

Diseño de una red de logística inversa de residuos de aluminio para la fabricación de partes y piezas usadas en la industria automotriz

Design of a reverse logistics network of aluminum waste for the manufacture of parts and pieces used in the automotive industry

Luis Jurado^a, Erik Punina^a, Pedro Castro^a

^aFacultad de Ingeniería Industrial, Universidad de Guayaquil, Guayaquil
090112, Ecuador.

¹**Autor de correspondencia:** luis.juradoi@ug.edu.ec

Recibido: 02, noviembre 2024; **Revisado:** 02, diciembre 2024; **Aceptado:** 02, enero 2025

Causalidad 2025, Vol. 1, Núm. 1

DOI: 10.70929/caui3.v1i1.q3301w67

Cómo Citar: L. Jurado, E. Punina, and P. Castro-Verdezoto, “Diseño de una red de logística inversa de residuos de aluminio para la fabricación de partes y piezas usadas en la industria automotriz”, *Revista Digital Científica Causalidad (caui3)*, vol. 1, no. 1, pp. 55–70, Jan. 2025, doi: 10.70929/caui3.v1i1.q3301w67.

Resumen

Este estudio realiza el diseño de una red de logística inversa eficiente para la industria de piezas automotrices, evaluando la viabilidad del aluminio secundario en la industria automotriz en Ecuador. El proceso de gestión de producto en logística inversa en Ecuador busca reutilizar, reciclar o disponer adecuadamente productos desde su consumo hasta su origen. En el caso del aluminio secundario, a pesar de su potencial para reducir el impacto ambiental, el país enfrenta desafíos significativos. La industria de reciclaje en desarrollo tiene problemas como la falta de infraestructura, la organización ineficiente de la cadena de suministro, y sistemas de recolección fragmentados. La recolección fragmentada y la falta de sistemas integrados de gestión de residuos dificultan el flujo efectivo del aluminio secundario desde el consumidor hasta los centros de reciclaje. Como resultado las empresas del sector automotriz pueden disponer la obtención de mayor ganancia al reducir los costos de producción asociados con la adquisición de materiales nuevos.

Palabras clave - Aluminio secundario, sector automotriz, producción de materiales, logística inversa, gestión de residuos.

Abstract

This study designs an efficient reverse logistics network for the automotive parts industry, evaluating the viability of secondary aluminum in the automotive industry in Ecuador. The reverse logistics product management process in Ecuador seeks to reuse, recycle or properly dispose of products from their consumption to their origin. In the case of secondary aluminum, despite its potential to reduce environmental impact, the country faces significant challenges. The developing recycling industry has problems such as lack of infrastructure, inefficient organization of the supply chain, and fragmented collection systems. Fragmented collection and lack of integrated waste management systems hinder the effective flow of secondary aluminum from the consumer to recycling centers. As a result, companies in the automotive sector can expect to make more profit by reducing the production costs associated with the purchase of new materials.

Keywords - Secondary aluminum, automotive sector, materials production, inverse logistics, waste management.

1. Introducción

El proceso de gestión del producto en procesos inversos se entiende desde el punto del alimento hasta su origen para su adecuado uso, reciclaje o disposición final. En el contexto ecuatoriano, el aluminio secundario es un recurso importante debido a su capacidad de reciclarse y reducir los impactos ambientales. El propósito de este análisis de antecedentes de la capa secundaria de aluminio en Ecuador es examinar los desafíos, oportunidades y actividades actuales en este campo.

Ecuador, aunque es un país con una industria de reciclaje en desarrollo, enfrenta desafíos importantes en la gestión de residuos, incluido el reciclaje de aluminio. A pesar de la existencia de programas de reciclaje y la presencia de empresas dedicadas al procesamiento de materiales reciclados, la eficiencia en la recolección, transporte y reciclaje del aluminio secundario aún no ha alcanzado su potencial [1]. Hay una falta de infraestructura y una buena gestión de la cadena de suministro en el país. La frágil recolección y la falta de sistemas integrados de gestión de residuos impiden el flujo eficiente de aluminio secundario desde los consumidores a los centros de reciclaje [2], [3], [4]. Además, existen barreras logísticas asociadas al transporte y almacenamiento de aluminio. La falta de buenas rutas de transporte y de suficientes instalaciones de almacenamiento aumenta los costos y reduce la eficiencia del reciclaje [5], [6].

A pesar de los desafíos antes mencionados, existen oportunidades de mejora en el diseño de redes de logística inversa utilizando aluminio reciclado. Por ejemplo, la implementación de mejores sistemas de recolección, como programas de recolección puerta a puerta o reciclaje comunitario, puede aumentar la cantidad de aluminio reciclado secundario. La introducción de tecnologías de inspección y monitoreo puede mejorar la visibilidad y disponibilidad de materiales reciclados con una mejor gestión y transparencia [7]. La falta de una estrategia para restaurar estos recursos es un desafío importante para la economía local.

Según la Asociación Norteamericana del Aluminio, la demanda mundial de aluminio está aumentando y alcanza los 65 millones de toneladas al año. Este

aumento se debe al fuerte uso del aluminio en sectores clave como el transporte, la construcción, la electrónica y el embalaje. El aluminio es de dos tipos, el primero, llamado aluminio primario, se obtiene a partir de materias primas vírgenes, en este caso el mineral utilizado es la bauxita. Este último se llama aluminio secundario y MAATE lo fabrica a partir de materias primas recicladas.

