



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Propuesta de gestión en logística inversa para la empresa constructora de estructuras metálicas “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en la ciudad de Latacunga

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de
Ingeniero Industrial

Autores:

Rodríguez Muñoz Danilo Patricio

Tutor Académico:

Dr. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander

LATACUNGA – ECUADOR
SEPTIEMBRE 2025 – MARZO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, **Rodríguez Muñoz Danilo Patricio**, con número de cédula 0503203226, declaro ser autor del presente proyecto de investigación: **“PROPUESTA DE GESTIÓN EN LOGÍSTICA INVERSA PARA LA EMPRESA CONSTRUCTORA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS “SERVICIOS DE INGENIERÍA ESTRUCTURAL” (SIE) EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.”**, siendo el Dr. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander, tutor del presente trabajo investigativo; y eximimos expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, marzo 2026.



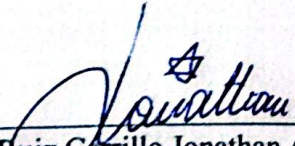
Rodríguez Muñoz Danilo Patricio

C.C. 0503203226

AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo Tecnológico sobre el título: **“PROPUESTA DE GESTIÓN EN LOGÍSTICA INVERSA PARA LA EMPRESA CONSTRUCTORA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS “SERVICIOS DE INGENIRÍA ESTRUCTURAL” (SIE) EN LA CIUDAD DE LATACUNGA.”**, de Rodríguez Muñoz Danilo Patricio, de la carrera de Ingeniería Industrial, considero que dicho Informe de Proyecto de Investigación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, marzo 2026.


Dr. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander
C.C. 0703323824
TUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Proyecto Tecnológico de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, el o los postulantes: Rodríguez Muñoz Danilo Patricio, con el título de Proyecto de titulación:

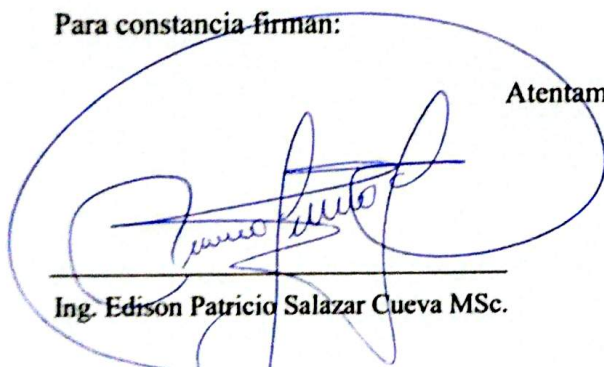
“PROPUESTA DE GESTIÓN EN LOGÍSTICA INVERSA PARA LA EMPRESA CONSTRUCTORA DE ESTRUCTURAS METÁLICAS “SERVICIOS DE INGENIRÍA ESTRUCTURAL” (SIE) EN LA CIUDAD DE LATACUNGA”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, marzo del 2026.

Para constancia firman:

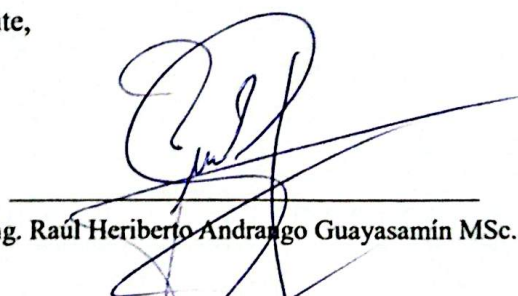
Atentamente,



Ing. Edison Patricio Salazar Cueva MSc.

C.C. 0501843171

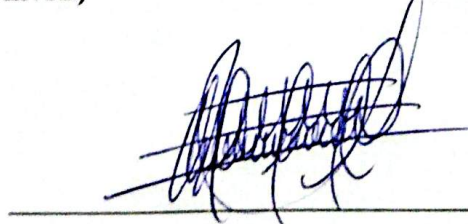
LECTOR 1 (PRESIDENTE)



Ing. Raúl Heriberto Andraujo Guayasamín MSc.

C.C. 1717526253

LECTOR 2 (MIEMBRO)



Ing. Wilson Santiago Olovacha Toapanta MSc.

C.C. 1804302238

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

Me permito agradecer a Dios en primera instancia, por cuanto es Él quien me sustenta en todo momento, la fuerza y sabiduría no serían posibles para mí sin su presencia espiritual.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas y a la Carrera de Ingeniería Industrial, por haberme extendido su apoyo para lograr mi formación académica y los conocimientos indispensables para mi crecimiento profesional.

Mi especial agradecimiento al Dr. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander, tutor de este proyecto investigativo, por su orientación, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de esta labor, así como por sus valiosos conocimientos y recomendaciones que lograron fortificar esta investigación.

Así mismo, agradezco a la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) por ayudarme dando apertura al acceso y facilidad en la adquisición de información y la acogida necesaria para poder concretar este estudio, contribuyendo al desarrollo del proyecto realizado.

Finalmente, quiero reconocer mi agradecimiento a las personas que de una u otra manera aportaron con su apoyo incondicional, consejos y motivación para lograr la culminación del presente estudio.

DEDICATORIA

Dedico cada palabra a Dios, por guiar mis pasos y regalarme fortaleza para superar cada uno de los obstáculos que se han presentado durante mi formación académica.

A mis padres, por su amor, apoyo incondicional y sacrificio a lo largo de mi vida, quienes han sido mi mayor inspiración para avanzar siempre hacia adelante y así poder conquistar mis metas.

A mi esposa Erika y a mis amados hijos Danilo Benjamín y Kathalina Lizeth, por su constante motivación, paciencia, comprensión y confianza en cada paso que he bien logrado en este proceso.

A mis bellas abuelitas Clemencia Rojas y María Amores, que aunque ya no están en presencia física, sé que desde el cielo estarán orgullosas de este logro, las amo mucho y siempre están en mi corazón.

Mil gracias a todos ustedes por confiar en mí.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TEMA: “Propuesta de gestión en logística inversa para la empresa constructora de estructuras metálicas “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en la ciudad de Latacunga.”

Autores:

Rodríguez Muñoz Danilo Patricio

RESUMEN

La presente investigación propone un sistema de logística inversa para la gestión de residuos metálicos en la empresa constructora de estructuras metálicas Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) ubicada en la ciudad de Latacunga. El estudio surge a partir del diagnóstico de la situación actual de la empresa, donde se identificó la ausencia de procesos estructurados para la recolección, clasificación y disposición de los residuos generados durante actividades como corte, soldadura y mecanizado de metales. Esta problemática genera pérdidas económicas, desorden en las áreas de trabajo, riesgos operativos y un manejo inadecuado de materiales con valor potencial de reciclaje.

