EMS).

Este documento está destinado a ser utilizado por organizaciones que han implementado un SGA de acuerdo con la norma ISO 14001, pero también puede ayudar a integrar el ecodiseño utilizando otros sistemas de gestión. Las pautas son aplicables a cualquier organización, independientemente de su tipo, tamaño o producto(s) proporcionado(s).

Este documento es aplicable a los aspectos y actividades ambientales relacionados con el producto que una organización puede controlar y en los que puede influir.

Este documento no establece criterios específicos de desempeño ambiental.

Obsérvese en el anexo 1, el certificado de calidad con normativa ISO 9001:2015, que certifica a la empresa **Rotobasque, S.L.U.**, en el ámbito de aplicación de Diseño y fabricación de componentes de serie limitada por tecnología de rotomoldeo.

En el ámbito nacional, de acuerdo con el informe anual integrado (2019) de la empresa mexicana Rotoplas, documenta que todas sus plantas operan con apego a la Política de Calidad y la Norma ISO 9001; 15 de ellas se encuentran además certificadas [Tabla 1], en concreto las correspondientes a México, Guatemala, Perú y una de las plantas IPS en Argentina. Desde la compañía se monitorea el cumplimiento de los estándares a través de las auditorías internas del Área de Calidad y la participación de externos especializados.

Para los productos, se consideran las normas técnicas de cada país, cuyo cumplimiento se acredita con certificaciones independientes. Cabe señalar la certificación de soluciones de almacenamiento, conducción y purificación en México y Centro América. En el caso de los calentadores, en Argentina están certificados por el Instituto de Gas Argentino (IGA).

Tabla 1: Plantas certificadas con la Norma ISO 9001:2015 de la empresa mexicana Rotoplas

NORMA	PLANTAS CERTIFICADAS	
ISO 9001:2015	1. Lerma	9. Golfo
	2. León rotomoldeo	10. Pacifico
	3. León inyección	11. Sureste
	4. Perú	12. Tuxtla
	5. Compuestos	13. Guatemala
	6. Monterrey	14. IPS 1
	7. Anáhuac	15. IPS 2
	8. Guadalajara	

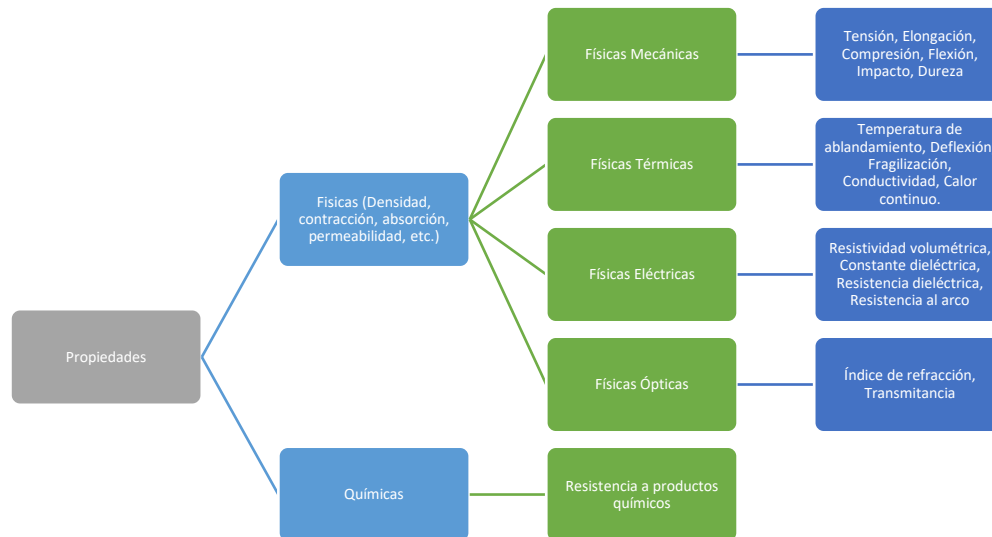


FIGURA 2: *Propiedades de los plásticos.*

Como se puede observar, dentro de las propiedades físicas, se encuentran las propiedades mecánicas; las cuales son objeto de estudio para la determinación de la calidad del producto final, pues son distintas las pruebas que se le hacen a la pieza final para evaluar dichas propiedades, entre las cuales se encuentran la nanoidentación, pruebas de impacto, de flexión, de dureza, de compresión y módulo de elasticidad. Dentro del taller de TRAP se encuentra la máquina Shimatzu, la cual podría ser utilizada para evaluar la tracción de probetas del material rotomoldeado.

3.8 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

Como todo proceso industrial, el rotomoldeo cuenta con ventajas y desventajas (algunas más significativas que otras), es por ello que es importante considerar los pros y contras que conlleva fabricar artículos mediante este proceso y así evaluar si es redituable o no optar por esta técnica para la fabricación de artículos huecos desde el punto de vista empresarial.

3.8.1 VENTAJAS:

- I. Durante el proceso, las presiones que se llegan a alcanzar dentro del molde son relativamente bajas en comparación con otros métodos de moldeo, esto representa una ventaja significativa desde el punto de vista financiero, ergo, no es necesario contemplar costes extras con relación al uso de un equipo periférico que dote al proceso de elevadas presiones, ya que como se ha expuesto en lo anterior, per se, no lo requiere.

Es por tales motivos que la producción de piezas huecas de dimensiones colosales como lo pueden ser el Rotoplas, Tecno tanques, cisternas y tinacos, no serían factibles por otros procesos como lo pueden ser inyección y soplado. En el caso de Tensión-soplado, las

presiones de trabajo deberán ascender a más de dos toneladas, exigiendo así esfuerzos poco redituables con relación al proceso y la pieza final.

- II. El movimiento rotacional revoluciona la elaboración de piezas multicapas, las cuales sólo eran posibles a través de Extrusión y Pultrusión, postulándose innovadora en la producción de piezas multicapas que a su vez son huecas, característica que se había considerado como una desafiante a alcanzar y que el RM ha hecho posible y ha logrado con vigor de excelencia.
- III. El espesor de la pared del producto final es fácilmente modificable a conveniencia, ya que sólo se requiere aumentar o disminuir la cantidad de la materia prima que se carga al molde, de modo que no es necesario desmontarlo y sustituirlo por otro.
- IV. Mayormente, las máquinas y los moldes son simples y relativamente baratos en comparación con otras formas de moldeo, esto debido a que los materiales no se ven obligados a soportar grandes presiones, así pues, no es necesario el uso de moldes de gran resistencia mecánica.
- V. Dependiendo de la maquinaria, en un mismo ciclo se puede trabajar con moldes de distinto tamaño y geometría, flexibilizando la planificación de producción.
- VI. En conjunto con Pultrusión, es de los pocos procesos en donde se pueden obtener piezas reforzadas, ya sea con fibra de vidrio o fibra de carbono, además de los distintos refuerzos con fibras naturales que se están innovando actualmente.

El RFV (Refuerzo de Fibra de Vidrio) y el RFC (Refuerzo de Fibra de Carbono) son los refuerzos poliméricos más comunes que se utilizan, ya que son capaces de incrementar en un 200% las propiedades mecánicas del producto final (Kakani, 2008). Sin embargo, Vilcayuari Rios (2020) en su trabajo de investigación: "Estado de la tecnología del proceso de moldeo rotacional de polímeros reforzados con fibras naturales", hace una revisión de las distintas formulaciones y compuestos poliméricos reforzados con fibras naturales por distintos autores, como se muestra en el anexo 2 y 3, demostrando así el % de refuerzo según el ensayo de cada autor, entre los cuales se encuentran el de tracción, flexión e impacto, respectivamente en los anexos 4, 5 y 6.

3.8.2 DESVENTAJAS:

- i. En comparativa con otros métodos de moldeo que incluyen inyección, el RM se lleva a cabo a presiones de trabajo que van en concordancia con la presión atmosférica, de manera que no se adjuntan presiones externas que aseguren la formación de enlaces químicos y, por consiguiente, el enclavamiento mecánico. Esto hace inevitable el uso de diferentes composiciones en las matrices poliméricas con distintos grados porcentuales de nanocompuestos y fibras de refuerzo de modo que se garantice la formación de fuerzas intermoleculares a nivel estructural.