Bermeo [8], afirma que la producción mundial de aluminio es de 25 toneladas anuales, de las cuales el 20% lo cubre el sector del embalaje. Se sabe que el aluminio tiene altos costos de producción, por lo que se encuentra en los desechos, el 75% del aluminio que se producía hace más de 100 años ahora se usa debido al reciclaje, se puede usar en ventanas, cubriendo motores de aviones. etc.

El reciclaje de aluminio combinado con la extracción y producción de materiales ayuda a proteger el medio ambiente y los recursos naturales al reducir la cantidad de desechos enviados a los vertederos y reducir las emisiones al aire libre [9], [10]. Su uso permite aumentar los recursos disponibles y reducir la necesidad de materias primas, considerando que la industria de la ingeniería es una de las mayores consumidoras de recursos naturales y produce residuos. El uso de aluminio reciclado puede reducir la extracción de aluminio primario de fuentes naturales, reduciendo así la presión sobre el medio ambiente y ayudando a conservar recursos inútiles [11]. Como resultado, las empresas del sector automotriz pueden obtener más ganancias al reducir los costos de inversión asociados con la compra de nuevos materiales.

La importancia de adoptar prácticas sostenibles, como el uso de aluminio secundario, ayuda a las empresas de la industria automotriz a cumplir con las regulaciones ambientales y mejorar su reputación como empresa ambientalmente responsable, además de generar la confianza de los clientes comerciales locales. El reciclaje y producción de aluminio secundario tiene muchas ventajas, entre ellas el ahorro de combustibles fósiles, materias primas y hasta un 95% del consumo de energía. Además, hay una reducción significativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

La bauxita es una roca sedimentaria compuesta principalmente por óxidos de aluminio, hidróxidos de aluminio y minerales de hierro, con diversas impurezas de otros elementos. La extracción de la bauxita se lleva a cabo mediante métodos de minería a cielo abierto, una vez extraída, la bauxita se somete a un proceso de refinación para obtener alúmina, el óxido de aluminio puro que es el precursor del metal de aluminio [12], [13]. Este proceso, conocido como proceso Bayer, implica la trituración y molienda de la bauxita, seguida de la digestión con solución de hidróxido de sodio a alta temperatura y presión para disolver la alúmina. Entonces, el aluminio obtenido a partir de la bauxita es sometido al proceso de electrólisis en celdas de reducción para producir aluminio metal [14].

Las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de la extracción de bauxita y la conversión a aluminio, los valores de consumo de energía se obtuvieron de un estudio de huella ambiental. Además, se consideró el factor de emisión de diésel obtenido a partir de los factores de emisión de CO₂ del sistema interconectado en Ecuador.

Los resultados de la huella de carbono de las aleaciones de aluminio y los materiales de escaneo para mujeres y las aleaciones de aluminio y los materiales reciclados. La diferencia en las emisiones de gases de efecto invernadero es de 2204 kg CO₂, lo que corresponde a una

reducción del 69.7 % en las emisiones de gases de efecto invernadero. A partir de los resultados obtenidos, queda claro que el reciclaje del aluminio supone un ahorro importante en las emisiones de gases de efecto invernadero. El reciclaje del aluminio, al igual que el reciclaje de otros materiales reciclables, tiene muchos beneficios para el medio ambiente. Entonces, reciclar este material reduce las emisiones de gases de efecto invernadero en aproximadamente un 53%. Además, debido a la baja concentración en materiales específicos que se pueden reciclar, se ahorra un 38% de la energía necesaria para fundir las materias primas para fabricar botellas de vidrio. Al existir un enfoque limitado sobre los materiales específicos que se pueden reciclar, las actividades futuras del reciclaje y sus tecnologías están amenazadas por la falta de desarrollo y cooperación de las industrias.

En Guayaquil, se genera una gran cantidad de residuos sólidos para realizar proyectos municipales, y la participación de recicladores informales juega un papel importante en la recolección de residuos. Los materiales incluyen aluminio. Debido a esto, el desarrollo de un diseño de una red de lógica inversa para medir, mediante análisis, la capacidad de producir piezas y componentes a partir de aluminio reciclado es fundamental, aunque la rentabilidad depende de muchos factores, como la recogida, la distribución, el procesamiento en comparación con el aluminio femenino y el apoyo del mercado. Siendo, el proceso de logística inversa influye directamente en las operaciones de transporte, donde se planificarán los itinerarios según los tiempos y capacidad de carga de los vehículos.

Finalmente, es importante destacar que la sección 2, describe la metodología y planteamiento del problema, la sección 3 muestra diferentes resultados, finalmente se describen unas breves conclusiones sobre el trabajo realizado.

2. Metodología y planteamiento del problema

Para diseñar una red de logística inversa se utilizaron softwares como ArcMaps y el algoritmo de Dijkstra para identificar y optimizar las rutas de recolección con menor costo y tiempo de transporte para encontrar un modelo de planificación eficiente. Esto también ayudó a visualizar la información de manera más analítica para evaluar la distribución geográfica de los puntos de recolección. También se utilizó la herramienta GIS (Sistemas de Información Geográfica) que nos permitió la captura, almacenamiento, análisis y visualización de datos geoespaciales, es decir, información que tiene una referencia espacial o geográfica. En este caso, se implementó el uso de ArcGIS. En el contexto de la logística, un GIS se utiliza para gestionar y optimizar la distribución de recursos, el transporte, la planificación de rutas y la ubicación de instalaciones, entre otros aspectos.