La investigación plantea el diseño de un modelo de logística inversa que permita recuperar, clasificar y valorizar los residuos metálicos para su reintegración en la cadena de suministro o su comercialización. Asimismo, se analiza la viabilidad económica del sistema mediante la evaluación de costos y beneficios derivados del aprovechamiento de estos materiales. Los resultados evidencian que la implementación de un sistema de logística inversa puede mejorar la eficiencia operativa, reducir el impacto ambiental y generar ingresos adicionales para la empresa, contribuyendo además al desarrollo de prácticas alineadas con la economía circular y la sostenibilidad industrial.

Palabras claves: Logística inversa, residuos metálicos, economía circular, reciclaje industrial y sostenibilidad

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TOPIC: “Reverse logistics management proposal for the metal structure construction company “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) at Latacunga city”.

Authors:

Rodríguez Muñoz Danilo Patricio

ABSTRACT

This research proposes a reverse logistics management system for metal waste management at the metal structure construction company Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) located in the city of Latacunga, Ecuador. The study arises from the diagnosis of the company’s current situation, where the absence of structured processes for the collection, classification, and final disposal of metallic waste generated during activities such as cutting, welding, and metal processing was identified. This problem leads to economic losses, disorganization in work areas, operational risks, and inadequate management of materials with potential recycling value.

The research proposes the design of a reverse logistics model that allows the recovery, classification, and valorization of metallic waste for its reintegration into the supply chain or commercialization. In addition, the economic feasibility of the system is analyzed through a cost–benefit evaluation derived from the efficient use of these materials. The results show that the implementation of a reverse logistics system can improve operational efficiency, reduce environmental impact, and generate additional economic benefits for the company, while also promoting practices aligned with the principles of circular economy and industrial sustainability.

Keywords: Reverse logistics, metallic waste, circular economy, industrial recycling and sustainability.

ÍNDICE

DECLARACIÓN DE AUDITORIA	II
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....	III
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN	IV
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
1. INFORMACIÓN GENERAL	16
2. INTRODUCCIÓN.....	17
2.1. Situación Problemática.....	17
2.2. Formulación del problema.....	18
2.3. Beneficiarios.....	19
2.3.1. Beneficiarios directos	19
2.3.2. Beneficiarios indirectos	19
2.4. Justificación.....	19
2.5. Objetivos.....	19
2.5.1. Objetivo General.....	20
2.5.2. Objetivos Específicos	20
2.6. Sistema de tareas	21
3. Fundamentación Teórica	22
3.1. Antecedentes.....	22
3.2. Fundamentación legal.....	23
3.2.1. Constitución de la Republica del Ecuador (2008).....	23
3.2.2. Código Orgánico del Ambiente (COA).....	24
3.2.3. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos.....	24
3.2.4. Decreto Ejecutivo 1342	24
3.3. Marco Referencial	24

3.3.1.	Economía Circular	24
3.3.2.	Logística Inversa.....	25
3.3.2.1.	Tipos de Logística inversa.....	25
3.3.2.2.	Principios de la economía circular y su relación con la logística inversa	26
3.3.2.2.1.	Principios de la Economía Circular	26
3.3.2.2.2.	La economía circular y su relación con la logística inversa.	26
3.3.2.3.	Modelos de referencia: Recuperación, reciclaje, remanufactura y reutilización. 27	
3.3.2.3.1.	Modelo de referencia de reciclaje	27
3.3.2.3.2.	Modelo de referencia de remanufactura	28
3.3.3.	Gestión de Residuos Metálicos.....	29
3.3.3.1.	Tipos de residuos metálicos en la industria de construcción	30
3.3.3.1.1.	Residuos metálicos de acero	30
3.3.3.1.2.	Residuos metálicos de aluminio	31
3.3.3.1.3.	Residuos metálicos de cobre.....	31
3.3.3.1.4.	Procesos de clasificación y separación de metales (magnética, densidad y corrientes de Foucault).	32
3.3.3.1.5.	Separación magnética	32
3.3.3.1.6.	Separación por densidad	32
3.3.3.1.7.	Separación de corriente Foucault.....	33
3.3.3.1.8.	Relevancia de los procesos de separación en la gestión de residuos metálicos	33
3.3.4.	Tecnologías de reciclaje y fundición aplicadas a metales.	33
3.3.4.1.	Reciclaje de Metales ferrosos.....	34
3.3.7.1.3.	Ahorro Energético.....	38
3.3.15.	Diagrama de recorrido	62
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	63
4.1.	Diseño de investigación y enfoque metodológico.....	63

4.2.	Escenario de la investigación	64
4.2.1.	Descripción de la empresa	64
4.2.2.	Diagnóstico de Procesos	64
4.2.3.	Variables del proceso.....	65
4.2.5.	Datos de Entrada y parámetros de diseño.....	66
4.2.6.	Modelo matemático y fórmulas	67
4.3.	Operacionalización de variables	69
4.4.	Procedimiento de Recolección de datos	69
5.	Análisis de Resultados.....	70
5.1.	Objetivo 1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa	70
5.1.1.	Actividad 1: Verificación de los procesos de generación de desechos.	70
5.1.2.	Actividad 2: Inventario de la cantidad de los desechos mensual.	71
5.1.3.	Actividad 3: Medición de las áreas asignadas para la recolección de desechos... ..	72
5.1.4.	Cálculo inicial de las pérdidas y costos por desorden.	74
5.1.4.1.	Análisis de pérdida de valor.	74
5.1.4.2.	Análisis de Costos por desorden.	74
5.1.5.	Análisis del proceso productivo	76
5.1.6.	Evaluación de la mejora.	78
5.2.	Objetivo 2.	80
5.2.1.	Actividad 1: Cotización de venta de metales ya clasificados.....	80
5.2.2.	Actividad 2: Valoración de inversión de infraestructura de contenedores de recolección de desechos.....	81
5.2.2.1.	Estimación Mensual	81
5.2.2.2.	Rentabilidad	82
5.2.2.2.1.	VAN.....	82
5.2.2.2.2.	TIR.....	82
5.2.2.2.3.	ROI.....	82

5.2.3.	Actividad 3: Análisis de ahorro por reutilización de desechos	83
5.2.4.	Análisis de impacto ambiental y social	83
5.2.4.1.	Mejora en SSO	84
5.2.4.2.	Productividad y Clima laboral.....	84
5.2.4.3.	Beneficios ambientales.....	84
5.2.4.3.1.	Reducción en extracción de recursos.....	84
5.2.4.3.2.	Gestión de desechos.....	84
5.3.	Objetivo 3	85
5.3.1.	Actividad 1: Determinación de estaciones de segregación de desechos	85
5.3.2.	Actividad 2: Prototipado de rutas de recolección de desechos.....	87
5.3.2.1.	Rediseño del Layout Industrial	87
5.3.2.2.	Eficiencia en el aprovechamiento del espacio.....	90
5.3.2.3.	Plan Técnico.....	91
5.3.3.	Validación de propuesta	92
5.4.	Análisis de Resultados.....	93
5.5.	Discusión de resultados	95
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1.	Conclusiones.....	95
6.2.	Recomendaciones	96
7.	Bibliografía.....	96
	Anexo 1. Cuestionario Visita In situ.....	107
	Anexo 2. Informe 5 Ws	101
	Anexo 3. Layout	102
	Anexo 4. Ficha de Registro	103