Además de esta inversión adicional, otra desventaja que posee el reforzamiento de los productos rotomoldeados es la complejidad de la técnica que hoy en día sigue mejorándose, ya que se busca la distribución uniforme de material con el refuerzo de fibra, que hasta ahora han contemplado el RFV (Refuerzo de fibra de Vidrio) y el CFRP (Polímero Reforzado con Fibra de Carbono)

- ii. Las altas temperaturas y los largos ciclos de producción son de los puntos críticos de control que al no ser contemplados con rigurosidad fueron los cauces de pérdidas significativas en décadas anteriores debido a la degradación del material, para impedir que esto siguiera sucediendo, la industria se vio obligada a limitar los materiales poliméricos que solían usarse, condicionando la cifra sólo a aquellos que disponen de la capacidad de soportar elevadas temperaturas durante las etapas prolongadas del proceso. Por lo expuesto, se considera que las formulaciones desarrolladas aún no alcanzan el acmé en cuanto a rigidez, resistencia y estabilidad que abarquen aplicaciones cuyos requerimientos se cumplan con minuciosidad.
- iii. En cuanto a la producción de envases huecos de una sola pieza, el soplado sigue haciéndole frente al rotomoldeo cuando las dimensiones no son mayores a las de un garrafón con capacidad de 20 litros y en cuestión de la fabricación de artículos huecos obtenidos en dos piezas que son unidas después, el termoformado ha ganado terreno por encima del RM.

3.9 APLICACIONES Y PRODUCTOS

El rotomoldeo ofrece una amplia gama de productos con diversas aplicaciones, generalmente se trata de artículos huecos, cerrados o abiertos, con paredes sencillas o multicapas, espumados o reforzados, con geometrías simples o complejas, de dimensiones colosales o de objetos que pueden caber en la palma de nuestras manos. Son un sinfín de productos los que se obtienen y su uso final dependerá de los requerimientos de cada sector industrial, a continuación se muestra la más relevante a nivel nacional: la de almacenamiento de agua. (Rotoplas)

3.9.1 ALMACENAMIENTO

3.9.1.1 TINACOS, CISTERNAS Y ACCESORIOS

Los tinacos y cisternas producidos por Grupo Rotoplas cuentan con una garantía de por vida (aplicable sólo para Tinacos beige y Cisternas azules), filtro *Hydro-Net* que retiene tierra y sedimentos, con una exclusiva capa antibacterial con tecnología *Expel*, que inhibe la reproducción de bacterias. El flotador es uno de los pocos accesorios de Grupo Rotoplas que también se fabrica mediante el proceso de rotomoldeo a diferencia de otros como el jarro de aire o las válvulas de llenado.

Los Tinacos con garantía de por vida, están fabricados en cumplimiento con la NOM NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2012.

Las Cisternas con garantía de por vida, están fabricadas en cumplimiento con la NOM NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2012.



Figura 3: Cisterna y Rotoplas, fabricados en cumplimiento con la NOM NMX-C-374-ONNCCE-CNCP-2012



Figura 4: Flotador fabricado por Grupo Rotoplas

4 CAPÍTULO CUARTO: MARCO METODOLÓGICO

4.1 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 2: Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	SEMANAS DE TRABAJO																							
	1							2							3							4		
	12/06 al 18/06							19/06 al 25/06							26/06 al 02/07							03/0		
	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	L	M	
Búsqueda y consulta de información.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X									
Elaboración y redacción del escrito.	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					
Prmer resumen presupuestario.			X	X																				
Diseño de la maquinaria propuesta.					X																			
Selección de los materiales de la maquinaria.						X																		
Compra de la materia prima para la elaboración de la maquinaria.							X																	
Elaboración de la maquinaria.								X	X	X	X	X	X	X										
Selección de la geometría Y dimensiones del molde de acuerdo con el resumen presupuestario del proyecto.					X	X																		
Selección de los materiales del molde.							X																	
Compra de la materia prima para la elaboración del molde.								X																
Elaboración del molde.								X	X															
Obtención de una pieza termofija rotomoldeada.															X									
Obtención de una pieza termofija reforzada con fibra de vidrio rotomoldeada.															X									
Evaluación de las propiedades mecánicas de las piezas obtenidas.																X								
Primer ensayo general de la presentación.																				X				
Segundo ensayo general de la presentación.																						X		
Presentación y defensa el prototipo.																							X	

4.2 DISEÑO DEL PROTOTIPO

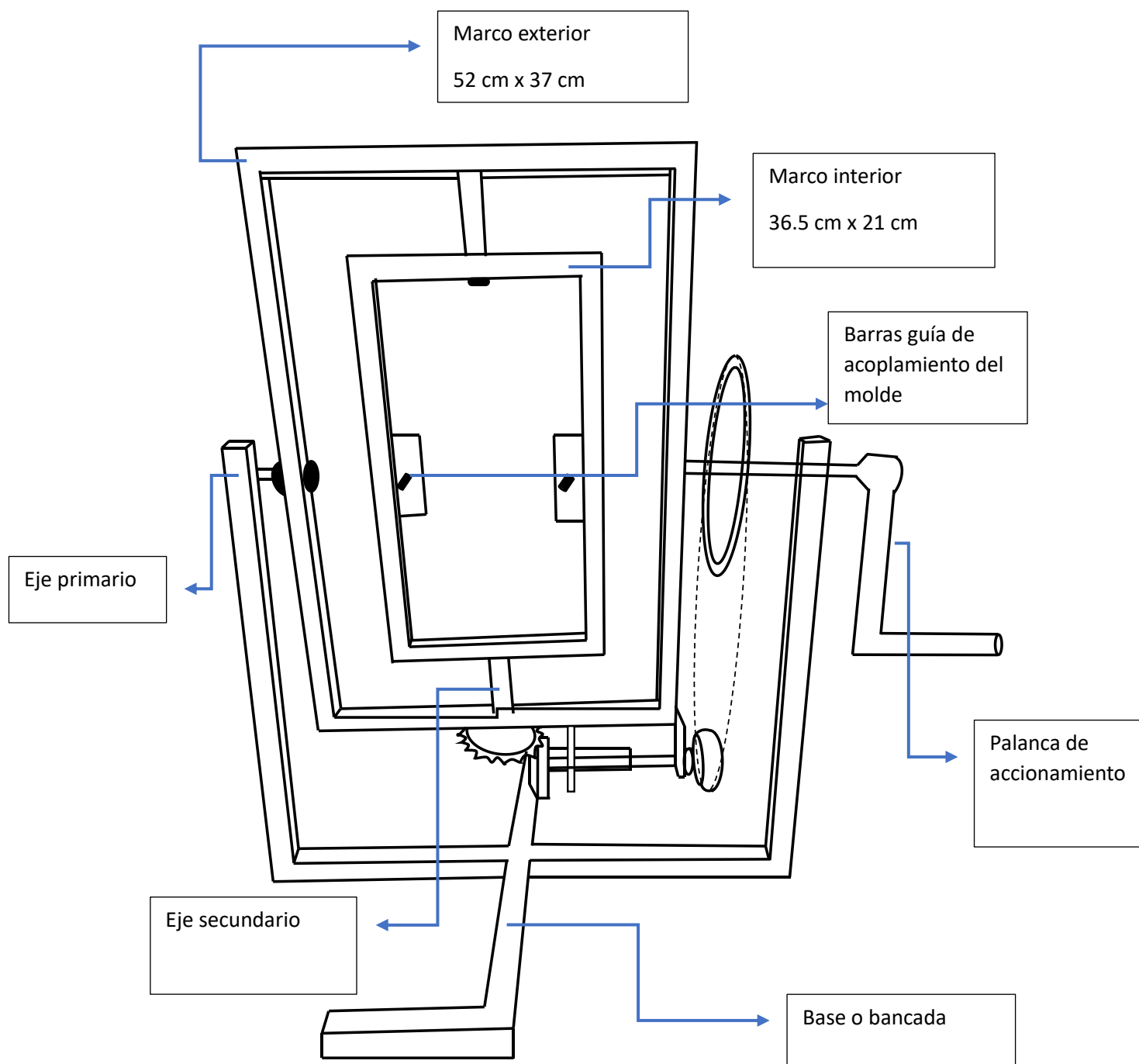
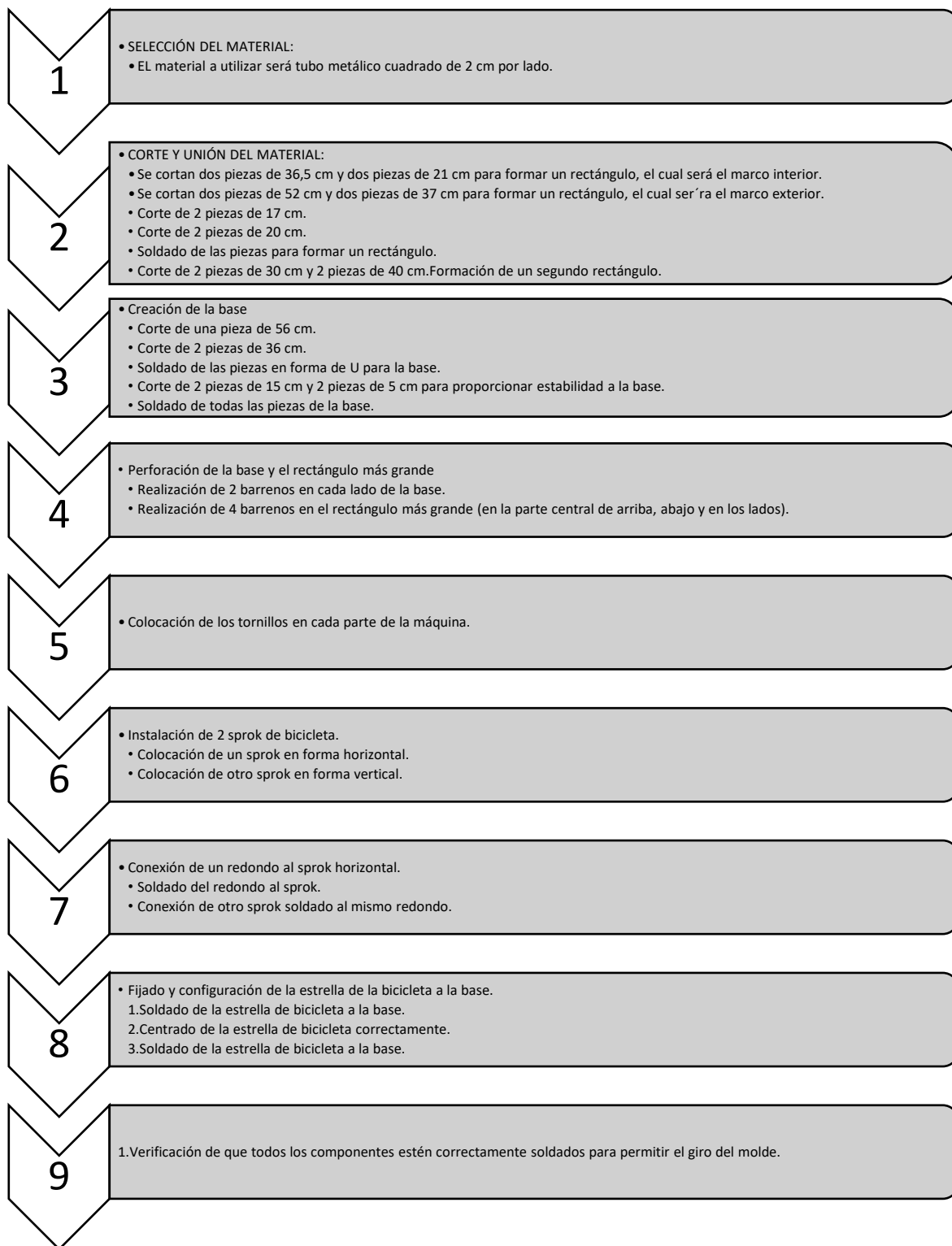


