



Utilización de herramientas técnicas de análisis funcional para la obtención de postes a partir de PET reciclado

BABAÑOLI, José Junior¹; FERNÁNDEZ, Patricio¹; MARTINEZ, Belly¹;
TORALES, Rosa¹; FRANCA, Veruschka Vieira^{2*}

¹ Departamento de Tecnología de Producción, Universidad Nacional de Asunción

² Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Sergipe

* Autor corresponsal. E-mail: veruschka@academico.ufs.br

RESUMEN

El reciclaje de botellas de plástico PET ha ganado interés debido a su contribución en la reducción de residuos plásticos en los vertederos ayudando a la conservación de recursos naturales. Este artículo se enfocó en analizar aspectos del desarrollo de productos para la obtención de los postes a partir de polietileno tereftalato (PET) reciclados. Se describen las etapas de obtención de los postes, y se presentan los resultados obtenidos con cada herramienta técnica utilizada. Se empleó como marco referencial el modelo de gestión de desarrollo de producto propuesto por Rozenfeld et al. (2006), en la macro fase de pre desarrollo, para determinar el grado de importancia de las especificaciones deseadas por los clientes se utilizó el método de Mudge y el despliegue de la función de la calidad (QFD). Para la macrofase de desarrollo se empleó el diagrama de técnica sistemática de análisis funcional (FAST) y una matriz morfológica para especificar la función de cada una de las partes de la máquina y las funciones de las mismas en las sucesivas etapas. Se recomienda innovaciones para optimizar el proceso de reciclaje y mejorar la calidad de los postes, contribuyendo a la mejora continua de las técnicas de reciclaje fomentando el desarrollo sostenible.

Palabras claves: Análisis funcional; Proceso de Desarrollo de Producto (PDP); Reciclaje.

Use of technical tools for a functional analysis to obtain recycled PET posts

ABSTRACT

The recycling of PET plastic bottles has gained interest due to its contribution to reducing plastic waste in landfills and helping preserve natural resources. This article focused on analyzing aspects of product development for obtaining posts made from recycled polyethylene terephthalate (PET). The stages of obtaining the posts are described, and the results obtained with each technical tool used are presented. The product development management model proposed by Rozenfeld et al. (2006) was used as a reference framework, specifically the pre-development macro phase. The Mudge method and Quality Function Deployment (QFD) were used to determine the importance level of customer specifications. The functional analysis systematic technique (FAST) diagram and a morphological matrix were employed in the development macro phase to specify the function of each machine part and its functions in subsequent stages. Innovations are recommended to optimize the recycling process and improve the quality of the posts, contributing to the continuous improvement of recycling techniques and promoting sustainable development.

Keywords: Functional analysis; Product Development Process (PDP); Recycling.

1 Introducción

En el Paraguay, según Madés (2020), estimativamente se generan 7.000 toneladas de residuos por día, de los cuales 700 toneladas son plásticos y de ese total sólo el 3% se recicla. se calcula, en promedio, por cada 100 kilogramos de residuos sólidos urbanos generados, 10 kilogramos corresponden a plástico potencialmente reciclable o valorizable.

Entre las posibilidades de agregar valor a los residuos plásticos se encuentra la de utilizar como agregados de plástico reciclado en reemplazo total o parcial de componentes naturales. El reciclado físico-mecánico de plástico es uno de los procesos más utilizados para recuperar los residuos plásticos para utilizarlos en la fabricación de nueva materia prima (DAVIDSON et al., 2021).

Esta investigación tiene como objetivo la utilización de herramientas de análisis funcional para el proceso de desarrollo de postes de plásticos a base de los reciclados de PET, para ello identifica las partes interesadas en los postes de plástico, ordena las especificaciones del producto de acuerdo a la priorización de los consumidores y relaciona las necesidades de los consumidores con las especificaciones técnicas del poste. Con este producto se espera mitigar la problemática de la acumulación de residuos plásticos en específico del tipo polietileno tereftalato (PET); proporcionando un valor agregado mediante la aplicación de operaciones físico - mecánicas para transformarlos en postes utilizables como cercado urbano y en la jardinería en general. También se emplea como marco referencial el modelo de gestión de desarrollo de producto propuesto por Rozenfeld et al. (2006), para obtener información en las distintas etapas del proceso de desarrollo del producto, utiliza herramientas de análisis funcional tales como el método de mudge, matriz QFD, diagrama FAST entre otros.