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Logística inversa	¡Error! Marcador no definido.
----------------------------------	--------------------------------------

Figura 2 Mapa de procesos de SIE	¡Error! Marcador no definido.
Figura 3 Mediciones	¡Error! Marcador no definido.
Figura 4 Layout actual	¡Error! Marcador no definido.
Figura 5 Layout propuesto ver Anexo 3	¡Error! Marcador no definido.
Figura 6 Diagrama de procesos de recolección de desechos	¡Error! Marcador no definido.

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Campos de Ciencia y Tecnología UNESCO [1]	16
Tabla 2 Sistema de tareas	21
Tabla 3 Simbología	63
Tabla 4 Variables de proceso	65
Tabla 5 Datos de entrada	67
Tabla 6 operacionalización de variables	69
Tabla 7 Procesos de generación de residuos y desechos de material	71
Tabla 8 Inventario mensual	71
Tabla 9 Área destinada de almacenamiento temporal de la empresa SIE	73
Tabla 10 Actividades auxiliares	75
Tabla 11 Resumen de los Costos	76
Tabla 12 Etapas del proceso productivo de estructuras metálicas	77
Tabla 13 Evaluación de mejora	79
Tabla 14 Cotización	81
Tabla 15 Evaluación de la mejora y ahorro de reutilización	83
Tabla 16 Matriz de impacto	85
Tabla 17 Estaciones de segregación propuesto	86
Tabla 18 Procesos	89
Tabla 19 Plan de acción	91
Tabla 20 Dimensiones de los diferentes procesos de la empresa SIE	92
Tabla 21 Criterios de validación de la propuesta	93

1. INFORMACIÓN GENERAL

Tema del proyecto: Propuesta de gestión en logística inversa para la empresa constructora de estructuras metálicas “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en la ciudad de Latacunga.

Modalidad de Titulación: Proyecto de Investigación

Carrera: Ingeniería Industrial

Equipo de Trabajo: NA.

Tutor: Dr. Ruiz Carrillo Jonathan Alexander

Autores:

- Sr. Rodríguez Muñoz Danilo Patricio

Área de Conocimiento:

Tabla 1 Campos de Ciencia y Tecnología UNESCO [1]

33 Ciencias Tecnológicas	3312 Tecnología de Materiales	3312.09 Resistencia de Materiales
	3310 Tecnología Industrial	3312.90 Materiales Metalúrgicos Avanzados
	3305 Tecnología de la Construcción	3305.21 Construcciones Metálicas

Línea de investigación:

Tecnología industrial, gestión de la producción, riesgos de seguridad laboral.

Esta línea optimiza la productividad industrial a través de la ingeniería de procesos, desarrollo tecnológico y gestión de tiempos, promoviendo la producción limpia, sistemas flexibles y seguridad.

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Control de la calidad y gestión de la cadena de suministro.

Aplicación de Logística inversa en el control de residuos metálicos reciclable.

2. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el sector metalmecánico enfrenta un desafío importante que es el de optimizar sus procesos productivos no solo en parámetros de eficiencia operativa, sino también en base a los criterios de sostenibilidad y economía circular. La generación de residuos metalmecánicos, conocidos como residuos, simboliza un flujo de materiales que se deben gestionar de forma adecuada, convirtiéndose en un costo hundido y un pasivo ambiental para este tipo de empresas. En este punto la logística inversa toma el rol de una herramienta estratégica para la ingeniería industrial dando lugar a la recuperación del valor económico de estos residuos y reintegrarlos al sistema de abastecimiento.

La orientación de este proceso de investigativo conlleva el establecer un modelo de recuperación de materiales en una industria de metalmecánica cuyo problema principal que se detectó fue la carencia de procesos estructurados para el acopio, separación y procesamiento final de los residuos, lo que ha generado riesgos de seguridad industrial, desorden y pérdidas de ingresos potenciales derivados del acero y hierro.

La finalidad de este trabajo es desarrollar una propuesta de modelo operativo que, de lugar a la identificación de los obstáculos técnicos y legales, diseñando rutas de retorno de los materiales y evaluando la viabilidad económica de la propuesta. Para este punto se inicia con el estado vigente de la organización en la gestión de los residuos seguido por un diseño de un plan estratégico que define las responsabilidades y flujo de trabajo. Finalmente, se realiza un análisis de costo – beneficio para demostrar que la logística inversa permite el incremento de la productividad de la empresa por medio de a través de una adecuada gestión de los recursos y creación de alianzas comerciales para la disposición de residuos.

2.1.Situación Problemática

La empresa “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE), asentada en la ciudad de Latacunga, sector de la Cdla. Nueva Vida. El comienzo de sus actividades fue en el año, su principal función actividad económica es la producción e instalación de estructuras metálicas, durante este tiempo ha venido presentando un conjunto de eventos significativos en la gestión de excedentes de producción. A través, de los procesos de corte, área de moladoras, corte con plasma y área de oxicorte son donde se produce un volumen considerable de residuos

metálicos (residuos de hierro y acero) que no están siendo gestionados por medio de una estrategia de retorno eficiente.

El problema que se identificó es la ausencia de un sistema de logística inversa, lo que origina las siguientes deficiencias:

- Ineficiencia en el aprovechamiento del material.
- Limitación de espacio y riesgos operativos.
- Pérdida de valor económico.
- Vulnerabilidad ante la Normativa Ambiental.

Esto evidencia que la organización SIE requiere urgentemente una transformación de su cadena de suministro lineal encaminado a un sistema económico cerrado. Por ende, la implementación de esta propuesta de logística inversa no solo da lugar a mitigar el impacto ambiental, sino que presenta una ventaja determinante para la optimización de los egresos de ejecución y fortalecimiento en la sostenibilidad del negocio, además de que genera apertura a nuevas plazas laborales, mismas que contribuirían al desarrollo de la empresa.

2.2. Formulación del problema

¿Cómo contribuirá la incrementación de un modelo de logística inversa de residuos la optimización de la gestión operativa y mejorará la rentabilidad económica en la empresa “Servicios de Ingeniería Estructural” SIE?,

¿Objeto y campo de acción

2.2.1. Objeto de estudio

A través de estudio investigativo se pretende analizar el proceso de gestión de residuos sólidos metálicos (gestión de recuperación de productos). Esta recuperación de materiales tiene su enfoque en el retorno de los materiales excedentes que se producen en los diferentes procesos de la empresa hasta su disposición final.