Figura 5: Diseño del prototipo experimental con cada una de sus partes.

4.3 DIAGRAMA DE PROCESO DE LA ELABORACIÓN DEL PROTOTIPO



4.4 ELABORACIÓN DEL MOLDE

En primer lugar, se seleccionó la geometría y dimensiones del molde en función de las dimensiones de la maquinaria, en este caso se optó por una geometría similar a la del Rotoplas pero en menor escala, pues a diferencia del convencional, la pieza a obtener tendrá una capacidad de medio litro.

Para la elaboración del molde, se aplicó un agente desmoldante a un contenedor de medio litro con apariencia similar a la de un garrafón y se hizo una matriz compuesta con calcita, resina epóxica y catalizador con un peso final de litro y medio, además de las propiedades que nos proporciona la calcita, también se utilizó con el fin de dotarle una textura espesa a la resina para que esta no se desborde por la superficie de la botella.

Una vez teniendo la textura deseada, se aplica sobre la superficie de la botella manualmente de manera homogénea y se cura con ayuda de una pistola de calor.

CAPÍTULO QUINTO: DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Como se puede observar en la figura x, el diseño del prototipo que se había propuesto se logró concretar con las dimensiones adecuadas para facilitar su transporte (con una altura general de 70 cm y ancho y largo que oscila aproximadamente entre 74 cm) y con un acabado final con pintura negra de carácter meramente estético. La relación de rotación el marco interior del prototipo con respecto a un único giro de la palanca de accionamiento es 3:1, lo que se traduce a que por cada vuelta manual de la palanca de accionamiento, el marco interior dará tres vueltas, dicho factor se deberá tener en cuenta para líneas futuras en caso de que se desee automatizar el proceso de rotomoldeo con la adición de un motor, en ese caso se deberá hacer el cálculo de rpm adecuadas para la garantía de un producto final de calidad.



Figura 6: Prototipo de máquina rotomoldeadora.

En cuanto a la elaboración del molde, este cumple con su función, en las pruebas que se realizaron no se notó un derrame de la materia prima al momento de rotomoldear, sin embargo, una de sus limitaciones es el tamaño, ya que la máquina no está adecuada para rotomoldear piezas con dimensiones superiores a 10.5 cm x 18 cm.

Gracias al material compuesto por el cual se elaboró el molde, se pueden rotomoldear una gran variedad de materiales poliméricos, sin embargo, se desconocen los rangos de temperatura que soporta.



Figura 7: Molde elaborado a partir de una formulación de resina epóxica y calcita.

Con respecto a las piezas rotomoldeadas obtenidas, por cuestiones ajenas al desempeño colaborativo del equipo, no se lograron recuperar en su totalidad las primeras muestras. Como se puede observar en la figura x, es resaltable señalar que la fragilidad de la pieza se debe a la cantidad inicial de materia prima que se cargó en la primera etapa del Rotomoldeo, con lo cual se optó por rotomoldear una pieza adicional a las que se tenían establecidas en un inicio, cuya capa externa posee una ligera descamación debido al uso de un agente desmoldante no adecuado. Se considera que uno de los factores con mayor influencia en cuanto a la dureza es el espesor de la pared, el cual se ve reducido por el empleo de una pobre cantidad de resina.



Figura 8: Resultados de la primera muestra recuperada de rotomoldeo.



Figura 9: Resultados de la segunda muestra de rotomoldeo que presenta una ligera descamación superficial.

CONCLUSIONES

Tal y como se ha podido comprobar, la pieza obtenida aún carece de las propiedades óptimas para alcanzar un estándar de calidad mínimo debido a que los parámetros y variables del proceso no se pueden controlar con gran rigurosidad por la falta de automatización y de equipos y herramientas que la faciliten, es por tales motivos que en caso de continuar con el proyecto, el equipo tomará en cuenta las recomendaciones y líneas futuras para seguir mejorando el proceso de rotomoldeo.

Pese a que los resultados no fueron los esperados, el latente aprovechamiento del prototipo como material didáctico para la enseñanza del proceso a futuras generaciones no se ve afectado ya que se invita a la generaciones posteriores al desarrollo de nuevas formulaciones que propicien la obtención de nuevas piezas rotomoldeadas con propiedades superiores a las que se obtuvieron por parte del equipo.