El método implementado en la creación de una red de logística inversa para la recolección de aluminio reciclado en Guayaquil parte de la ubicación de puntos de reciclaje de residuos en la ciudad y centros de acopio, y determina la demanda, que corresponde a la cantidad de aluminio reciclado. En cada área, se examina el índice de costos de transporte para los dos tipos de transporte (camiones y camionetas) utilizados en la construcción de la matriz de costos.

2.1 Parámetros en modelos de estudio

Para crear la red de logística inversa para la recolección de aluminio reciclado en la ciudad de Guayaquil, es necesario definir algunas variables básicas para construir el modelo, como son la cantidad de aluminio reciclado en cada zona, la demanda y el transporte de residuos por cada kilómetro (kilómetro) recorrido. En este contexto, se dibujaron las ubicaciones en el mapa para poder encontrar los símbolos. Este trabajo permitió mostrar claramente la distribución geográfica de los puntos de recolección y facilitar la planificación y la toma de decisiones.

2.2 Ubicación en centros de acopio de aluminio secundario en la ciudad de Guayaquil

Dado que no todos los lugares donde se recolecta el aluminio secundario están registrados en el Ministerio de Comercio o Inversión Extranjera, o en la base de datos bajo demanda, se requiere un viaje a la ciudad, allí es donde se puede encontrar la basura y luego agregarla a el reciclaje. Se agregó la base de datos los nombres y direcciones, definida 18 puntos de acopio en Guayaquil.

Cuadro 1. Centros de acopio estratégicos de reciclajes en Guayaquil.

No.	Nombre de la empresa	Dirección
1	Recicladora Guayaquil	A. Isidro Ayora, SL. 14 Mz. 84
2	Ecoresa	Vía Daule, Calle 23 A N-O
3	Recynter	Vía Daule km 9. Laureles

El Cuadro 1 muestra los centros fueron seleccionados por su infraestructura y por su capacidad para manejar y procesar grandes cantidades de material reciclable. Su diseño y equipamiento nos permitirán recaudar y fundir todo el material proveniente de las recicladoras, transformándolo en materia prima de alta calidad. Esta materia prima será fundamental para la creación de nuevos productos a partir del aluminio recolectado, contribuyendo así a un ciclo de reciclaje eficiente y sostenible.

2.3 Demanda o Cantidad de aluminio recolectado en los puntos

Para determinar la cantidad generada de aluminio reciclado por mes en todos los puntos generadores, se realizó la selección representativa de una población de 18 sitios dedicados al reciclaje de aluminio en la ciudad de Guayaquil. Los resultados mostrados en el Cuadro 2 reflejan promedios obtenidos de un sondeo que permitió una estimación del volumen mensual de aluminio reciclado.

2.4 Cálculo en distancias recorridas desde centros de acopio

Se implementó la ayuda de ArcMaps para el cálculo de la distancia de las rutas y se logró calcular con mayor precisión los kilómetros recorridos desde el CA (Centro de Acopio) al realizar toda la ruta de reciclaje.

Utilizando ArcMaps, cada ruta de recolección fue mapeada y analizada en relación con características geográficas. Es importante mencionar que este software ya es utilizado por la

Alcaldía de Guayaquil para diversos procesos. Para las mediciones se utilizó el sistema de coordenadas WGS 1984, correspondiente al hemisferio sur, zona 17S.

Cuadro 2. Tonelada promedio al mes de aluminio reciclado, de los centros de reciclajes.

Centros de Reciclaje en Guayaquil		
No.	Nombre de la empresa	TN/mes
1	Recicladora Zuñiga	8
2	Recicladora del Pacifico	12
3	Ecoprioridad S.A	5
4	Recicladora Jjacosta	8
5	Practipow ER	21
6	Exporporflash	15
7	Reciplasticos	17
8	Metalking	11
9	Reciclaelectronic S.A.	10
10	Intercia S.A.	16
11	Recigrand	7
12	Seclart	7
13	Comdamet s.a	11
14	Recicladora c. Orellana	13
15	Recicladora Karlita de Patricia Caiche e hijas	9
16	Seginus	26
17	Metalben	13
18	Reciclajes Ferrita Ecuador	10
Total Tn		219