2.2.2. Campo de acción

El ámbito de ejecución tendrá lugar en el área operativa y logísticas de la empresa metalmecánica. Se detalla la intervención técnica que se enfoca en:

- Procesos de transformación
- Procesos administrativos

- Infraestructura de almacenamiento
- Red de transporte y alianzas

2.3. Beneficiarios

2.3.1. Beneficiarios directos

- “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) situada en la ciudad de Latacunga la cual opera en el campo industrial de la misma ciudad y que operan con materiales metálicos en sus diferentes procesos.
- Entidades directamente involucradas en la recuperación de los metales.
- Organizaciones públicas.
- Estudiantes e investigadores que posean interés en sostenibilidad y procedimientos de logística inversa.

2.3.2. Beneficiarios indirectos

- Instituciones educativas que podrán usar los resultados como referencia en proyectos de similitud.
- Comunidades cercanas a las industrias que manipulan metales.

La sociedad en general, al minimizar los golpes ambientales compaginados al mal manejo de materiales metálicos.

2.4. Justificación

La investigación en desarrollo muestra la recuperación sostenible de materiales metálicos en el sector industrial del cantón Latacunga, sobre todo en las empresas dedicadas a la producción de diversos armazones metálicos, tal es el caso de la empresa “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en Latacunga, las cuales representan una posibilidad estratégica frente al agotamiento de los elementos provenientes del ambiente y a la creciente de desechos industriales. Esta investigativa es importante porque motiva prácticas de sustento, promueve la eficiencia y eficacia operacional fortificando la responsabilidad con el ambiente por parte de la sociedad en general, pero sobre todo del sector de las industrias que operan con este tipo de recursos. Así también, está pendiente a los requerimientos de minimizar costos, reducción de golpes ecológicos y la alineación a las normativas pertinentes nacionales e internacionales en materia de sostenibilidad. Su integración dotará a la mejora, haciéndola constante en la integración de las técnicas, fomentará el sistema económico cerrado y posicionará al sector metalúrgico en una dirección con mayor conciencia y competencia.

2.5. Objetivos

2.5.1. Objetivo General

Plantear un esquema de Logística inversa que logre el direccionamiento de residuos metálicos en la empresa “Servicios en Ingeniería Estructural” SIE, enfocada al mejoramiento del aprovechamiento residual y operatividad eficiente.

2.5.2. Objetivos Específicos

- Diagnosticar el estado vigente de los residuos metálicos para la cuantificación de pérdidas y uso de espacio.
- Estipular la viabilidad económica del sistema para la validación de la rentabilidad del acopio de desechos.
- Proponer un nuevo proceso de recolección de acopio de desechos hasta su disposición final.

2.6.Sistema de tareas

Tabla 2 Sistema de tareas

Objetivos Específicos	Actividades	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Diagnosticar la situación actual de los residuos metálicos para la cuantificación de pérdidas y uso de espacio.	Verificación de los procesos de generación de residuos. Inventario de la cantidad de residuos mensual. Medición de las áreas que han sido designadas para los residuos.	Diagnóstico de la situación actual de la empresa Cálculo inicial de pérdidas y costos por desorden	Fichas de registro Layout actual
Estipular la viabilidad económica del sistema para la validación de la rentabilidad de la recolección de residuos.	Cotización de venta de metales ya clasificados. Valoración de inversión para infraestructura de contenedores de recolección de residuos. Análisis de ahorro por la reutilización de residuos.	Evaluación financiera (VAN, TIR, ROI). Informe de los beneficios tanto sociales como ambientales.	Flujo de caja proyectado Excel
Proponer un nuevo proceso de recolección de residuos hasta su disposición final.	Determinación de estaciones de segregación Prototipado de rutas de recolección	Realización de un nuevo Layout con áreas de recolección de residuos	AutoCAD

Elaborado por: El autor

3. Fundamentación Teórica

3.1. Antecedentes

Para iniciar esta investigación se ha tomado en cuenta la aplicación de estrategias, herramientas y técnicas que corresponden al presente estudio bajo el tema de “Propuesta de gestión en logística inversa para la empresa constructora de estructuras metálicas “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en la ciudad de Latacunga”.

En el trabajo de titulación que desarrollaron Ullon Merchán y Fienco Heredia [2] proponen la incrementación de la gestión de recuperación del sector reciclador en Guayaquil, con el objetivo de convertir el manejo empírico de desechos en un sistema técnico de economía circular abarcando las diferentes etapas de recolección, selección, almacenamiento y transformación. Los resultados mostraron que la empresa permite no solo mitigar la afectación al medio ambiente y cumplir con el marco legal vigente, sino también, genera rentabilidad mediante la valoración de materiales como residuos y electrónica, dando lugar a mejorar simultáneamente la eficiencia operativa y las condiciones sociolaborales de los recicladores.

El estudio de Cicuamia Holguín [3], hace énfasis en la falta de procedimientos de organización y capacitación en el manejo correcto de residuos genera contaminación y pérdida económica de forma significativa. Los resultados revelan que la implementación de un diagnóstico minucioso da lugar a identificar estrategias de logística inversa que mitigan el efecto de incidencia en el medio ambiente y recupera el valor de los residuos. Para las organizaciones industriales, los hallazgos confirman que establecer un control efectivo en la disposición final y segregación técnica de los metales no solo mantiene una regularidad normativa, sino que optimiza la rentabilidad al transformar los residuos en recursos aprovechando dentro del ciclo productivo.

En el estudio de Cristian Mosquera et al [4], contribuyen que la gestión de retorno funciona entorno a un instrumento coadyuvante para la reducción de los desechos, además, incluye un sistema de medición para el volumen de los mismos, los resultados de este trabajo investigativo, son favorables para las organizaciones ya que permite proporcionar un valor agregado a los residuos, dando lugar a la disminución del deterioro de la naturaleza, logra la administración más sostenible y rentable.

Rodrigo Gómez et al [5] en su estudio manifiestan que la gestión de retorno tiene un gran interés de un 87% de las entidades participantes en la implementación por parte de las empresas debido

a que ha generado impactos positivos en la productividad, beneficios a la comunidad y al medio ambiente por su aplicación de la cadena de suministros y las prácticas potencia al desarrollo de la organización.

En el estudio “La gestión de retorno como plan de distinción de entornos variables” realizado por la investigadora Joselyn Ruiz et al [6], afirman que en el presente las industrias han preferido la aplicación de la logística inversa obteniendo grandes resultados como la reducción de los costos, minimiza la contaminación del medio ambiente e incremento en la credibilidad en el mercado, por lo tanto la práctica de esta estrategia posibilita la diferenciación de la competencia ya que genera mayor confianza y seguridad a los consumidores.