2 Marco Teórico

2.1 Características del PET para su uso

Las propiedades del polietileno tereftalato son infinitas, se destaca por ser un material de gran dureza y rigidez, posee una gran transparencia, también distintas cargas de colorantes (DANIELSSON et al., 2018).

En la Tabla 1 se aprecia las distintas materias primas plásticas importadas, donde la principal es el PET, el cual es el origen de nuestro análisis (UTEPI, 2009).

Tabla 1 – Formas primarias importadas

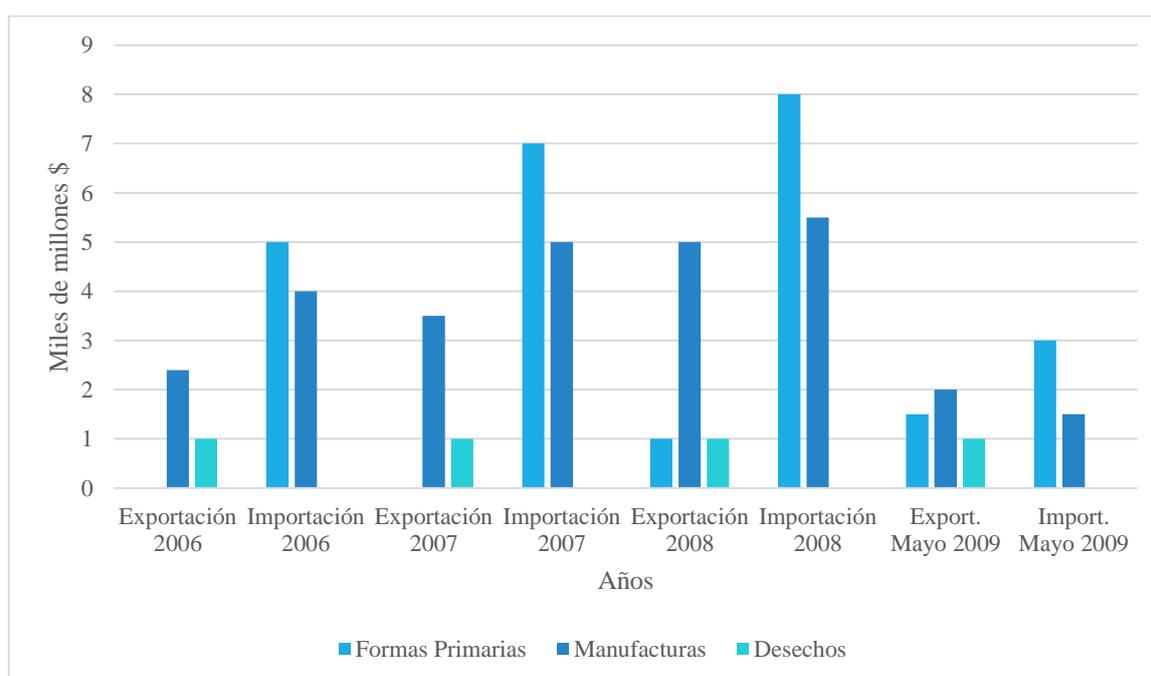
| Principales productos importados | Participación en las importaciones de formas primarias de plásticos | |
|--|---|-------------------|
| | 2008 | Enero – mayo 2009 |
| Polietileno Tereftalato (PET) | 23,7% | 36,7% |
| Polietileno de alta densidad (PEAD) | 15,4% | 13,4% |
| Policarbonatos | 12,9% | 16,3% |
| Polietileno de baja densidad (PEBDL y PEBD) | 12,6% | 9,0% |
| Polipropileno (PP) | 7,8% | 3,2% |
| Policloruro de Vinilo (PVC) | 4,3% | 2,7% |
| Los demás Poliésteres | 3,4% | 3,3% |
| Otras formas primarias de plásticas | 16,2% | 15,4% |

Fuente: Elaboración propia.

Según la Cámara de Industrias Sustentables de Paraguay, cerca de 300 millones de botellas PET son incorporados a la economía circular; en donde el reciclaje toma preponderancia para comercializarse directamente, en trocitos o como láminas fabricadas para exportación (LA NACIÓN, 2023).