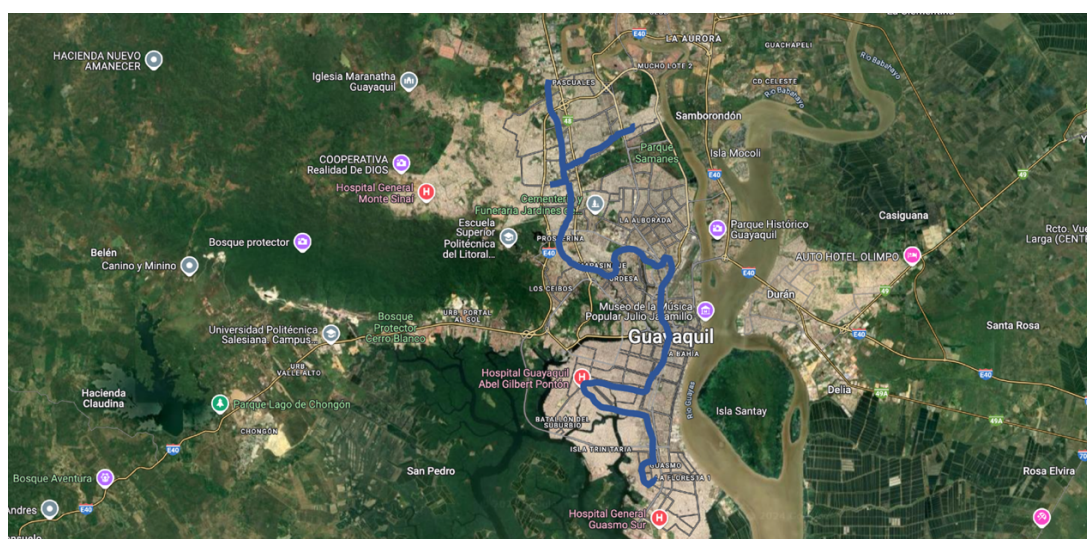


Figura 1. Medición de Km Importación Mapa de Google Earth en ArcMap.

Una vez selecciona el sistema de coordenada y zona se han exportado los puntos guardados en Google Maps y exportamos la imagen a ArcMap para efectuar la trazabilidad de la ruta (ver Figura 1) y poder obtener una medición de los datos espaciales (Km) y poder conocer con mayor presión los resultados de Km que se efectuaría realizar cada ruta o desde cada Centro de acopio.

El Cuadro 3 muestra los kilómetros recorridos por cada uno de los centros de acopio identificados para cada tipo de reciclaje. Este análisis detallado permite evaluar la eficiencia de la logística actual e identificar áreas de mejora. Con estos datos se puede optimizar las rutas de distribución para reducir el tiempo de viaje.

Cuadro 3. Detalle de Km recorrido por ruta de Transporte.

Total de Km Recorridos por ruta a Centros de Acopio																
No. de Ruta	Ruta centro de abastecimiento	Recicladora Zuñiga	Recicladora del Pacifico	Ecoprioridad S.A	Recicladora Jjacosta	Practipow ER	Exporporflash	Reciplasticos	Metalking	Reciclae electronic S.A.	Intercia S.A.	Recigrand	Seclart	Comdamet s.a	Recicladora c. Orellana	Recicladora Karl
Recicladora Guayaquil		58.8 km														
Ecoresa		59.9 km														
Recynter		56.9 km														

La ruta más viable por menor recorrido en logística comenzaría por la ruta 3 o ruta nombrada la Recyter, dando un total 56.9 km recorridos. A continuación, sería la ruta 2 o punto de acopio a Recicladora Guayaquil, con un recorrido de 58.8 km. La tercera ruta sería en Ecoresa, con 59.9 km.

2.5 Aplicación de algoritmo Dijkstra

Para recolectar residuos sólidos utilizando el algoritmo de Dijkstra, a partir de los puntos de referencia geográficos se tomaron de las ubicaciones de los recicladores establecidos, descritos en el Cuadro 4. Estos puntos fueron mapeados en un sistema de información geográfica (SIG) que permitió mostrar la ubicación exacta de cada punto de recolección.

Se utilizó el algoritmo de Dijkstra para encontrar la ruta óptima desde los puntos de recogida hasta el centro de recogida. Conocido por su capacidad para determinar la ruta más corta en una red pesada, este algoritmo optimizó la ruta de los vehículos recolectores y redujo la distancia recorrida y el tiempo de procesamiento. El resultado es un mejor programa de recolección de residuos, con mejores soluciones que reducen costos y mejoran los servicios de manejo de residuos sólidos.

Cuadro 4. Detalle de asignación de nodo por nombre de empresa de reciclaje.

Número de nodo	Nombre de la empresa
P1	Recicladora Zuñiga
P2	Recicladora del Pacifico
P3	Ecoprioridad S.A
P4	Recicladora Jjacosta
P5	Practipow ER
P6	Exporporflash
P7	Reciplasticos
P8	Metalking
P9	Reciclaelectronic S.A
P10	Intercia S.A.
P11	Recigrand
P12	Seclart
P13	Comdamet S.A
P14	Recicladora c. Orellana
P15	Recicladora Karlita de Patricia Caiche e hijas
P16	Seginus
P17	Metalben
P18	Reciclajes Ferrita Ecuador

Luego, se creó una red vial potencial, que incluyó datos de infraestructura vial como calles, caminos y caminos secundarios. De esta manera es posible modelar la situación real de la recogida de residuos, teniendo en cuenta las limitaciones y variables presentes en el entorno urbano.

Para el desarrollo del algoritmo de Dijkstra se referenciaron puntos geográficos mediante el programa Grafo Online. En esta plataforma se realizó una estimación de los puntos de las áreas virtuales y los centros de reciclaje y los puntos de recolección de residuos identificados con el plan. De esta forma es posible visualizar y organizar los puntos de interés de forma sistemática y sencilla utilizando el algoritmo y optimizar las rutas de recogida.

La representación gráfica de datos geográficos en Grafo Online descrita en la Figura 2, proporciona una base clara y precisa para el análisis y la implementación del algoritmo de Dijkstra, asegurando que los métodos propuestos sean efectivos y eficientes.

Los nodos se conectaron y se les asignó un peso de proximidad basado en las distancias obtenidas previamente. Este enfoque mejoró el número de caminos. Utilizando el algoritmo de Dijkstra, es posible crear la ruta más corta, optimizando la ruta entre los puntos de recogida y los centros de reciclaje. Esta precisión en la distribución del peso garantiza que las rutas estén optimizadas en función de la distancia y el tiempo de viaje.