Para Chris Dávila y William Ponce [7], sustentan en su propuesta un sistema de gestión de retorno para la administración constante tuvo un resultado favorable para la empresa, la implementación de esta estrategia genero un beneficio económico de **\$10.606.610** en un periodo de 10 años, para la parte operativa se ha estimado un ahorro de **\$867.868** en la cadena de suministro, por otro lado en el ámbito ambiental dio lugar a la reducción de residuos en un 44.892.411 envases durante una década, lo que equivale a evitar los residuos de 4 millones de unidades anuales.

3.2.Fundamentación legal

Esta investigación tiene su fundamento legal en leyes ecuatorianas, lo cual establece reglas para la administración de residuos y preservación de la naturaleza, siendo éste la principal obligación de las entidades del sector industrial a adoptar prácticas sostenibles como la logística inversa.

3.2.1. Constitución de la Republica del Ecuador (2008)

Conforme al Art. 15 de la Constitución del Ecuador establece que la administración pública impulsará, en el sector público y privado, el manejo de sistemas tecnológicos ecológicos y energías alternativas no invasivas. [8]

Mientras que en el **Art. 276** manifiesta que el sistema de crecimiento debe rescatar y precautelar la naturaleza, lo cual fundamenta la restauración de materiales metálicos con el objeto de evitar la explotación desmedida de los insumos. [8]

3.2.2. Código Orgánico del Ambiente (COA)

Art. 226 se introduce en el principio de “**Responsabilidad Extendida**” (RE), En este punto obliga a las empresas a gestionar sus desechos en todas las fases y etapas del producto, incluye el retorno a la cadena productiva para la valorización [9].

3.2.3. Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Esta normativa a pesar que es extranjera regula la clasificación en la fuente, se puede verificar en los artículos 7, 8 y 9, lo cual establece la responsabilidad extendida del generador y productor, dando lugar a la obligación de planes integral y trazabilidad de residuos, además, permite fundamentar la recuperación de material de las empresas [10].

3.2.4. Decreto Ejecutivo 1342

La implementación de la Normativa de Administración del Ambiente promueve la economía circular, incentivando la reutilización de los materiales reduciendo los impactos ambientales generados por los procesos industriales [11].

3.2.5. Normas Internacionales ISO 14001:2015

Esta normativa puntualiza las especificaciones precisas para el Administración del Ambiente, proporcionan el esquema necesario en toda empresa, independiente del tamaño o área, permitiendo implementar políticas y objetivos para mejorar su desempeño ambiental, reduciendo la contaminación mediante el cumplimiento de las regulaciones legales y gestionar sus riesgos y oportunidades ambientales de forma sistemática, integrando la sostenibilidad general y mejorando continuamente a través del ciclo de Deming (PDCA) [12].

3.3. Marco Referencial

3.3.1. Economía Circular

El sistema económico cerrado es un esquema de producción y práctica orientada los insumos, materiales y productos utilizados a través de períodos más considerables, disminuyendo la emisión de desechos y el uso de insumos primarios nuevos. De acuerdo a esta perspectiva se pretende sustituir el esquema económico lineal tradicional de “extraer–producir–desechar” por un sistema regenerativo en el cual los productos, componentes y materiales se reutilizan, reparan, remanufacturan o reciclan, permitiendo así prolongar su ciclo de vida y mitigar los impactos ambientales ocasionados por la actividad industrial [13, 14].

3.3.2. Logística Inversa

Logística inversa es una terminología nueva que refiere al flujo invertido de los productos, esto es desde el consumidor hasta cualquier área de la cadena de producción por la que fue creado, es decir aprovechando los residuos obtenidos y organizando su manejo para permitir su reingreso en la cadena de suministros, generando valor a partir del residuo o asegurando su manejo seguro y responsable [15, 16].

Desde la perspectiva de gestión de residuos industriales, se define como el conjunto de acciones orientadas a recolectar, desmontar y procesar productos o componentes usados o sus materiales, para maximizar el aprovechamiento de su valor residual y minimizar las repercusiones ambientales [17].



Figura 1 Logística inversa [17]

3.3.2.1. Tipos de Logística inversa

Existen varios tipos que se centran en la gestión de devoluciones, así como en las políticas y procedimientos asociados, etc. [18], a continuación, se detalla lo siguiente:

- **Gestión de devoluciones:** En este tipo de logística se puede tomar en cuenta que es fundamental evitar las devoluciones, pero durante el proceso se genera en algunas ocasiones. Se requiere que estas actividades se realicen de forma rápida, controlable, observable y directa.
- **Re fabricación o reacondicionamiento:** Hace referencia a las actividades que reconstruyen, reprocesan productos, etc.
- **Gestión de embalajes:** Esta se enfoca en la reducción y eliminación de residuos para su reutilización de los mismos.

- **Fin de vida útil (FVU):** En esta etapa se considera el FVU, es decir si el producto a dejado de ser útil o presenta fallas. Es probablemente que el cliente opte por reemplazarlo por una versión nueva o mejorada. Los fabricantes toman de forma oportuna el rechazo productos que están en su último funcionamiento para reciclarlo y reducir la contaminación ambiental.
- **Productos no entregados:** Los transportistas reintegran los productos a las instalaciones donde se realiza la separación, partiendo de ese punto vuelven a su origen, es decir receptan las empresas que los distribuyeron.

3.3.2.2. Principios de la economía circular y su relación con la logística inversa

El sistema económico cerrado constituye un esquema de fabricación y uso que pretende lograr que los insumos y productos permanezcan en el ciclo productivo por un lapso más extenso. La administración de retorno implica el motor al ejecutar el retorno de insumos generados en el cliente hacia el origen [19, 20].

3.3.2.2.1. Principios de la Economía Circular

Conforme a la Fundación Ellen MacArthur, este esquema se rige por tres fundamentos esenciales:

- **Eliminar residuos y contaminación:** La estructuración es fundamental en los productos para que estos no generen residuos desde el origen.
- **Regenerar la naturaleza:** Devuelve nutrientes a los ecosistemas y evita la extracción de materias primas vírgenes.

3.3.2.2.2. La economía circular y su relación con la logística inversa.

El sistema económico cerrado se presenta como un esquema opcional al sistema económico secuencial convencional de “recolectar–elaborar–eliminar”, proponiendo un sistema regenerativo encaminado a la reducción del consumo de insumos, la minimización de residuos y extensión del ciclo de vida de los productos. Esta orientación promueve estrategias como el reusar, reutilizar, la remanufactura y la valorización de suministros, con el fin de mantener su valor económico y funcional durante el mayor tiempo posible [21, 22].