En la figura 1 podemos apreciar las fluctuaciones de la importaciones y exportaciones de plásticos, que se convierten en potenciales materias primas para el emprendimiento (UTEPI, 2009).

Figura 1 – Comercio de formas primarias y manufacturas de plástico de Paraguay



Fuente: Elaboración propia.

2.2 Modelo de proceso de desarrollo de productos unificados

Según Rozenfeld et al. (2006), el modelo de desarrollo de productos es recomendable dividir en tres macro fases bien definidas:

- a) Macro fase de pre desarrollo: inicia con el direccionamiento estratégico del desarrollo del producto analizando sus oportunidades y restricciones a puntualizar en las etapas componentes de esta fase, considerando todos los aspectos internos y externos que influyen en el mismo.
- b) Macro fase de desarrollo: empieza con la información obtenida en la macro fase anterior transformando la información técnica y comercial para incluir en el prototipo, en su producción comercialización y soporte técnico.
- c) Macro fase post desarrollo: se asegura que durante la fase de desarrollo se atiendan todos los aspectos relacionados al ciclo de vida de un producto, siendo los primeros autores en proponer el acompañamiento del producto en el mercado, que permite identificar oportunidades de mejor en el producto.

2.3 Análisis funcional

Incluye la recopilación de todos los datos e información disponibles, las características de entrada y salida, el análisis de cada característica y la comparación. La Ingeniería y Análisis de Valor (EAV), tiene como objetivo observar cómo se estaban realizando las funciones del proceso o producto, para determinar si existe la necesidad de implementar cambios. El análisis funcional es un paso de la EAV, a través de esta se puede identificar lo que se necesita estudiar determinando las funciones que debe y/o debería desempeñar sus partes componentes (MASSARANI, 2002).

2.4 Técnica de análisis de intereses “Onion model”

Puede ser utilizado para comprender las influencias que se generan en el sistema entre las partes primarias interesadas y las partes secundarias; en donde las líneas mostraran donde existe la influencia sobre el otro, (ASHER Y POPPER, 2019).

2.5 Diagrama de Mudge

El diagrama de Mudge es una herramienta que permite la comparación de los requerimientos de proyecto con el objetivo de generar una jerarquía entre ellos, de acuerdo a su grado de importancia y relevancia en el proyecto (JAIMES, 2018).

2.6 Despliegue de la función de calidad (QFD)

Es un sistema enfocado en brindar valor a los productos buscando la satisfacción de las expectativas de los clientes; traduciendo estas necesidades en procedimientos técnicos y desplegar esto a través de toda la organización. Se puede considerar el QFD como una metodología que traduce la voz del cliente en parámetro técnico de diseño del producto, de forma horizontal, dentro de los departamentos planeación, ingeniería, manufactura y servicio. (DANIELSSON et al., 2018).

2.7 Técnica sistemática de análisis funcional – Diagrama FAST

Se utiliza para definir las funciones básicas que son parte esencial del producto. Se realizan las preguntas “¿cómo?” para determinar el orden de las funciones, y “¿por qué?” para confirmar la selección lógica; permite visualizar el producto o servicio como un todo. Además, el diagrama nos permite obtener un número suficiente de funciones básicas independientes entre sí, que son necesarias para el desempeño requerido (CARRASCO, 2015).

2.8 Matriz morfológica

Muestra simultáneamente las funciones que componen la estructura funcional elegida para el producto terminado (GALLEGOS, 1998).

2.9 Flujogramas

Para obtener una comprensión más imparcial de cómo funciona cualquier proceso que se esté estudiando, se puede utilizar el diagrama de flujo como una técnica apropiada; muestra de manera dinámica, lógica y concisa las rutinas y los procedimientos en los cuales están involucrados documentos e información (OLIVEIRA, 2004).