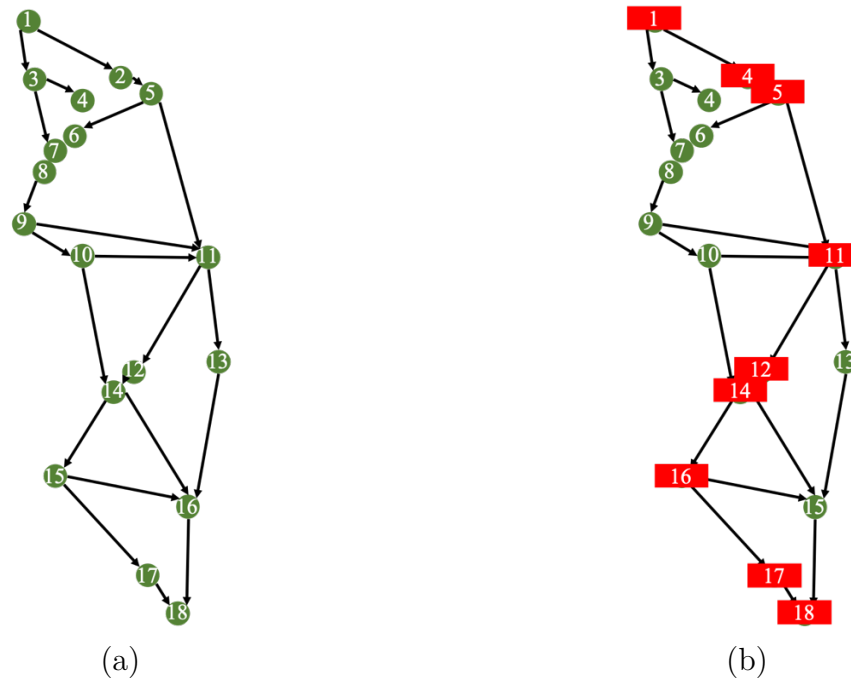


Figura 2. Colocación de distancias a base de detalle obtenido de nodo a nodo.

Para un mejor aprovechamiento de la ruta se define que entre los nodos 1-4-5-11-12-14-16-17-18, se debe establecer un centro de acopio en sentido norte o sur para que la ruta pueda disminuir sus costos. La mejor ruta para la distancia más corta en logística comienza en Recyter, con 56.9 km de longitud. Considerando que se reciclan 219 toneladas métricas (TN) de materiales, es posible ver el diseño de productos especiales para la industria automotriz.

2.6 Propuesta de elaboración de tapa centra de aros

Para la elaboración de tapa central de aros, se consideró la cantidad de toneladas presentes y necesarios a tener en cuenta como el tamaño, peso, dimensiones y la cantidad a producir, la tapa de buje es una pieza que podría ser rentable su fabricación con la cantidad de aluminio que se ha obtenido al mes que se puede reciclar.

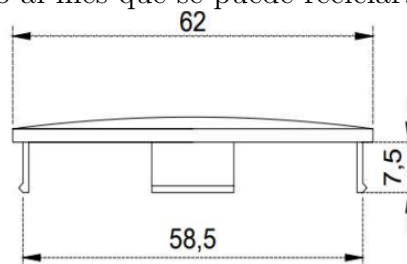


Figura 3. Diseño de la tapa central de Aros o Bujes.

Las dimensiones de las tapas no son fijas ni únicas (ver la Figura 3), variarán según el modelo y las diferencias no son demasiado grandes ni terribles, el aluminio debe fundirse a alta temperatura, para lo que el horno requiere una temperatura y la presión lo suficientemente alto para permitir que los materiales fluyan uniformemente.

Suponiendo que para el proceso de purificación, limpieza y fundición del material pierde un 25% de condición y el peso promedio está entre un 60 g a 75 g, para las 241 toneladas, entonces, se podría fabricar un número de tapas según la ecuación (1):

- Cantidad de aluminio = 219 Toneladas
- % pérdida del material = 25%
- Rango peso promedio del tapacubos = 0,00060 TN ~ 0,00075 TN
- Con la siguiente fórmula se realizó el cálculo total de piezas:

$$\text{No. tapas} = \frac{\text{Aluminio disponible} - 25\%}{\text{Peso}} \quad (1)$$

2.7 Propuesta de elaboración de emblemas de autos

Estos pueden variar en tamaño o peso promedio debido al modelo, versión, año de producción o producción, y durante el proceso de refinamiento, afilado y tratamiento del rostro se debe considerar, el tamaño también es importante. También es importante utilizar, ya sea un logotipo, una letra o un número.

Partiendo que para el proceso de purificación, limpieza y fundición del material pierde un 25% de condición con un peso de 70g por emblema para las 219 toneladas, la Figura 4 muestra un ejemplo de diseño de fabricación.

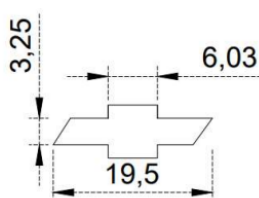


Figura 4. Diseño de emblema Chevrolet.