Conforme a lo anotado anteriormente, la gestión de retorno desempeña un rol esencial como mecanismo operativo que contribuye a la aplicación práctica de los fundamentos del sistema económico cerrado. La gestión de retorno es una serie de acciones destinadas a la planificación, ejecución y control del círculo de insumos, productos y originados desde el lugar de uso hasta

la ubicación inicial o de recuperación, con el propósito de recuperar valor o asegurar una eliminación final adecuada [23].

3.3.2.3. Modelos de referencia: Recuperación, reciclaje, remanufactura y reutilización.

En el punto de la gestión de retorno, el reingreso de los productos representa una base fundamental que está destinada al aprovechamiento de los recursos. Para ello, resaltan los diferentes procesos de reintegración de los insumos en la variación de modalidades de tratamiento y administración del mismo.

Según Thierry et al., indica en su contexto que el retorno de productos contiene actividades como la recolección, inspección, clasificación y selección de la estrategia de tratamiento más adecuada, lo que permite optimizar el valor residual del producto o de sus componentes [24].; tal es el caso que la recuperación se presenta como un enfoque referencial, en el mismo se incorpora el reúso y la reutilización. El modelo de orientación de recuperación se distingue por los:

- Flujos inversos desde el consumidor al productor.
- Procesos de evaluación del estado del producto.
- Decisiones jerárquicas sobre el tipo de recuperación a aplicar.

3.3.2.3.1. Modelo de referencia de reciclaje

El reciclaje se concibe como una alternativa de valorización orientada principalmente al aprovechamiento de los materiales que componen un producto, en lugar de preservar su funcionalidad original. Bajo este enfoque, los bienes descartados son sometidos a distintos procedimientos de transformación, tales como operaciones mecánicas, químicas o físicas con el fin de generar materias primas secundarias susceptibles de ser reutilizadas en nuevos procesos productivos.

El modelo de referencia asociado al reciclaje incluye las siguientes etapas:

- Captación y clasificación de los residuos generados.
- Transformación de los materiales recuperados.
- Reintroducción de los materiales procesados como insumos en sistemas productivos.

[25]

3.3.2.3.2. Modelo de referencia de remanufactura

La remanufactura puede definirse como una actividad industrial orientada a devolver a los productos previamente utilizados un estado funcional comparable al de un bien nuevo, garantizando niveles equivalentes de calidad y desempeño. A diferencia de otras estrategias de recuperación menos complejas, este enfoque requiere una intervención técnica intensiva y procesos productivos especializados.

De acuerdo con Lund, la remanufactura comprende una secuencia de operaciones que abarca el desmontaje completo del producto, la evaluación exhaustiva de sus componentes, la restaurar o sustitución de las partes defectuosas, el posterior ensamblaje y la realización de pruebas finales para asegurar su correcto funcionamiento. La utilización de este modelo se establece como una práctica habitual en sectores productivos como el automotriz, la electrónica y la fabricación de maquinaria industrial [26].

3.3.2.3.3. Modelo de referencia de reutilización

Este aspecto se manifiesta a través de la recuperación mínima de los insumos, permitiendo ser incorporados nuevamente en el proceso, este sistema sustenta la asignación un uso diferente, sin someterlo a procesos de transformación significativos

Según lo planteado por Stahel, la reutilización contribuye a prolongar el ciclo de vida de los insumos, en tal razón se convierte en una menor presión sobre los insumos ambientales y en la disminución de los residuos generados. En virtud de esto el modelo de referencia de reutilización pone énfasis en la preservación del valor funcional del producto y se aplica de manera frecuente en sistemas de envases retornables, mercados de productos de segunda mano y en el aprovechamiento de componentes reutilizables.

Etapas principales:

- Recuperación de los insumos posterior al uso para el que fue creado.
- Verificación general de su estado funcional.
- Procesos de limpieza o adecuación básica.
- Reincorporación del producto al ciclo de uso. [21]

Estos modelos en estudio pueden establecerse de acuerdo con el grado de recuperación de valor, en el cual la reutilización mantiene un valor superior que en el reciclaje. Se debe anotar que la jerarquía es considerada dentro de la literatura de gestión de retorno y sistema económico cerrado;

esta jerarquía es ampliamente reconocida en la literatura de logística inversa y economía circular, la misma que se utiliza como base para el procedimiento de formulación de resoluciones estratégicas en la gestión de productos que han alcanzado el término de su ciclo de vida [21, 24].

3.3.3. Gestión de Residuos Metálicos.

La gestión de recursos metálicos se conceptualiza como una serie sistemática de políticas estratégicas, así como también procedimientos técnicos y administrativos, los mismos que se encuentran enfocados al enfoque holístico de los residuos metálicos que son producidos dentro de todos los procesos productivos, así como también dentro de los comerciales de consumo. El mencionado manejo abarca todas las fases que componen la duración del residuo; tomado en cuenta desde su origen, hasta su tratamiento, valoración y disposición final; con la finalidad de minimizar el efecto ambiental, y de esta manera maximizar el uso de recursos y asegurar cumplimiento del marco legal establecido.

Los residuos metálicos se originan fundamentalmente de actividades industriales, como lo son la manufactura, la metalmecánica, la minería secundaria, la construcción y demolición; también podemos señalar como retiro de bienes de utilización perdurable, así tenemos electrodomésticos, vehículos y equipos electrónicos. [27].

A partir de un enfoque ambiental, la gestión de residuos metálicos cumple una función clave dentro de la Disminución de la demanda sobre los recursos naturales no renovables, Particularmente los metales extraídos directamente de yacimientos naturales. La restauración y reuso de metales ayuda a disminuir la dependencia y la necesidad de actividades extractivas y estas generalmente se relacionan con altos consumos energéticos, liberación de gases y el origen de desechos perjudiciales y el deterioro de los ecosistemas [28].

Desde la perspectiva económica el manejo eficiente de los residuos metálicos facilita modificar los residuos en recursos, originando valor por medio del reciclaje y la reintegración de metales, tomado en cuenta como materias primas secundarias en recientes procesos productivos. Dicha valorización además de minimizar los costos de producción también potencializa la competitividad de las entidades y fomenta la evolución de mercados secundarios de materiales [29].

La cobertura de la administración de residuos metálicos se expande más allá del reciclaje, incorporando fundamentos de la el sistema económico cerrado y la gestión de retorno. Entorno a lo mencionado la gestión incorpora actividades como la recolección exclusiva, la clasificación y separación de materiales, el tratamiento físico y químico, la remanufactura de componentes metálicos y en el momento que no es factible la valorización, el destino final ambientalmente seguro [21].

De igual forma, la gestión de residuos metálicos considera a diversos actores, así como generadores, gestores autorizados, autoridades ambientales y consumidores; esto implica la aplicación de esquemas de supervisión incorporados y el establecimiento de responsabilidades claras [30].