2.10 Etapas para la obtención del producto final

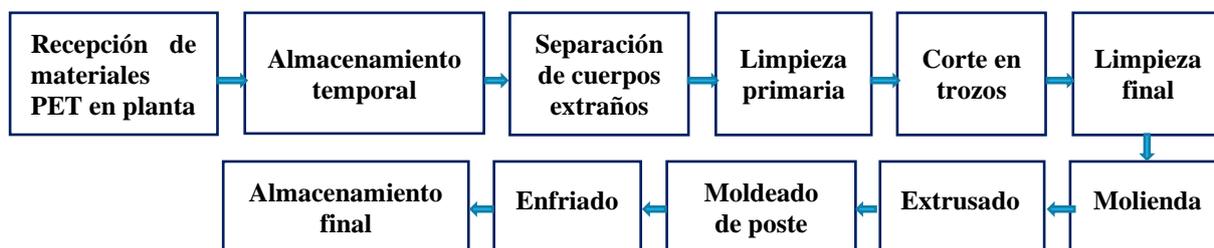
Se describe las etapas aplicadas al tereftalato de polietileno reciclado para la elaboración de los postes:

- a) Recepción del material PET: el proceso inicia con la recepción de los envases de PET utilizados (botellas y otros provenientes de embalajes de diferentes productos), es fundamental la revisión del material que sea el deseado. (DANIELSSON et al. , 2018).
- b) Almacenamiento temporal: los residuos PET se deben transportar y almacenar resguardados de condiciones externas como lluvia y sol en un depósito de almacenamiento. (CULLEN, 2017).
- c) Limpieza y clasificación: se procede a una limpieza previa y un control visual para retirar todo cuerpo extraño que pueda estar entre los envases.

- d) Picado o cortes de los materiales: el proceso de corte comienza con el avance de la cinta transportadora de velocidad variable, donde los materiales, pasan al sistema de corte rotativo, compuesto de una cuchilla fija y de dos cuchillas móviles. Finalmente, la extrusora evacúa totalmente toda la materia triturada. (CULLEN, 2017).
- e) Molienda: Esta técnica consiste en convertir los plásticos en pequeños pellets o bolitas para su posterior transformación en productos reciclados como los postes de plásticos. Se desarrolla por fases y, en cada una, se produce un "triturado" compuesto por una mezcla de partículas de diversos tamaños, que pasan a un juego de tamices mediante el cual las partículas se separan en fracciones, según su diámetro. (ARDENTE; MATHIEUX, 2014).
- f) Extrusión de plásticos: la extrusión se refiere al proceso industrial de fundir y moldear el plástico a flujo constante de presión y fuerza, para obtener la forma deseada de cierto polímero para su aplicación final. El proceso de extrusión se puede aplicar a casi todos los tipos principales de polímeros: termoplásticos, elastómeros, termo endurecibles. (DANIELSSON et al. ,2018).
- g) Moldeado de postes: en el moldeo por extrusión se utiliza un transportador de tornillo helicoidal. El polímero es transportado desde la tolva, a través de la cámara de calentamiento, hasta la boca de descarga, en una corriente continua, el polímero emerge de la matriz de extrusión en un estado blando. (DANIELSSON et al. ,2018).
- h) Enfriado: los moldes se depositan en una piletta que contiene agua. (DANIELSSON et al., 2018).

En la Figura 2 se detalla la secuencia de actividades de elaboración.

Figura 2 – Flujo grama del proceso de obtención de postes de PET



Fuente: Elaboración propia.

3 Metodología

La metodología aplicada es cualitativa, los datos fueron obtenidos mediante encuestas a potenciales clientes y usuarios actuales.

Se elaboró un modelo de cebolla de los stakeholders involucrados en el sistema de organización de poste de plásticos.

Se aplicaron las diferentes herramientas de análisis funcional

a) Para la fase de Pre desarrollo

Se empleó el método de Mudge para la búsqueda de alternativas para que el producto realice con mejor desempeño las funciones requeridas. Se analizó los requerimientos de clientes mediante la matriz QFD (Quality function deployment), la misma proporcionó información fundamental para que el producto esté orientado al mercado meta.

b) Para la fase de Desarrollo

Se construyó un diagrama de FAST. Se seleccionó un tipo de herramienta de matriz morfológica que muestra simultáneamente las funciones que componen la estructura funcional elegida para el producto.