Suponiendo que para el proceso de purificación, limpieza y fundición del material pierde un 25% de condición y el peso promedio está entre un 60 g a 75g, para las 241 toneladas se podría fabricar emblemas de acuerdo a la ecuación (2):

- Cantidad de aluminio = 219 Toneladas
- % pérdida del material = 25%
- Rango peso promedio del emblema = 0,00060 TN ~ 0,00075 TN

$$\text{No. emblemas} = \frac{\text{Aluminio disponible} - 25\%}{\text{Peso}} \quad (2)$$

El uso de 219 toneladas de aluminio reciclado para fabricar calcomanías para automóviles y tapacubos es un claro ejemplo de los beneficios ambientales y económicos del reciclaje. Con esta cantidad de material se pueden producir aproximadamente 364 999 emblemas para automóviles y 364 999 tapas de ruedas. Este proceso no solo reduce la necesidad de extraer aluminio nuevo, reduciendo así el impacto ambiental asociado con la minería y el refinado, sino que también hace un uso eficiente de los recursos actuales.

3. Resultados y Discusión

De acuerdo con las investigaciones realizadas en los 18 puntos anteriores para identificar los mejores lugares que trabajan para el reciclaje, se encontró que estos lugares son los mejores para la recolección de aluminio reciclado en la ciudad de Guayaquil.

El análisis realizado mediante ArcMap permitió determinar los km totales del recorrido de los centros de acopio en Guayaquil. Los resultados muestran que la Recicladora Guayaquil muestra una distancia de 58.8 km, Ecosa con 59.9 km y Recynter con 56.9 km. Estos datos de ubicación exacta se logran gracias a la medición avanzada proporcionada por el software, que permite una mejor planificación y optimización de las rutas de recolección. Con un conocimiento preciso de las distancias recorridas, se pueden ajustar las rutas para reducir el tiempo de transporte y reducir los costos operativos.

Sabiendo que el camino más corto es el que parte del centro de acopio de Recynter hacia las 18 recicladoras, mediante el algoritmo de Dijkstra se pudieron ajustar los tiempos de recolección ya sea usando la Ruta 1 o el Centro de Acopio R. Guayaquil. Con este algoritmo podemos definir la mejor ruta en términos de distancia y tiempo, lo cual es muy importante para mejorar la eficiencia de la operación. La configuración 1-4-5-11-12-14-16-17-18 sugiere que se debe establecer un centro de reciclaje que funcione como centro de acopio, permitiendo así optimizar los recorridos de la ruta, ya sea en sentido norte o sur.

3.1 Costos de fundición de aluminio virgen

El costo de fundición del aluminio por toneladas, la disponibilidad de aluminio es de 219, pero en este análisis se considera una cantidad pequeña para simplificar la cantidad de costos en el proceso. Para la industria automotriz donde la producción a gran escala es común, por medio de este modelo se pueden evaluar su viabilidad económica, descrita en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Cálculo de total de piezas con peso promedio para la elaboración de emblemas.

No.	Aluminio disponible Tn	Aluminio a utilizar Tn	Costo de fundición en Tn	Total
1	219	1	\$400	\$400
2	219	2	\$400	\$800
3	219	3	\$400	\$1200
4	219	4	\$400	\$1600
5	219	5	\$400	\$2000

3.2 Costos de fundición de chatarra a aluminio

El costo de fundición de chatarra de aluminio por kilogramo, se muestra en el Cuadro 6, siendo, la disponibilidad de aluminio es de 219 toneladas, debido al portal de información segundo a segundo, donde, los valores expresados en kilogramos y en este análisis para la industria automotriz se puede considerar ya sea en situaciones específicas donde se pueda justificar por otros factores como medio ambiente.

Cuadro 6. Cálculo costo de fundición de chatarra de aluminio por kilogramo.

No.	Aluminio disponible Tn	Aluminio a utilizar Tn	Aluminio a utilizar Kg	Costo de Fundición \$100/kg	Total
1	219	0.01	10	\$100	\$1000
2	219	0.01	20	\$100	\$2000
3	219	0.03	30	\$100	\$3000
4	219	0.04	40	\$100	\$4000
5	219	0.05	50	\$100	\$5000

Por otra parte, los valores que influyen en la importación del aluminio son transporte marítimo, descritos en el portal de noticias, tiene un valor entre \$1500 a \$2000 por contenedor, pero se reporta en el primer trimestre del 2024 valor de \$8000 por contenedor, que son los mismos niveles que se manejaban durante la pandemia, es decir existe un incremento de 4 veces más su valor inicial. Es decir, dependen de los cambios que se presenten en el país, y de los problemas de importación, pueden variar hacia arriba o hacia abajo.

3.3 Transporte de chatarra de aluminio

Se eligieron las 3 rutas principales para almacenar la chatarra de aluminio: recicladora Guayaquil 58.8 Km, Ecoresa 59.9 Km, Recynter 56.9 Km, donde escogemos un recorrido cerca de 60 Km, según el diario El comercio, 2022 se conoce como calcular los costos de transportes en camiones de capacidad de entre 3 a 10 toneladas lo cual representa el costo, hora camión (carga + viaje + descarga + viaje vuelta), valor de kilómetros registrado en una ruta de Guayaquil a Quito es de 470 Km con un precio es de 643 (\$0.65 el quintal).

Así también es necesario tener en cuenta actualmente el valor de diésel que ronda en \$1.80 por galón en 2024 con el alza del IVA al 15%. No hay cantidad específica por rutas varía dependiendo las ciudades, la empresa y como sea el manejo de la gasolina, para las rutas mencionadas representan una 7 parte de un recorrido largo de Guayaquil a Quito, lo que puede ser un punto positivo, por lo que se realizó una rápida comparación de costos del proceso de fabricación de tapas de cubos.