3.3.3.1. Tipos de residuos metálicos en la industria de construcción

El sector industrial constituye uno de los primeros productores de residuos desechos sólidos en todo el mundo debido a las actividades relacionadas con la edificación, remodelación y demolición de estructuras. Entre los materiales descartados en este sector, los **residuos metálicos** ocupan una posición destacada por su volumen, valor económico y potencial de reciclaje. En particular, el **acero, el aluminio y el cobre** representan las fracciones metálicas más comunes en residuos de construcción y demolición, debido a su amplia utilización en estructuras, cerramientos, instalaciones y componentes técnicos. La administración adecuada de estos residuos es una práctica fundamental para avanzar hacia sistemas productivos sostenibles y una economía circular que maximice la reutilización de recursos y minimice impactos ambientales [31, 32].

3.3.3.1.1. Residuos metálicos de acero

Dentro de los metales empleados en construcción, el acero se destaca como el más utilizado o en la industria de la construcción moderna debido a sus altas propiedades mecánicas, versatilidad y eficiencia estructural. Podemos anotar que su uso está en vigas, columnas, armaduras de refuerzo, perfiles y diversos elementos estructurales y auxiliares. Como resultado de estas aplicaciones, los residuos de acero constituyen una parte considerable de los residuos metálicos generados en obras de construcción y, especialmente, en actividades de demolición.

Se genera excedentes de acero en la construcción mediante:

- Procesos de recortes y ensamblaje de las estructuras
- Sobrantes y fragmentos metálicos

- Restos por demoliciones y hormigones.

Dentro de las esenciales utilidades ambientales del acero es su elevada reciclabilidad. El acero puede ser recuperado, fundido y reprocesado repetidamente sin una pérdida significativa de propiedades, lo que reduce la necesidad de extraer mineral de hierro y la energía requerida para producir acero primario. Este potencial de reciclaje transforma al acero en un material estratégico dentro de los esquemas de gestión de residuos de construcción y demolición, aportando ahorros energéticos y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero [31]-[33].

3.3.3.1.2. Residuos metálicos de aluminio

El aluminio también es considerado un metal de gran presencia en la construcción, especialmente en sistemas de cerramientos como ventanas, puertas, fachadas ligeras, cubiertas, así como en marcos estructurales no portantes. Su característica de ligereza, junto con la resistencia a la corrosión, ha promovido la utilización en aplicaciones arquitectónicas y de acabado.

Excedentes de aluminio (Al) en construcciones:

- Procesos de cortes e instalaciones
- Reemplazo por remodelación.
- Residuos en procesos de fabricación de componentes prefabricados.

Una de las principales cualidades del aluminio es su alto valor económico como material reciclable. La recuperación de aluminio mediante reciclaje posibilita una reducción de hasta el 95% en el consumo energético necesario para la producción de aluminio primario, lo que representa un beneficio ambiental y económico significativo [32]. En consecuencia, la gestión responsable de los desechos de aluminios se considera fundamental dentro de los sistemas de economía circular aplicados a la construcción.

3.3.3.1.3. Residuos metálicos de cobre

La utilización del cobre se da de forma amplia en sistemas eléctricos, instalaciones de fontanería, tuberías, cableado y componentes técnicos dentro de edificaciones. Su alta conductividad eléctrica y térmica lo convierte en un material indispensable para la infraestructura técnica de los edificios.

Excedentes de cobre en la construcción:

- Sustitución de sistemas eléctricos
- Cambio de tuberías y accesorios
- Residuos generados en el proceso de demolición de elementos que contienen cobre.

La gestión de residuos de cobre se distingue por un elevado potencial de reciclaje y valorización económica. Aunque los procesos de separación pueden ser más especializados debido a que el cobre se encuentra muchas veces combinado con otros materiales, su recuperación permite conservar recursos estratégicos y reducir la necesidad de minería primaria, lo cual tiene beneficios ambientales sustanciales [34, 35].

3.3.3.1.4. Procesos de clasificación y separación de metales (magnética, densidad y corrientes de Foucault).

El clasificado y apartado de residuos metálicos efectivo es un aspecto primordial en la administración de ellos en el área de la construcción, procesos de manufactura y también electrónica. A través de estos procedimientos se logra la recuperación de material que tiene valor y vida útil aún, mermando estos residuos con destino hacia relleno sanitario y así mismo mejorar el avalúo de estos elementos. En función de las características físico-químicas de los materiales, se utilizan distintas técnicas de separación, entre las cuales prevalecen la separación magnética, por densidad y mediante corrientes de Foucault [36, 37].

3.3.3.1.5. Separación magnética

La separación magnética tiene su fundamento en la propiedad de ciertos metales de ser atraídos por un campo magnético. Este método demuestra alta eficacia en el tratamiento de metales ferrosos, tales como el hierro y el acero, permitiendo su recuperación de mezclas heterogéneas con metales no ferrosos o residuos no metálicos.

En la práctica, los residuos metálicos se trasladan mediante cintas transportadoras o vibradoras sobre imanes permanentes o electroimanes, que extraen el material ferroso de manera rápida y eficiente. El mencionado no solo maximiza la pureza de los metales recuperados, Asimismo, permite minimizar la probabilidad de contaminación cruzada con diferentes metales y materiales [38, 39].

3.3.3.1.6. Separación por densidad

El proceso de separación por densidad aprovecha las diferencias de densidad entre diversos metales y materiales para su clasificación eficiente. Este método es muy efectivo para separar

metales no ferrosos, como aluminio, cobre, zinc y sus aleaciones más ligeros o pesados que puedan estar mezclados en flujos de residuos de construcción o manufactura.

Técnicas empleadas:

- Mesa densimétrica: Se trata del desplazamiento del material sobre una superficie con vibración, dando lugar a la separación del material menos denso del más denso.
- Separación en líquidos de densidad controlada: se sumergen los residuos en líquidos cuya densidad está ajustada de modo que unos metales flotan mientras otros se hunden, logrando una separación eficiente [36, 37].

Este tipo de separación es principalmente provechoso cuando los metales están combinados con plásticos, cerámicas o materiales de construcción livianos, facilitando la recuperación de metales de alto valor como cobre y aluminio [37].

3.3.3.1.7. Separación de corriente Foucault

Esta técnica se aplica con especial efectividad a metales no ferrosos, tales como aluminio, cobre, latón y estaño. Los sistemas modernos de separación por corrientes de Foucault permiten un proceso continuo y automatizado, con alta precisión en la segregación de materiales metálicos de mezclas complejas [39, 40].