c) Para la fase Post Desarrollo

Se previeron innovaciones

4 Resultados

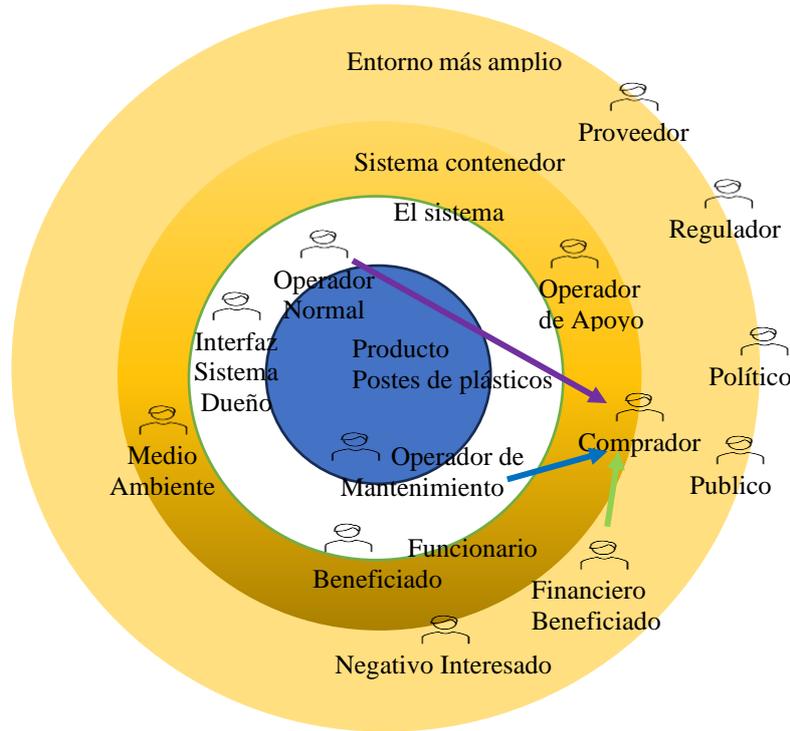
Se procesaron los datos obtenidos, empleando en cada una de las herramientas de análisis funcional.

4.1 Stakeholders involucrados en el sistema organizacional

Las partes interesadas en este proyecto se distribuyen en la Figura 3. Los proveedores en este caso serán los recicladores de basuras y el ente público directamente involucrado es el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADES).

El primer anillo muestra quienes influyen directamente en la satisfacción del cliente final.

Figura 3 – Modelo cebolla para los stakeholders – partes interesadas



Fuente: Elaboración propia.

4.2 Diagrama de Mudge

En la Figura 4 se representa la Jerarquización de las prioridades del cliente.

El resultado de las comparaciones de los requerimientos del proyecto generó la siguiente jerarquización: 1 Resistencia a la intemperie, 2 Reutilización y 3 Diseño práctico; son los principales requerimientos de los clientes para poder cumplir con sus expectativas.

Figura 4 – Aplicación método de Mudge para el diseño de postes de plástico

| Referencias | Precio | Resistencia a la Int. | Fácil de montar y desm. | Reutilización | Material mas Liviano | Diseño Práctico | Fácil de Mant. | Suma | % | Orden de prioridades |
|-------------|--------|-----------------------|-------------------------|---------------|----------------------|-----------------|----------------|------|-------|-------------------------------|
| A= 5 | 1 | 2B | 1B | 3A | 1C | 1C | 7C | 5 | 8,8 | 1 Resistencia a la intemperie |
| B=3 | | 2 | 2B | 3A | 2B | 2A | 7A | 14 | 24,6 | 2 Reutilización |
| C=1 | | | 3 | 4B | 3A | 6A | 3B | 8 | 14,0 | 3 Diseño Práctico |
| | | | | 4 | 4A | 6C | 4A | 13 | 22,8 | 4 Fácil de montar y desmontar |
| | | | | | 5 | 6B | 5C | 1 | 1,8 | 5 Fácil de Mantenimiento |
| | | | | | | 6 | 7C | 9 | 15,8 | 6 Precio |
| | | | | | | | 7 | 7 | 12,3 | 7 Material más Liviano |
| | | | | | | | | 57 | 100,0 | |

Fuente: Elaboración propia.