REFERENCIAS

- Andreia C. Tavares, J. V. G., Carlos M. Lepienski, Leni Akcelrud. (2003). *El efecto del envejecimiento acelerado en las propiedades mecánicas superficiales del polietileno* (E. S. Ltd., Ed. Vol. 81). Science Direct. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00108-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00108-3)
- Ghanem, Z., Šourkova, H. J., Sezemsky, J., & Špatenka, P. (2022). The Effect of Plasma Treatment of Polyethylene Powder and Glass Fibers on Selected Properties of Their Composites Prepared via Rotational Molding. *Polymers (Basel)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/polym14132592>
- Głogowska, K., Pączkowski, P., & Samujło, B. (2022). Study on the Properties and Structure of Rotationally Moulded Linear Low-Density Polyethylene Filled with Quartz Flour. *Materials (Basel)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ma15062154>
- Mahsa, D., Azdast, T., Mohamad, K., & Milad, M. (2021). Investigación de las propiedades de tracción de muestras de nanocompuestos poliméricos en el proceso de moldeo rotacional *Boletín de polímeros* 78, 2465-2481.
- V, S., D, G., R, P., V, G. C., & R, M. K. (2020). Investigación de las propiedades mecánicas, térmicas y del índice de fluidez de los HNT: nanocompuestos de LLDPE para la aplicaciones de rotomoldeo. *Pruebas de polímeros.*, 89.
- CECyTE Puebla. Oferta Académica. CECyTE Plantel Cholula, disponible en <https://cholula.cecypuebla.edu.mx/oferta.php>.
- International Organization for Standarization, disponible en <https://www.iso.org/home.html>.
- Abril Correa, Fredy Miguel. (2013). Diseño y control de una rotomoldeadora (Tesis de Ingeniería en Mecatrónica). Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Mecatrónica, Pereira, Colombia.

- Andreia C. Tavares, J. V. G., Carlos M. Lepienski, Leni Akcelrud. (2003). *El efecto del envejecimiento acelerado en las propiedades mecánicas superficiales del polietileno* (E. S. Ltd., Ed. Vol. 81). Science Direct. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910\(03\)00108-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0141-3910(03)00108-3)
- Capelo Tomás, Juan José. (2017). Diseño y fabricación de un prototipo de máquina de rotomoldeo para ensayos de procesabilidad de materiales termoplásticos (Tesis de Ingeniería Mecánica). Escola Politècnica Superior D'Alcoi, Universitat Politècnica de València, Alcoy, Valencia, España.
- Cardo Matías, Casalino Franco, Del Basso Milton. (2018). Máquina rotomoldeadora (Tesis de Ingeniería Electromecánica). Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Venado Tuerto, Venado Tuerto.
- Castillo Parrales Luis Danilo, Villao Alejandro Giovanni Andrés. (2016). Diseño de una máquina de rotomoldeo para fabricación de envases plásticos (Tesis de Ingeniería Mecánica). Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- CECyTE Puebla. Oferta Académica. CECyTE Plantel Cholula, disponible en <https://cholula.ccytepuebla.edu.mx/oferta.php>.
- Crawford, R., & Throne, J. (2002). Rotational Molding Technology. Plastics Design Library / William Andrew .
- Ghanem, Z., Šourkova, H. J., Sezemsky, J., & Špatenka, P. (2022). The Effect of Plasma Treatment of Polyethylene Powder and Glass Fibers on Selected Properties of Their Composites Prepared via Rotational Molding. *Polymers (Basel)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/polym14132592>
- Głogowska, K., Pączkowski, P., & Samujło, B. (2022). Study on the Properties and Structure of Rotationally Moulded Linear Low-Density Polyethylene Filled with Quartz Flour. *Materials (Basel)*, 15(6). <https://doi.org/10.3390/ma15062154>
- González de la Cruz, Rodrigo. (2022). Optimización del proceso de producción de materia prima para rotomoldeo (Tesis de Ingeniería Mecánica). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México.
- International Organization for Standardization, disponible en <https://www.iso.org/home.html>.
- Kakani, S. L. (2004). Organic Materials: Polymers and Elastomers. In Material Science (1st ed., pp. 555–592). New Age International Ltd. <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibpucp-ebooks/detail.action?docID=424097>
- Lasso de la Vega Romero, Rodrigo. Desarrollo y fabricación de una máquina de rotomoldeo (Tesis de Ingeniería Mecánica). Universidad Carlos III, Madrid, España.
- Mahsa, D., Azdast, T., Mohamad, K., & Milad, M. (2021). Investigación de las propiedades de tracción de muestras de nanocompuestos poliméricos en el proceso de moldeo rotacional *Boletín de polímeros* 78, 2465-2481.
- Marelino Sábada Sara, Aragón Sesma Pablo. (2019, 6 de septiembre). Diseño y fabricación de una máquina de rotomoldeo sin calentamiento (Tesis de Ingeniería Mecánica). E. T. S de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación, Pamplona, España.

- Sánchez Martínez, Marisol. (2014, octubre). Innovación en rotomoldeo en México (Tesis de Maestría en Política y Gestión del Cambio Tecnológico). Secretaría de Investigación y Posgrado, Instituto Politécnico Nacional, Ciudad de México, México.
- Schott Martínez, Jaime Amador. (2011, agosto). Análisis sobre la nueva generación de formulaciones en la manufactura de productos plásticos producidos por rotomoldeo (Tesis de Especialización en Química Aplicada). Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coahuila.
- Vilcayauri Ríos, Ademir Alejandro. (2020, diciembre). Estado de la tecnología del proceso de moldeo rotacional de polímeros reforzados con fibras naturales (Tesis de Bachiller en Ciencias con mención en Ingeniería Mecánica). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima, Perú.
- V, S., D, G., R, P., V, G. C., & R, M. K. (2020). Investigación de las propiedades mecánicas, térmicas y del índice de fluidez de los HNT: nanocompuestos de LLDPE para la aplicaciones de rotomoldeo. *Pruebas de polímeros*, 89.

ANEXOS

ANEXO 1: Certificado de calidad

Certificado

Normativa de aplicación **ISO 9001:2015**

Nº registro certificado 0.04.14053



Titular del certificado:

ROTOBASQUE, S.L.U.
Parque Empresarial Boroa, 16
Parc.2B-9
48340 Zornotza-Amorebieta (Bizkaia)
España

Ámbito de aplicación:

Diseño y fabricación de componentes de serie limitada por tecnología de rotomoldeo.

Mediante una auditoría se verificó el cumplimiento de los requisitos recogidos en la norma ISO 9001:2015.

Fecha de la siguiente auditoría: 05-22 (dd.mm.)

Validez:

Este certificado es válido desde 2020-06-22 hasta 2023-06-21.
Primera auditoría de certificación 2014

2020-07-17

TÜV Rheinland Ibérica Inspection,
Certification & Testing S.A.
Garrotxa, 10-12 – E-08820 El Prat de
Llobregat