3.4 Análisis de compra de piezas desde China

Se consideraron los datos:

- Costo de compra por unidad: \$0.85
- Cantidad de piezas: 230000
- Arancel de importación: 5% del valor total de compra.
- Costo adicional del 0.5% sobre la base imponible.

El costo total de las compras se ha analizado de acuerdo a las siguientes ecuaciones.

$$\text{Costo total de compra} = \text{Cantidad de Piezas} * \text{Costo de Compra por unidad} \quad (3)$$

$$\text{Costo Arancel de Importación} = \% \text{ de arancel de Importación} * \text{Costo total de compra} \quad (4)$$

$$\text{Cálculo de la base Imponible} = \% \text{ de base Imponible} * \text{Costo total de compra} \quad (5)$$

$$\text{Costo Importación} = \text{C. Total compra} + \text{Arancel Importación} + \text{C. Base Imponible} \quad (6)$$

$$\text{Consumo de diesel por km} = \text{Distancia Recorrida} * \text{consumo de Diesel litro/km} \quad (7)$$

$$\text{Costo de fundición} = \text{Cant Kg de aluminio Reciclado} * \text{Costo.Fundicion} \quad (8)$$

$$\text{Consumo de Energia} = \text{Consumo de energía del horno} * \text{Cant. T. Metrica a fundir} \quad (9)$$

$$\text{Costo de Electricidad} = \text{Consumo de Energia} * \text{Costo de electricidad kWh} \quad (10)$$

3.5 Cálculo de costo de mano de obra

Por otra parte, en cuanto a producción por parte de de mano de obra, para la producción de 230000 piezas, con un porcentaje de productos dañados del 10%, las personas necesarias y el tiempo estimado son importantes. Entonces, estimando que cada persona puede producir 1000 piezas en 10 días (1 pieza por hora, considerando 8 horas diarias), se estima que:

$$\text{Personas necesarias} = \frac{\# \text{ piezas}}{\# \text{ piezas/personas}} \quad (11)$$

$$\text{Costo de Mano de Obra} = \text{personas} \times \text{suelo basico} \quad (12)$$

$$\text{Costo total de producción local} = \text{Costo de recoleccion} +$$

$$\text{Costo de fundición} + \text{Costo de electricidad} + \text{Costo de mano de obra} \quad (13)$$

Los resultados del análisis fueron:

- Costo total de compra desde China: \$206252.50
- Costo total de producción local: \$21 719734.70

La fabricación local de piezas utilizando aluminio reciclado resulta significativamente más costosa en comparación con la compra de piezas desde China. Por lo tanto, en términos de costos, es más viable comprar las piezas desde China, siendo:

$$\text{Costo Costhina} = N \times 0.85 + 0.05 \times (N \times 0.85) + 0.005 \times (N \times 0.85) \quad (14)$$

$$\begin{aligned} \text{Costo local} = & \text{Costo fijo de recolección} + \text{Costo de fundición} + \\ & \text{Costo de electricidad} + \text{Costo de mano de obra} \end{aligned} \quad (15)$$

Dado el análisis en la práctica, esta comparación muestra que, a partir de grandes volúmenes, la fabricación local podría volverse competitiva, pero no necesariamente en las cantidades típicamente consideradas. Para volúmenes más razonables y prácticos, la compra desde China es claramente más viable económicamente.

Conclusiones

La introducción del algoritmo de Dijkstra permitió optimizar la eficiencia de la operación, reducir los tiempos y aumentar la recogida de aluminio reciclado. La creación de indicadores estratégicos no solo mejora el proceso de recolección secundaria de aluminio, sino que también contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente y al desarrollo de la economía circular en Guayaquil.

Luego de realizar un análisis vial en la ciudad de Guayaquil, se identificó la necesidad de establecer un centro de acopio de reciclaje en Guayaquil. Esta ubicación permite optimizar la ruta. El análisis determinó que los nodos 1, 4, 5, 11, 12, 14, 16, 17 y 18 son estratégicos para la gestión del centro de reciclaje, el cual actúa como centro de acopio. Esta estrategia permite que tanto las rutas norte como sur ahorren caminos, mejoren la eficiencia y reduzcan los costos operativos. La implementación del diseño de Dijkstra y el uso de ArcMap son muy importantes para lograr este resultado y podamos ver y planificar la mejor manera.

Al analizar los costos de abastecimiento de piezas de China y de fabricación local utilizando aluminio reciclado, consideramos todos los factores involucrados, incluidos los costos de venta, las tarifas de importación, los costos de ensamblaje, los metales, la electrónica y los servicios. Según el análisis, es posible producir localmente en cantidades iguales o superiores a 49 478 100 unidades, sin embargo, este resultado puede no deberse al alto costo de la fundición y otros factores.

A pesar de la enorme diferencia de precio, es importante considerar otros factores al elegir entre comprar y construir. El reciclaje de aluminio proporciona beneficios ambientales y sociales que no pueden pasarse por alto. El proceso de reciclaje reduce la necesidad de extraer bauxita, reduce el consumo de aire y agua y ahorra mucha energía en la fabricación de aluminio nuevo. Además, la economía circular promueve la creación de empleo y reduce la dependencia de materias primas importadas.