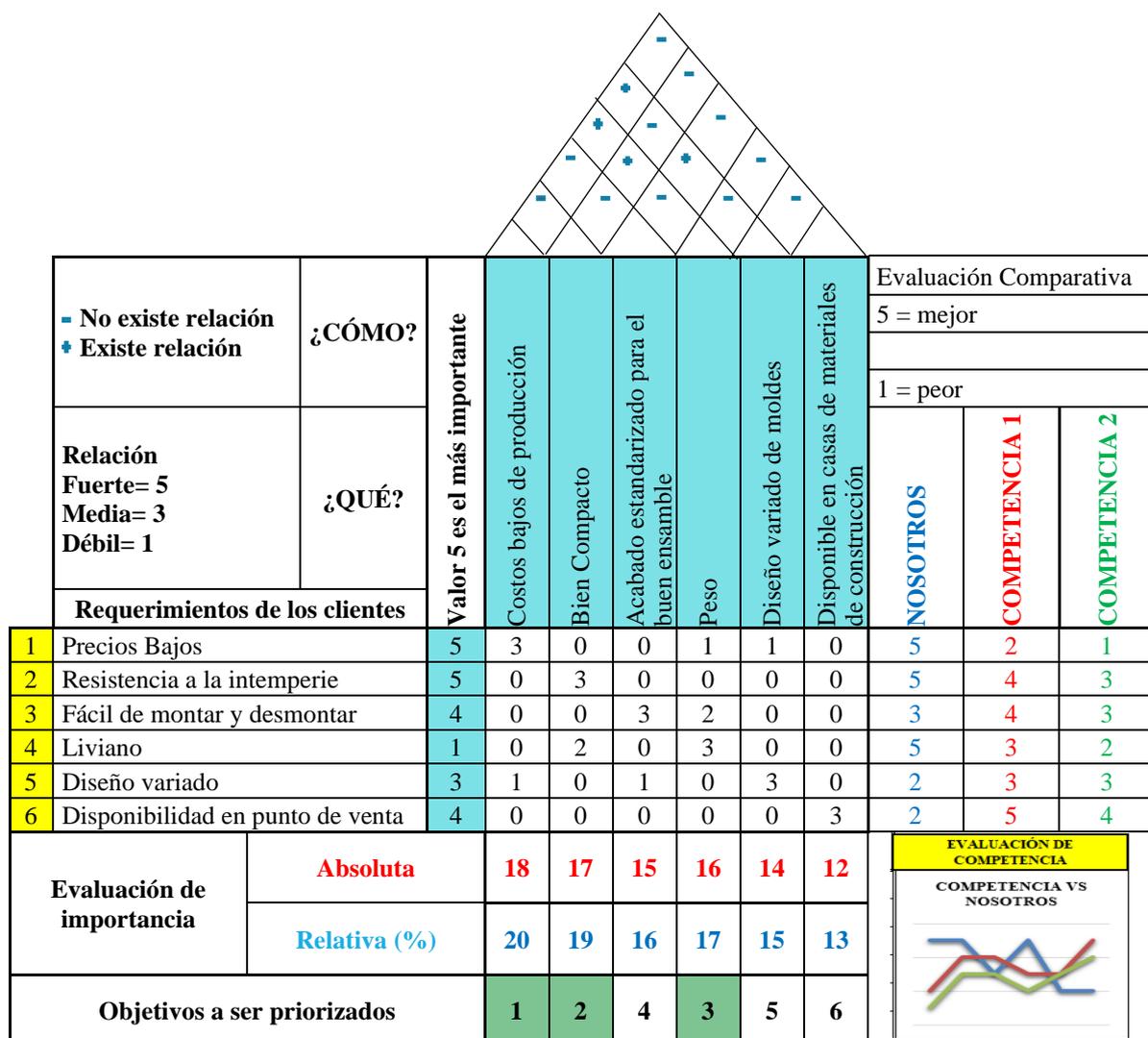
4.3 Matriz QFD

En la matriz QFD de la Figura 5 tenemos la comparación entre “la voz del cliente” con las especificaciones técnicas, para la priorización de objetivos y la comparación entre la fase inicial del proyecto con las competencias principales.

Interpretando el resultado de la matriz de relaciones, la organización debe poner mayor énfasis en los costos de producción, para entregar al mercado el producto a precio bajo.

En la matriz de interrelaciones se observa relación entre costos, bien compacto y peso; pues a mayor peso y compactibilidad se precisará más cantidad de material que afectará el costo. por la primera compra de moldes para tener mayor variedad de diseño también se tendrá un costo inicial alto por último tenemos relación entre el acabado estandarizado para el buen encaje con los diseños variados de moldes.