Autor	Material Compuesto		Tratamiento - preparación
	Matriz	Refuerzo	
McDowell et al. (2001)	PE 3,6 g/10 min	Fibras y polvo de madera	Sin tratamiento químico de las fibras.
Torres y Aguirre (2003)	PE 2,8 y 2,5 g/10 min	Fibras de sisal, polvo de cascara de arroz y pecanas. (5 – 10mm)	Con tratamiento químico de las fibras con ácido esteárico.
Torres y Díaz (2004)	HDPE 2,5 g/ 10 min	Fibras de sisal, polvo de cascara de arroz y pecanas. (5 – 10mm)	Sin tratamiento químico de las fibras. Solo lavado con alcohol.
Wang et al. (2004)	LLDPE; HDPE LLDPE/HDPE	Fibras de linaza	Las fibras fueron sometidas al tratamiento de silano, benzoilación y peróxido.
Torres et al. (2006)	PE 2,8 g/ 10 min	Fibras de sisal y cabuya. (5 – 10mm)	Con tratamiento químico de las fibras. Lavadas, secadas y sumergidas en ácido esteárico.
Jayaraman et al. (2007)	LMDPE 4,0 g/ 10 min	Fibras de madera (1,5 mm – 4 mm) 400 kg/m ³ y de sisal (10 mm) 1450 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras. Solo Mezclado a 145°C, granulado y molido (0,5 y 1mm)
Panigrahi (2010)	HDPE (grupo 1 - BMW) LLDPE, HDPE y PP (grupo 2 - BMC)	Fibras de linaza (0,5 - 1mm)	Las fibras fueron tratadas con NaOH y silano. 4 mezclas preparadas. BMW – fibras; BMC – fibras; BMW – fibras (extruido); BMC – fibras (extruido).
López-Bañuelos et al. (2012)	LMDPE 5,0 g/10 min 936 kg/m ³	Fibras de agave (40 - 100 mesh)	Sin tratamiento químico de las fibras. Separaron 2 grupos según el tamaño de fibras.
Ward-Perron y Rodrigue (2012a)	LMDPE 3,5 g/10 min 938 kg/m ³	Polvo de madera (150 y 500 µm)	Sin tratamiento químico de las fibras. Partículas secas (amb de 23°C y 55%HR) y partículas húmedas (amb. de 23°C y 100%).
Ward-Perron y Rodrigue (2012b)	LMDPE 3,5 g/10 min 938 kg/m ³	Polvo de madera de pino (0 - 1700 µm) 1389 – 1509 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras. Separaron 4 grupos según el tamaño de fibras.
Ortega et al. (2013)	PE 8,0 g/10 min 934 kg/m ³	Fibras de abacá y plátano	Con tratamiento químico con NaOH (107C y 0,15 MPa).
Raymond y Rodrigue (2013a)	LLDPE 3,3 g/10 min 938 kg/m ³	Polvo de madera de arce (125 – 250 µm) 1408 kg/m ³	Sin tratamiento químico ni secado de las fibras.
Raymond y Rodrigue (2013b)	LLDPE 3,3 g/10 min 938 kg/m ³	Polvo de madera de arce (125 – 250 µm) 1482 kg/m ³	Sin tratamiento químico ni secado de las fibras. Se uso un agente espumante.
Cisneros-López et al. (2016)	LMDPE 5,0 g/10 min 930 kg/m ³	Fibras de agave (297 - 400 µm)	Con tratamiento químico de las fibras con NaOH y MAPE.
Arribasplata (2016)	HDPE reciclado 1,814 g/10 min 955 kg/m ³	Polvo de madera de capirona (500 µm o menor) 711 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras.

ANEXO 3: Resumen sobre los materiales compuestos con fibras naturales. (Parte 2)

Autor	Material Compuesto		Tratamiento - preparación
	Matriz	Refuerzo	
Quispe (2017)	HDPE reciclado 1,5 g/10 min 955 kg/m ³	Polvo de madera de pino (297 - 500 µm) 477 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras.
Cisneros-López et al. (2017a)	LMDPE 5,0 g/10 min 930 kg/m ³	Fibras de agave (297 - 400 µm); fibras de coco (210 - 250 µm); Polvo de pino (400 - 595 µm)	Con tratamiento químico de las fibras con NaOH y MAPE.
Cisneros-López et al. (2017b)	PLA 80 g/10 min 1240 kg/m ³	Fibras de agave (297 - 400 µm) 1430 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras.
Hanana y Rodrigue (2018)	LLDPE 6,8 g/10 min 936 kg/m ³	Polvo de madera de arce (125 - 500 µm)	Con tratamiento químico de las fibras con MAPE. Separaron 3 grupos según el tamaño de fibras.
Cisneros-López et al. (2018)	PLA 80 g/10 min 1240 kg/m ³	Fibras de agave (297 - 400 µm) 1430 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras.
Hejna et al.(2020)	LLDPE 6 g/10 min	Salvado de trigo (200 - 500 µm) 1272 kg/m ³	Sin tratamiento químico de las fibras.

ANEXO 4: Resultados del ensayo de tracción de las muestras óptimas de cada autor con respecto a los refuerzos de fibras naturales usados.

Refuerzo	Matriz	Autor	% de refuerzo	Ensayo de tracción					
				Modulo (MPa)			Resistencia (MPa)		
				Plástico	Compuesto		Plástico	Compuesto	
					ST ^a	CT ^a		ST ^a	CT ^a
Agave	LMDPE	López-Bañuelos et al. (2012)	10%	250-260	410-440	-	14-17	13-15	-
		Cisneros-López et al. (2016)	10%/20%	172	196	263	20,7	20 ^A	23,8
		Cisneros-López et al. (2017a)	10%/20%	172	196	263	20,7	20 ^A	23,8
	PLA	Cisneros-López et al. (2017b)	10%	1908	1993	-	59	45 ^A	-
		Cisneros-López et al. (2018)	10%	1908	1993	-	59	45 ^A	-
Madera	LMDPE	Jayaraman et al. (2007)	15%	900 ^A	1000 ^B	-	-	-	-
	Pino/LMDPE	Ward-Perron y Rodrigue (2012b)	15%	197	226	-	15,6	9,4	-
		Cisneros-López et al. (2017a)	20%	172	174	245	20,7	15-20	15-20
	Pino/HDPE	Quispe (2017)	15%	745	1000	-	19,68	18	-
	Capirona/HDPE	Arribasplata (2016)	15%	910	1072	-	20 ^A	16,7	-
	Arce/LLDPE	Raymond y Rodrigue (2013a)	20%	202	237	-	16	11,8	-
		Raymond y Rodrigue (2013b)	20%	127	158	-	10,9	8,6	-
		Hanana y Rodrigue (2018)	20%	174	261	271	15,5	10-15	15-20
	HDPE/LLDPE	Wang et al. (2004)	10%	-	-	-	15	-	17,43
		Panigrahi (2010)	10%	140	-	240	3,6	-	5,1
Abacá y plátano	PE	Ortega et al. (2013)**	5%	1600	-	4600	16,1	-	9,1
Coco	LMDPE	Cisneros-López et al. (2017a)	20%	172	170 ^A	170 ^A	20,7	18,8	24,5
Salvado de trigo	LLDPE	Hejna et al. (2020)	2,5% y 5%	-	-	-	16 - 18	16 - 18	-

(*) Las siglas "ST" y "CT" significan sin tratamiento y con tratamiento, respectivamente, haciendo referencia al refuerzo usado.
(**) Resultados de las muestras con dos capas fabricadas por dicho autor.
(A) No se menciona el resultado en el trabajo, pero se pudo estimar a partir del grafico presentado que el valor se encuentra alrededor del número indicado.
(B) No se menciona el resultado en el trabajo. A partir del grafico que presentan se puede indicar que el valor es superior al indicado.
El guión entre dos números (X - Y) indica que el autor proporcionó un rango o que no se pudo identificar con exactitud y por lo tanto se estima que el resultado se encuentre en el rango presentado.
La barra inclinada (/) separa los resultados óptimos, en los autores que usaron tratamiento químico en el refuerzo: (sin tratamiento/ con tratamiento)

ANEXO 5: Resultado del ensayo de flexión de las muestras óptimas de cada autor con respecto a los refuerzos de fibras naturales usados.

Refuerzo	Matriz	Autor	% de refuerzo	Ensayo de flexión					
				Modulo (MPa)			Resistencia (MPa)		
				Plástico	Compuesto		Plástico	Compuesto	
					ST*	CT*		ST*	CT*
Agave	LMDPE	López-Bañuelos et al. (2012)	10%	500 ^A	600 ^A	-	15 ^A	10-15	-
		Cisneros-López et al. (2016)	10%/20%	500 ^A	600 ^A	600 ^A	20-25	20-25	24
		Cisneros-López et al. (2017a)	10%/20%	563	600 ^A	600 ^A	23,1	23	24
	PLA	Cisneros-López et al. (2017b)	10%	3511	3594	-	93	70	-
		Cisneros-López et al. (2018)	10%	3511	3594	-	93	70	-
Madera	PE	McDowell et al. (2001)	10%	800 ^B	700-800	-	-	-	-
	Pino/LMDPE	Ward-Perron y Rodrigue (2012b)	15%	554	676	-	-	-	-
		Cisneros-López et al. (2017a)	20%	533	563	500 ^A	23,1	15 ^A	15 ^A
	Arce/LLDPE	Raymond y Rodrigue (2013a)	20%	612	827	-	-	-	-
		Raymond y Rodrigue (2013b)	20%	408	655	-	-	-	-
		Hanana y Rodrigue (2018)	20%	606	968	1043	-	-	-
	HDPE/LLDPE	Panigrahi (2010)	10%	183	-	333	7,3	-	11,1
Plátano	PE	Ortega et al. (2013)**	5%	236,3	436,5	-	12,9	18,6	-
Abacá			5%	236,3	608,5	518,4	12,9	25	16
Coco	LMDPE	Cisneros-López et al. (2017a)	20%	563	646	655	23,1	21,5	20,8

(*) Las siglas "ST" y "CT" significan sin tratamiento y con tratamiento, respectivamente, haciendo referencia al refuerzo usado.