La primera iniciativa para reciclar aluminio, aunque no es el sector más rentable a corto plazo, muestra un compromiso con la responsabilidad social. Las empresas que utilizan métodos de reciclaje ayudan al medio ambiente y promueven una imagen corporativa responsable, lo que se traduce en beneficios, reputación y fidelidad de los clientes a largo plazo.

Financiación

Los autores agradecen el apoyo brindado por la Universidad de Guayaquil, durante el transcurso de este trabajo.

Declaración de conflicto de intereses

El autor o autores no han declarado ningún posible conflicto de intereses en relación con esta investigación, la autoría y/o la publicación de este artículo.

Referencias

- [1] L. Mora and M. Martín, *Logística inversa y ambiental: Retos y oportunidades en las organizaciones modernas*, 1st ed. Ecoe Ediciones, 2013.
- [2] R. Tomari, A. A. Kadir, W. N. W. Zakaria, M. F. Zakaria, M. H. A. Wahab, and M. H. Jabbar, "Development of Reverse Vending Machine (RVM) Framework for Implementation to a Standard Recycle Bin," *Procedia Comput Sci*, vol. 105, pp. 75–80, 2017, doi: 10.1016/j.procs.2017.01.202.
- [3] R. Tomari, A. A. Kadir, W. N. W. Zakaria, M. F. Zakaria, M. H. A. Wahab, and M. H. Jabbar, "Development of Reverse Vending Machine (RVM) Framework for Implementation to a Standard Recycle Bin," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2016, pp. 75–80. doi: 10.1016/j.procs.2017.01.202.
- [4] A. Amantayeva, A. Alkuatova, I. Kanafin, S. Tokbolat, and E. Shehab, "A systems engineering study of integration reverse vending machines into the waste management system of Kazakhstan," *J Mater Cycles Waste Manag*, vol. 23, no. 3, pp. 872–884, May 2021, doi: 10.1007/s10163-020-01161-9.
- [5] E. G. Rodriguez Guevara, "Identificación de prácticas en la gestión de la cadena de suministro sostenible para la industria alimenticia," *Revista científica Pensamiento y Gestión*, vol. 45, pp. 129–160, Feb. 2024, doi: 10.14482/pege.45.10554.
- [6] J. Arturo, O. Castro, O. Javier, D. Ríos, and Á. Yoed González Pérez, "Caracterización de la logística en la cadena de suministro de cosméticos y productos de aseo," *Revista científica*, vol. 28, no. 1, pp. 84–98, 2019, doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016.28.a7.
- [7] S. Simón, J. Demaldé, J. Hernández, and M. Carnero, "Optimización de Recorridos para la Recolección de Residuos Infecciosos," *Informacion Tecnologica*, vol. 23, no. 4, pp. 125–132, 2012, doi: 10.4067/S0718-07642012000400014.
- [8] J. Bermeo-Paucar, V. Rea-Sánchez, R. López-Bermúdez, and M. Pico-Yépez, "El reciclaje la industria del futuro en ecuador," *CIENCIA y TECNOLOGÍA*, vol. 22, no. 87, pp. 29–36, 2019, doi: <https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/183>.
- [9] M. Cálad, "PROPUESTA DE EDUCACIÓN PARA EL DESARROLLO SUSTENTABLE EN EL RECICLAJE Y LA REUTILIZACIÓN DE MATERIALES EN JUEGOS Y JUGUETES EN LA EDUCACIÓN INICIAL," vol. 12, no. 24, pp. 111–127, 2013.
- [10] D. A. Gonzalez Orozco, "Reciclaje como Estrategia Pedagógica para la Reutilización de Material Orgánico e Inorgánico," *Revista Científica*, vol. 2, no. Ed. Esp., pp. 113–132, Feb. 2017, doi: 10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.0.0.7.113-132.
- [11] A. Genovese, A. A. Acquaye, A. Figueroa, and S. C. L. Koh, "Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications," *Omega (Westport)*, vol. 66, pp. 344–357, Jan. 2017, doi: 10.1016/j.omega.2015.05.015.
- [12] D. Esmaeily, H. Rahimpour-Bonab, A. Esna-Ashari, and A. Kananian, "Petrography and geochemistry of the jajarm karst bauxite ore deposit, ne iran: Implications for source rock material and ore genesis," *Turkish Journal of Earth Sciences*, vol. 19, no. 2, pp. 267–284, 2010, doi: 10.3906/yer-0806-15.

- [13] A. Rezaei, H. Hassani, S. B. Fard Mousavi, and N. Jabbari, "EVALUATION OF HEAVY METALS CONCENTRATION IN JAJARM BAUXITE DEPOSIT IN NORTHEAST OF IRAN USING ENVIRONMENTAL POLLUTION INDICES," *Malaysian Journal of Geosciences*, vol. 3, no. 1, pp. 12–20, Jan. 2019, doi: 10.26480/mjg.01.2019.12.20.
- [14] M. Li, C. Liu, A. Ding, and C. Xiao, "A review on the extraction and recovery of critical metals using molten salt electrolysis," *J Environ Chem Eng*, vol. 11, no. 3, p. 109746, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.109746.

Este artículo está licenciado bajo CC BY 4.0.



La licencia CC BY 4.0 permite utilizar, compartir y modificar contenidos con cualquier fin, incluido el comercial, siempre que se cite al autor original, se enlace a la licencia y se indiquen los cambios realizados. Es irrevocable, internacional y no permite imponer restricciones adicionales que limiten el uso del material.