Figura 5 – Requerimientos de clientes mediante la matriz QFD



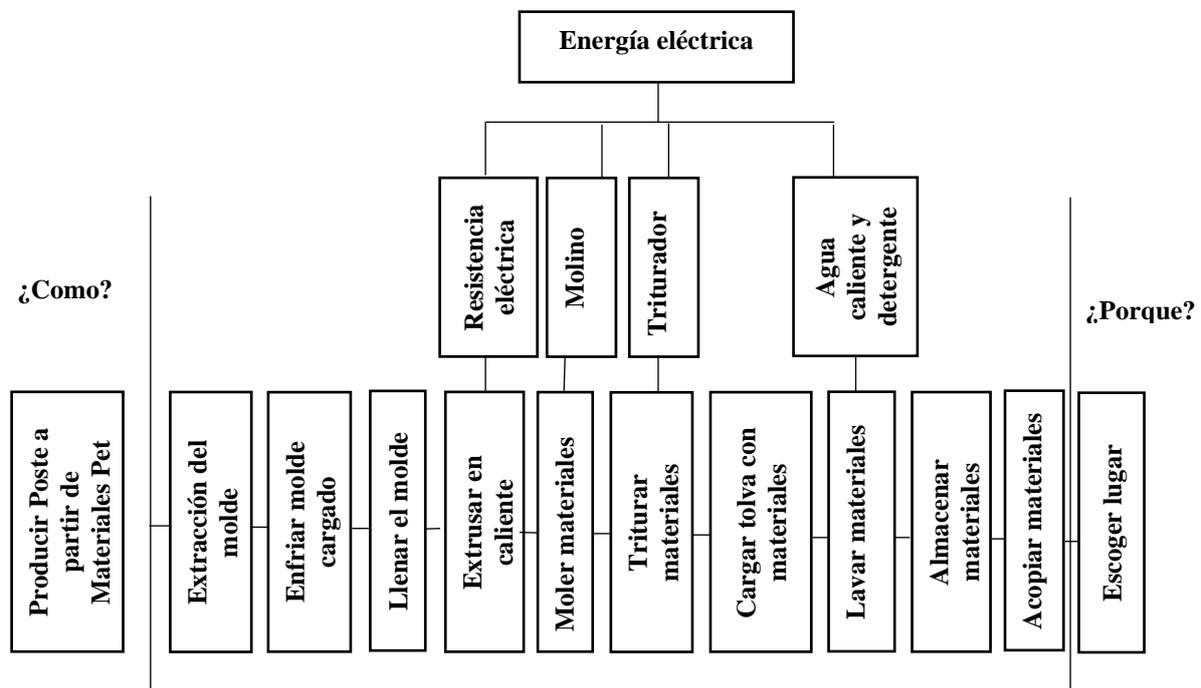
Fuente: Elaboración propia.

En relación a la competencia, la empresa competirá de manera positiva en los precios, dado que la materia prima principal es reciclada y será asequible, En su primera etapa, se debe poner especial énfasis en el desarrollo y la disponibilidad en los puntos de venta para aumentar la competitividad.

4.4 Técnica sistemática de análisis de funciones – Diagrama FAST

En la Figura 6 se distribuye las funciones y requisitos técnicos en orden lógico para la obtención del producto.

Figura 6 – Diagrama FAST para la obtención de postes de PET



Fuente: Elaboración propia.

4.5 Descripción morfológica de la línea de obtención

La máquina es semiautomática, las transformaciones suceden en compartimientos internos de la misma; primero se obtiene la materia prima (el plástico es lavado, triturado, luego pasa por la cámara de molienda y criba, secado) que se cargan en la tolva de alimentación que extrusa mediante resistencias eléctricas la materia prima, luego pasa a los moldes, una vez llenos pasan por baño de agua fría para solidificar, obteniéndose así los postes de PET.

4.6 Propuesta de innovación

El modelo planteado corresponde a postes para cercados urbanos y jardinería en general, ya se encuentran en el mercado postes con mezclas de resinas plásticas junto con madera, cemento y otros residuos naturales.