(**) Resultados de las muestras con dos capas fabricadas por dicho autor.

(A) No se menciona el resultado en el trabajo, pero se pudo estimar a partir del grafico presentado que el valor se encuentra alrededor del número indicado.

(B) No se menciona el resultado en el trabajo. A partir del grafico que presentan se puede indicar que el valor es superior al indicado.

El guion entre dos números (X - Y) indica que el autor proporcionó un rango o que no se pudo identificar con exactitud y por lo tanto se estima que el resultado se encuentre en el rango presentado.

La barra inclinada (/) separa los resultados óptimos, en los autores que usaron tratamiento químico en el refuerzo, de la manera siguiente: (resultado sin tratamiento/ resultado con tratamiento)

ANEXO 6: Resultado de las pruebas de impacto de las muestras óptimas de cada autor con respecto a los refuerzos de fibras naturales usados.

Refuerzo	Matriz	Autor	% de refuerzo	Ensayo de impacto		
				Energía absorbida		
				Plástico	Compuesto	
					ST*	CT*
Agave	LMDPE	López-Bañuelos et al. (2012)	10%	7-8 J/mm	3 J/mm	-
		Cisneros-López et al. (2016)	10%/20%	121 J/m	164 J/m	100 ^A J/m
		Cisneros-López et al. (2017a)	10%/20%	121 J/m	164 J/m	100 ^A J/m
	PLA	Cisneros-López et al. (2017b)	10%	25-30 J/m	25-30 J/m	-
		Cisneros-López et al. (2018)	10%	25-30 J/m	25-30 J/m	-
Madera	PE	McDowell et al. (2001)	10%	5-6 J/mm	1,5 J/mm	-
	LMDPE	Jayaraman et al. (2007)	15%	85 J/m	125 J/m	-
	Pino/LMDPE	Ward-Perron y Rodrigue (2012b)	15%	45 J/mm	32 J/mm	-
		Cisneros-López et al. (2017a)	20%	121 J/m	100 ^A J/m	80 ^A J/m
	Arce/LLDPE	Hanana y Rodrigue (2018)	20%	-	9 ^A kJ/m ²	9 ^A kJ/m ²
Plátano	PE	Ortega et al. (2013)**	5%	9,3 J/mm	1,5 J/mm	-
Abacá	PE		5%	9,3 J/mm	2,6 J/mm	2,3 J/mm
Coco	LMDPE	Cisneros-López et al. (2017a)	20%	121 J/m	100 ^A J/m	80 ^A J/m
<p>(*) Las siglas “ST” y “CT” significan sin tratamiento y con tratamiento, respectivamente, haciendo referencia al refuerzo usado.</p> <p>(**) Resultados de las muestras con dos capas fabricadas por dicho autor.</p> <p>(A) No se menciona el resultado en el trabajo, pero se pudo estimar a partir del grafico presentado que el valor se encuentra alrededor del número indicado.</p> <p>(B) No se menciona el resultado en el trabajo. A partir del grafico que presentan se puede indicar que el valor es superior al indicado.</p> <p>El guion (-) entre dos números indica que el autor proporcionó un rango o que no se pudo identificar con exactitud y por lo tanto se estima que el resultado se encuentre en el rango presentado.</p> <p>La barra inclinada (/) separa los resultados óptimos, en los autores que usaron tratamiento químico en el refuerzo, de la manera siguiente: (resultado sin tratamiento/ resultado con tratamiento)</p>						

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

Es necesario confirmar la exclusión del Reglamento APQ (RD 656/2017) comprobando si la categoría, las indicaciones de peligro del producto y las cantidades almacenadas (columna 5) se contemplan dentro de la Tabla 1 del artículo 2 del citado Reglamento.

Por ejemplo, las indicaciones de peligro para el producto RESINA DE POLIÉSTER contemplado en esta ficha son:

H332 Nocivo en caso de inhalación. Categoría 4

H319 Provoca irritación ocular grave. Categoría 2

H226 Líquidos y vapores inflamables. Categoría 3.

H361 Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad o dañar el feto. Categoría 2.

H315 Provoca irritación cutánea. Categoría 2.

H372 Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. Categoría 1.

El valor más restrictivo obtenido en la columna 5 para las anteriores indicaciones de peligro y categoría es de 250 kg.

CONCLUSIÓN:

SI EL ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS CON LAS FRASES Y CATEGORÍAS INDICADAS FUERA SUPERIOR A 250 KG EL REGLAMENTO APQ ES DE APLICACIÓN.

Si además son almacenados en envases móviles, es de aplicación la ITC MIE APQ-10, excepto cuando se cumplan las tres condiciones siguientes (art. 2 b ITC MIE APQ 10):

1. que se utilicen en casos aislados (máximo una vez al año) y
2. que se utilicen y se almacenen in situ y
3. que no se supere la cantidad necesaria prevista para 10 días y un periodo de almacenamiento de 30 días.

Restricciones de almacenamiento para RESINA EPOXI establecidas en la ITC MIE APQ 10.

No almacenar conjuntamente con:

- Líquidos y sólidos pirofóricos, sustancias y mezclas que experimenten calentamiento espontáneo ni sustancias que, en contacto con el agua, desprendan gases inflamables.
- Gases comburentes no incluidos en APQ 5, líquidos y sólidos comburentes a no ser que se sectoricen mediante armarios protegidos.
- Productos químicos corrosivos en recipientes frágiles y bifenilos policlorados a no ser que se adopten las medidas necesarias para que, en caso de siniestro, no provoquen reacciones peligrosas (separación mediante obra, armarios protegidos, grandes distancias, etc.)
- Tóxicos no inflamables ni combustibles a no ser que se sectoricen mediante obra, armarios protegidos, grandes distancias, etc.

Si es de aplicación el Reglamento APQ habría que cumplir lo establecido en el mismo y en su caso en la ITC MIE correspondiente, que introduce obligaciones en cuanto a instalaciones, almacenamiento, restricciones, procedimientos escritos y formación registrada.

Nota: el ejemplo contempla las cantidades para el almacenamiento de un único producto, sin embargo, si hubiera productos con restricciones mayores habría que cumplir las restricciones más altas.

SI TIENES DUDAS, PREGUNTA AL RESPONSABLE. SOLICITA LA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO.



900 20 30 20

www.lineaprevencion.com

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

INFORMACIÓN

- ❖ Informar a los trabajadores del contenido de la ficha de datos de seguridad del producto.
- ❖ Impartir instrucciones sobre el almacenamiento y uso del producto.
- ❖ Y cualquier otra información derivada del desarrollo de las tareas encomendadas.

FORMACIÓN EN PRL

- ❖ Formación en manipulación de productos químicos, en caso de no estar incluida en la formación específica del puesto de trabajo.

EPI

Proporcionar al trabajador los equipos de protección individual necesarios y sus instrucciones de uso y mantenimiento:

- ❖ Guantes no desechables de protección contra riesgo químico.
- ❖ Gafas de seguridad con protección lateral/pantalla facial.
- ❖ Protección respiratoria: máscara auto filtrante para gases y vapores.
- ❖ Calzado de seguridad contra riesgo químico con propiedades antiestáticas y resistentes al calor.
- ❖ Prendas de protección total de la piel frente a riesgo químico, antiestática e ignífuga.

Para cada caso concreto se deben estudiar las características técnicas que deberán cumplir los distintos equipos de protección individual necesarios (los indicados en la ficha de datos de seguridad del producto y en la evaluación de riesgos del puesto de trabajo).



CONTROLES DE EXPOSICIÓN MEDIOAMBIENTAL

Recomendaciones generales: en virtud de la legislación comunitaria de protección del medio ambiente se recomienda evitar el vertido tanto del producto como de su envase al medio ambiente.

RESTRICCIONES DE USO

Trabajadores especialmente sensibles:

Trabajadores que tras un reconocimiento médico presenten un **APTO CONDICIONADO O NO APTO** para el uso de estos productos.

Mujeres embarazadas.

Valor límite de exposición profesional

No existen valores límites ambientales para las sustancias que constituyen el producto. Consultar la ficha de datos de seguridad del producto.

APLICACIÓN REGLAMENTO DE ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS QUÍMICOS (RAPQ)

El Reglamento APQ puede ser de aplicación en obras de construcción, en función de:

- Las indicaciones de peligro del producto,
- La cantidad de producto almacenada y/o
- Tamaño del envase unitario en caso de líquidos tóxicos agudos categoría 1 y 2.

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

- ❖ Se debe impedir que el agua de extinción de incendios contaminada con este material entre en vías de agua, drenajes o alcantarillados.

MEDIDAS A ADOPTAR PARA SU ELIMINACIÓN

- ❖ Establecer un lugar adecuado en la obra para ubicar los residuos y recipientes o envases en desuso.
- ❖ Recuperar si es posible.
- ❖ Enviar a centros de eliminación autorizados o a incineración en condiciones controladas. Operar conforme a las disposiciones locales y nacionales vigentes.
- ❖ No verter en redes de alcantarillado, sistemas de drenaje o aguas superficiales
- ❖ **Antes de llevar a cabo la eliminación de los residuos, se deben consultar las normativas nacionales, autonómicas y locales. A nivel nacional son de obligado cumplimiento la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados, Real Decreto 833/1988, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución de la Ley 20/1986, Básica de Residuos Tóxicos y Peligrosos, y Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.**

PRIMEROS AUXILIOS

En caso de accidente o malestar, acuda inmediatamente al médico. Los síntomas de intoxicación pueden aparecer hasta 48 horas después, se requiere supervisión médica después del accidente.

- ❖ **En caso de inhalación:**
Retirar al afectado del lugar de exposición, suministrarle aire limpio y mantenerlo en reposo.
En casos graves como parada cardiorrespiratoria, se aplicarán técnicas de respiración artificial (respiración boca a boca, masaje cardíaco, suministro de oxígeno, etc.) requiriendo asistencia médica inmediata.
- ❖ **En caso de contacto con la piel:**
Quitar la ropa y los zapatos contaminados, aclarar la piel o duchar al afectado si procede con abundante agua fría y jabón neutro.
En caso de afección importante acudir al médico.
Si el producto produce quemaduras o congelación, no se debe quitar la ropa debido a que podría empeorar la lesión producida si esta se encuentra pegada a la piel.
En el caso de formarse ampollas en la piel, éstas nunca deben reventarse ya que aumentaría el riesgo de infección.
- ❖ **En caso de ingestión:**
No inducir al vómito, en el caso de que se produzca mantener inclinada la cabeza hacia delante para evitar la aspiración.
Mantener al afectado en reposo. Enjuagar la boca y la garganta, ya que existe la posibilidad de que hayan sido afectadas en la ingestión.
- ❖ **En caso de contacto con los ojos:**
Enjuagar los ojos con abundante agua a temperatura ambiente al menos durante 15 minutos.
Evitar que el afectado se frote o cierre los ojos.
En el caso de que el accidentado use lentes de contacto, éstas deben retirarse siempre que no estén pegadas a los ojos, de otro modo podría producirse un daño adicional.
En todos los casos, después del lavado, se debe acudir al médico lo más rápidamente posible con la ficha de datos de seguridad del producto.

OBLIGACIONES DEL EMPRESARIO

PREVIO AL INICIO DE LOS TRABAJOS EL EMPRESARIO PROPORCIONARÁ AL TRABAJADOR:

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

- ❖ Almacenar estos productos separados de otros productos químicos. Disponer de un armario de seguridad para dichos productos. En el caso de envases de gran tamaño, deberán almacenarse preferentemente en el exterior.
- ❖ Mantener el contenedor bajo llave, bien cerrado y sellado hasta el momento de usarlo. Los envases abiertos deben cerrarse perfectamente con cuidado y mantenerse en posición vertical para evitar derrames. No almacenar en contenedores sin etiquetar. Utilizar un envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.
- ❖ Se requiere ventilación por el suelo. Almacenar en el envase original fuera del alcance de los rayos solares directos.
- ❖ Evitar fuentes de calor, radiación, electricidad estática y el contacto con alimentos.
- ❖ No conservar a temperaturas superiores a 25°C.
- ❖ Almacenar en un lugar seco, fresco y bien ventilado, lejos de materiales incompatibles.
- ❖ Almacenar las sustancias oxidantes alejadas de la caseta de almacenamiento.
- ❖ Colocar un anuncio bien visible de prohibido fumar y encender fuego.
- ❖ Ver las restricciones de almacenamiento en caso de aplicación del Reglamento APQ.

MEDIDAS PREVENTIVAS EN CASO DE VERTIDO Y DERRAME

- ❖ En caso de derrame pequeño:
 - Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo, retirar los envases del área del derrame, diluir con agua y fregar si es soluble en agua.
 - Alternativamente, o si es insoluble en agua, absorber con un material seco inerte y colocar en un contenedor de residuos adecuado. Usar herramientas a prueba de chispas y equipo a prueba de explosión. Eliminar por medio de un contratista autorizado para la eliminación.
- ❖ En caso de derrame grande:
 - Detener la fuga si esto no presenta ningún riesgo. Retire los envases del área del derrame. Aproximarse al vertido en el sentido del viento. Evitar que se introduzca en alcantarillas, canales de agua, sótanos o áreas reducidas. Detener y recoger los derrames con materiales absorbentes no combustibles, como arena, tierra, vermiculita o tierra de diatomeas, y colocar el material en un envase para desecharlo de acuerdo con las normativas locales. Usar herramientas a prueba de chispas y equipo a prueba de explosión. Eliminar por medio de un contratista autorizado para la eliminación. El material absorbente contaminado puede presentar el mismo riesgo que el producto derramado
- ❖ Evacuar la zona y mantener a las personas sin protección alejadas.
- ❖ Ante el contacto potencial con el producto derramado se hace obligatorio el uso de elementos de protección personal
- ❖ Evitar de manera prioritaria la formación de mezclas vapor-aire inflamables, ya sea mediante ventilación o el uso de un agente inertizante.
- ❖ Suprimir cualquier fuente de ignición.
- ❖ Eliminar las cargas electroestáticas mediante la interconexión de todas las superficies conductoras sobre las que se puede formar electricidad estática, y estando a su vez el conjunto conectado a tierra.

MEDIDAS PREVENTIVAS EN CASO DE INCENDIO

- ❖ Utilizar polvo químico seco, CO₂ o espuma. Cubrir con vermiculita u otro material incombustible.
- ❖ No usar chorro de agua.
- ❖ La presión puede aumentar y el contenedor puede explotar en caso de calentamiento o incendio, con el riesgo de producirse una explosión.
- ❖ En caso de incendio, refrigerar los recipientes y tanques de almacenamiento de productos susceptibles a inflamación o explosión como consecuencia de elevadas temperaturas.
- ❖ Como consecuencia de la combustión o descomposición térmica se generan subproductos de reacción que pueden resultar altamente tóxicos y, consecuentemente, pueden presentar un riesgo elevado para la salud.