La propuesta de innovación para ampliar el mercado es fabricar postes de PET con refuerzo de cemento para su utilización en la separación de potreros para ganados menores y mayores.

5 Consideraciones finales

El empleo de herramientas de análisis funcional es de gran utilidad para el estudio cualitativo de valores apreciados por clientes en un producto, mediante la visión sistémica en el modelo cebolla se identifican las personas e instituciones involucradas en el proyecto; a través del diagrama Mudge, la matriz QFD y el diagrama FAST se determinan las características y funciones de desempeño más valoradas por los clientes, información a incorporar al diseño para cumplir con las funciones primordiales; la innovación del producto apunta a elaborar postes con aditivo de cemento, como alternativa para las funciones que puedan desempeñar, pudiendo expandir el mercado para otros usos como estructuras o soportes de líneas eléctricas o telefónicas con solo desarrollar los moldes, ampliando la gama de diseños.

Se recomienda continuar el análisis del proyecto para determinar viabilidad, rentabilidad y otros aspectos de gerenciamiento para el emprendimiento.

Referencias bibliográficas

- AKAO, Y. Quality function deployment, Integrating Customer Requirements Into Product Design. 2004.
- ARDENTE, F.; MATHIEUX, F. 2014. Identification and assessment of product's measures to improve resource efficiency: the case-study of an energy using product. **Journal of cleaner production**. 83:126-141. 10.1016/j.jclepro.2014.07.058
- ASHER, D.; Popper, M. El conocimiento tácito como fenómeno multicapa: el modelo "cebolla". La organización del aprendizaje. 2019.
- BOBILLO, J.M.; SANTONATO, A.J. **Análisis de la cadena de intermediarios de los materiales reciclables en el área metropolitana de Mendoza**. Ministerio de producción; Mendoza gobierno; Universidad Nacional de Cuyo. 44p. 2017.
- CARRASCO, J.B. Gestión de procesos. 6. ed. Santiago de Chile: Editora S.A.
- CULLEN, J.M. 2017. Circular economy: Theoretical benchmark or perpetual motion machine? **Journal of Industrial Ecology**. 21(3):483-486. 10.1111/jiec.12599
- DANIELSSON, S.E.; MØLLER, P.; RANDERS, L. Modelling CO₂ savings and economic benefits for the Kalundborg Symbiosis. Symbiosis Center Denmark. 10p. 2018.
- DAVIDSON, M.G.; FURLONG, R.A.; MCMANUS, M.C. Developments in the life cycle assessment of chemical recycling of plastic waste - A review. **Journal of Cleaner Production**. 293:126163. 2021. 10.1016/j.jclepro.2021.126163
- EXTRUSIÓN DE MATERIALES PLÁSTICOS | Tecnología de los Plásticos. (s. f.). <https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/03/extrusion-de-materiales-plasticos.html>

GALLEGOS, S. O. Metodología para la Satisfacción del Cliente "MSC" como una Herramienta para la Mejora Continua: Basada en "CU NEW", Análisis Funcional y "Mystery Shopper"- Edición Única. 1998.

JAIMES, 2018. Aplicación de técnicas de desenvolvimiento de producto para el desarrollo de un robot antropomórfico

LA NACIÓN / Cerca de 100.000 paraguayos viven del reciclaje. (s. f.). Recuperado 26 de junio de 2023, de <https://www.lanacion.com.py>

LEY N° 3956, 2009. Gestión Integral de los Residuos Sólidos, 24-12-2009 (Paraguay)

LOZANO SÁNCHEZ, M. Y.; Torres Pérez, Y. Plan de negocios para la creación de una empresa en la ciudad de Ibagué para transformar PET en Nuevos productos. 2020.

MADES, Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). Recuperado de <https://www.mades.gov.py/2020/07/03/dia-mundial-sin-bolsas-de-plastico-un-llamado-a-la-conciencia-para-reducir-su-uso/>

RIAÑO, Jaimes Cristhian. Universidad de Brasilia, Brasil recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/5537/553756967003>

ROZENFELD, H.; Forcellini, F. A.; Amaral, D. C.; Toledo, J. C. et al.; Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

SISTEMA DIGITAL SOFIA. Dirección Nacional de Aduanas - Ministerio de Hacienda – Paraguay. <https://www.aduana.gov.py/?cat=17>