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

- ❖ Hacer uso de la extracción localizada y mantener una adecuada ventilación general, si durante la operación existen desprendimientos de gases o vapores o formación de polvo.
- ❖ Cuando se puedan producir derrames, llevar a cabo la operación en lugares específicos que garanticen una recogida y drenaje de estos a lugar seguro y en condiciones de ventilación adecuadas. Prever el uso de sustancias o cubetos de neutralización para cada caso. No utilizar trapos o papel para su absorción.
- ❖ Manipular o transportar los recipientes de capacidad superior a dos litros mediante protectores de envases, cubos o carros; y transportar los envases de vidrio en contenedores.
- ❖ Trasvasar en lugares bien ventilados, preferentemente mediante extracción localizada. Controlar totalmente los focos de ignición (teléfonos móviles, chispas, etc.) y ventilar en las operaciones de limpieza. Limitar los trasvases manuales a recipientes de pequeña cantidad.
- ❖ Trasvasar a velocidades lentas para evitar la generación de cargas electroestáticas. Ante la posibilidad de existencia de cargas electroestáticas: asegurar una perfecta conexión equipotencial, utilizar siempre tomas de tierras, no emplear ropa de trabajo de fibras acrílicas, empleando preferiblemente ropa de algodón y calzado conductor.
- ❖ Se recomienda disponer de material absorbente en las proximidades del producto.
- ❖ No comer, beber ni fumar en las zonas de trabajo; lavarse las manos después de cada utilización, y despojarse de prendas de vestir y equipos de protección contaminados antes de entrar en las zonas para comer.
- ❖ Mantener el producto lejos de alimentos, bebidas o tabaco.
- ❖ Conservar el etiquetaje de los recipientes y etiquetar debidamente las soluciones preparadas. Emplear envases adecuados al tipo de riesgo que presenta cada producto.
- ❖ Mantener los recipientes cerrados herméticamente.
- ❖ No reutilizar envases para otros productos sin quitar la etiqueta original. No sobreponer etiquetas.
- ❖ Limpiar los envases que se vayan a reutilizar, aunque sea para contener el mismo producto.
- ❖ Utilizar los equipos de protección individual establecidos.
- ❖ Cumplir con los requisitos esenciales de seguridad para equipos y sistemas definidos en el RD 400/1996 (ATEX 100) y con las disposiciones para la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores expuestos a los riesgos derivados de atmósferas explosivas en el lugar de trabajo RD 681/2003 (ATEX 137).
- ❖ Seguir las instrucciones indicadas para una correcta eliminación de residuos químicos (se depositarán en recipientes adecuados, en función de su peligrosidad, hasta su eliminación).
- ❖ Seguir las pautas indicadas para una adecuada actuación en caso de incidente, accidente o emergencia (incendio, explosión, derrame, proyección, salpicadura, quemadura, etc.).

MEDIDAS PREVENTIVAS EN EL ALMACENAMIENTO

- ❖ Establecer un lugar seguro en la obra para el almacenamiento de los productos químicos.
- ❖ Señalizar claramente y en lugar visible los riesgos.
- ❖ Mantener unas condiciones adecuadas de ventilación, temperatura y luminosidad, así como proteger a los productos de la luz directa del sol.
- ❖ Conservar los productos en su envase de origen, bien cerrados y con dispositivo de seguridad.
- ❖ Garantizar que todos los productos almacenados estén adecuadamente identificados.
- ❖ Utilizar cubetos de retención o baldas inclinadas con recogida de fugas o derrames de producto químico. El suelo deberá ser impermeable para evitar su filtración y propagación.
- ❖ Las estanterías deberán ser de un material adecuado a los productos químicos almacenados (no serán de madera). Son recomendables las metálicas.
- ❖ Revisar las áreas de almacenamiento periódicamente.
- ❖ Disponer de materiales de absorción adecuados (tierra, arena o similar, nunca serrín) para la recogida de posibles fugas y derrames.
- ❖ Los envases pesados, así como ácidos y bases, se deben colocar en los estantes más bajos.
- ❖ Alejar los reactivos sensibles al agua de las tomas o conducciones de esta.
- ❖ Restringir el acceso al personal.
- ❖ Garantizar unas condiciones adecuadas de orden y limpieza.

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

H361 Se sospecha que puede perjudicar la fertilidad o dañar el feto. Categoría 2.

H315 Provoca irritación cutánea. Categoría 2.

H372 Provoca daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas. Categoría 1.

Para algún producto concreto, debido a su composición particular, puede variar la información respecto a los peligros y medidas, se debe consultar siempre la ficha de datos de seguridad del correspondiente producto.

PELIGROS PARA LA SALUD

En caso de exposición repetitiva, prolongada o a concentraciones superiores a las establecidas por los límites de exposición profesionales, pueden producirse efectos adversos para la salud en función de la vía de exposición:

Inhalación:

Una exposición a altas concentraciones puede motivar depresión del sistema nervioso central ocasionando dolor de cabeza, mareos, vértigos, náuseas, vómitos, confusión y en caso de afección grave, pérdida de conciencia.

Contacto con los ojos:

Produce lesiones oculares tras contacto.

Contacto con la piel:

Produce inflamación cutánea.

Ingestión:

La ingesta de una dosis considerable puede originar irritación de garganta, dolor abdominal, náuseas y vómitos.

PELIGROS FÍSICOS

Estable químicamente bajo las condiciones indicadas de almacenamiento, manipulación y uso por lo que no se esperan reacciones peligrosas que puedan producir una presión o temperaturas excesivas.

Por posibles incompatibilidades se deben evitar ácidos y bases fuertes, así como evitar incidencias directas de materias comburentes.

Riesgo de inflamación en caso de calentamiento.

MEDIDAS PREVENTIVAS

Consejos de prudencia:

P101 Si se necesita consejo médico, tener a mano el envase o la etiqueta.

P102 Mantener fuera del alcance de los niños.

P210 Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar.

P264 Lavarse concienzudamente tras la manipulación.

P280 Llevar guantes/prendas/gafas/máscara de protección.

P305+P351+P338 EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Enjuagar con agua cuidadosamente durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto cuando estén presentes y pueda hacerse con facilidad. Proseguir con el lavado.

P370+P378 En caso de incendio: Utilizar extintor de polvo ABC para la extinción.

P501 Eliminar el contenido/el recipiente mediante el sistema de recogida selectiva habilitado en su municipio.

MEDIDAS PREVENTIVAS DURANTE SU MANIPULACION

- ❖ Seguir las indicaciones de la etiqueta de los envases y de las fichas de datos de seguridad.
- ❖ Seguir, en su caso, los procedimientos de trabajo que se hayan establecido.

FICHA COMPLETA RESINA DE POLIÉSTER

LA PRESENTE FICHA CONTEMPLA INFORMACIÓN GENÉRICA DE RIESGOS Y MEDIDAS PREVENTIVAS DEL PRODUCTO. EN NINGÚN CASO SUSTITUYE A LA FICHA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL PRODUCTO DEL FABRICANTE QUE DEBEN CONOCER LOS TRABAJADORES Y PERMANECER EN EL CENTRO DE TRABAJO.

DESCRIPCIÓN Y USOS

Las resinas de poliéster son compuestos químicos termoplásticos derivados de la destilación del petróleo. Están clasificadas dentro de la familia de los plásticos, denominados técnicamente polímeros. Tienen una buena resistencia a la compresión térmica, mecánica y química. Las resinas de poliéster se suelen encontrar en estado líquido y para que se transformen en sólido se produce una reacción química gracias a un catalizador.



USOS

Se usan como matriz para la construcción de equipos, tuberías anticorrosivas y fabricación de plásticos y pinturas. Son líquidas a temperatura ambiente y para dar mayor resistencia mecánica, pueden ser llevadas a estado sólido por la adición de un catalizador. Además de lo indicado, en construcción se emplea en capas de impresión, tanto para proteger de la corrosión como para mejorar la adherencia de posteriores capas de pintura.

PUESTO DE TRABAJO ASOCIADO

Albañil – Operario de demolición y rehabilitación – Electricista – Fontanero e Instalador de climatización – Revestidor – Pintor – Soldador y alicatador – Operador de equipos manuales – Operario de aislamiento e impermeabilización – Montador de estructuras tubulares – Operario de estabilización de explanadas y extendido de firmes – Operarios de Redes de abastecimiento, saneamiento y pocería – Montador de prefabricados de hormigón en obra – Operario de taller de materiales, piedras industriales, tratamiento o transformación de materiales, canteros – Operario de mantenimiento de maquinaria y vehículos – Montador de escayola, placas de yeso laminado y asimilados – Aquellos puestos donde se haga uso.

FASE DE OBRA

Actuaciones previas – Movimiento de tierra/Acondicionamiento del terreno – Estructura – Cerramiento, tabiquería y particiones – Carpintería y cerrajería – Cristalería – Acabados – Instalaciones y suministros – Aislamiento e impermeabilización – Cubiertas – Revestimientos – Equipamientos – Urbanización – Gestión de residuos.

PELIGROS



Sustancias con
peligros graves
para la salud



Sustancias
peligrosas para
la salud



Sustancias
Inflamables

Indicaciones de peligro

H332 Nocivo en caso de inhalación. Categoría 4

H319 Provoca irritación ocular grave. Categoría 2

H226 Líquidos y vapores inflamables. Categoría 3.