3.3.3.1.8. Relevancia de los procesos de separación en la gestión de residuos metálicos

Para la implementación de los sistemas de gestión de scrap tiene varios beneficios como:

- Incremento de la recuperación de metales, minimiza el impacto ambiental
- Optimización de la eficacia económica a través de la transferencia de material.
- Apoyo a la economía circular, al reincorporar metales recuperados en nuevos procesos productivos [36, 37].

3.3.4. Tecnologías de reciclaje y fundición aplicadas a metales.

El reciclaje y la fundición de metales componen procesos esenciales dentro de la gestión de residuos metálicos, ya que permiten recuperar materiales valiosos, a la optimización del uso de recursos naturales y a la reducción de impactos ambientales relacionados con la producción de materiales primarios. Dentro de la construcción, manufactura y automotriz, la aplicación de tecnologías de reciclaje y fundición es importante para seguir hacia modelos de producción sostenibles y alineados con los principios de la economía circular [21, 28]

Tecnología de reciclaje de metales.

El reciclaje de metales abarca una serie de procesos destinados a convertir residuos metálicos en materias primas secundarias adecuadas para su reingreso en nuevos ciclos productivos. Estas tecnologías pueden ser diferentes conforme al tipo de metal, su nivel de contaminación y la utilización final planificado [28].

3.3.4.1. Reciclaje de Metales ferrosos.

Los metales ferrosos, como el hierro y el acero, se reciclan principalmente mediante procesos que incluyen:

- Trituración y fragmentación de los residuos.
- Separación magnética para eliminar impurezas.
- Compactación y preparación del material para su fundición.

3.3.4.2. Reciclaje de metales no ferrosos.

El proceso de reciclaje de metales no ferrosos especializados en base al valor económico y diversidad, entre los métodos tecnológicos se emplea.

- Método de Foucault.
- Clasificación de acuerdo a la densidad.
- Procesos químicos o de limpieza

El reciclaje de aluminio resalta por su elevada eficiencia energética, ya que puede minimizar hasta en un 95 % la energía necesaria en comparación con la producción primaria, mientras que el cobre conserva casi completamente sus propiedades tras el reciclaje [41].

3.3.4.3. Tecnologías de fundición de metales.

La fundición es una etapa fundamental en el reciclaje de metales, en la cual los residuos metálicos anticipadamente clasificados y preparados son fundidos y refinados para conseguir un metal con cualidades adecuadas para el reciclaje industrial [42].

Hornos de arco eléctrico.

Los hornos de arco eléctrico (EAF) son ampliamente usados en la fundición de acero reciclado. Los mencionados hornos utilizan energía eléctrica para dar origen a altas temperaturas que son

coadyuvantes para fundir residuos de manera competente. Su principal beneficio es la minimización relevante de emisiones de carbono en relación con los altos hornos convencionales [43]- [42].

Fundición secundaria y refinación.

La fundición secundaria implica la transformación de metales reciclados para adaptar su composición química por medio de procesos de refinación. El mencionado proceso abarca la eliminación de impurezas y la adición de elementos de aleación, con miras a garantizar que el producto final cumpla con los requerimientos técnicos del sector industrial [28]- [45].

3.3.5. Minería urbana como fuente de recuperación de metales.

La minería urbana ha aparecido en las últimas décadas como una estrategia clave para el reingreso de metales a partir de residuos originados en ambientes urbanos e industriales. La presente estrategia se sustenta en reconocer los residuos, especialmente los generados al término de la vida útil de los productos, como reservorios secundarios de metales, capaces de complementar o sustituir parcialmente la minería tradicional. En el contexto actual de agotamiento de recursos naturales, incremento en la generación de residuos y transición hacia la economía circular, la minería urbana tiene su ubicación como una opción sustentable para la obtención de metales [21, 28]

La minería urbana es el procedimiento sistemático de identificación, extracción y recuperación de materiales valiosos, especialmente metales, desde de residuos sólidos urbanos, materiales residuales procedentes de la construcción y demolición, residuos de origen industrial y residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE). A diferencia de la minería convencional, esta práctica se desarrolla dentro del entorno urbano y aprovecha materiales que ya han sido extraídos, procesados y utilizados previamente [46].

Los procesos de recolección tienen una base técnica que permite la recuperación de los metales de forma estratégica, con reducción del impacto ambiental. [47].

3.3.5.1. Fuentes de metales en la minería urbana.

Entre las fuentes de recuperación de los metales se tiene:

- Residuos por demolición y construcción.
- Residuos por elementos tecnológicos.

- Autos fuera de circulación o uso.

Estas fuentes representan depósitos urbanos de metales con concentraciones que, en algunos casos, pueden ser equivalentes o superiores a las de los yacimientos minerales naturales [28, 48].

3.3.5.2. Procesos tecnológicos asociados a la minería urbana.

La minería urbana se apoya en tecnologías innovadoras de gestión y recuperación de materiales, tales como:

- Sistemas de separación magnética y por corrientes de Foucault.
- Fundición secundaria y refinación de metales recuperados.

Estas tecnologías fusionadas permiten aumentar la recuperación de metales y mejorar la calidad de los materiales secundarios obtenidos, incrementando su viabilidad técnica y económica [47]-[49].

Impacto Ambiental y Social

Mediante la gestión de residuos metálicos, el reciclaje, la minería urbana y las tecnologías de recuperación de metales dan lugar a impactos relevantes ya sea dentro del campo ambiental como en el social. Propiciando una adecuada implementación de las prácticas en mención favorece a la reducción de los impactos negativos asociados a la extracción de recursos naturales, de igual forma que aporta beneficios sociales relacionados con el ámbito laboral, la salud pública y el desarrollo sostenible. En tal virtud, el análisis del impacto ambiental y social constituye un componente esencial en estudios orientados a la sostenibilidad industrial y la economía circular [21]- [48].

3.3.5.3. Impacto Ambiental.

Minimización del consumo de los recursos ambientales

Uno de los impactos ambientales más significativos asociados a la gestión y reciclaje de residuos metálicos es la disminución de la extracción de las materias primas vírgenes. La recuperación de metales como acero, aluminio y cobre disminuye la dependencia de la minería tradicional, la cual está asociada a la degradación de ecosistemas, deforestación y alteración del paisaje [28].

Se entiende la minería urbana da lugar a que se aproveche los materiales extraídos para su reciclaje correspondiente, se toma que en cuenta que esto beneficia con la reducción de explotación de los recursos naturales, además contribuye la conservación de los elementos no renovables [47].

Disminución de residuos y contaminación:

La correcta gestión de residuos metálicos reduce la cantidad de materiales llevados a rellenos sanitarios u organizados de manera incorrecta. Con ello se reducen los potenciales impactos contaminantes sobre el suelo, el agua y la atmosfera, principalmente en el caso de despojos que contienen, metales potencial contaminantes [50].

Asimismo, la ejecución de tecnologías de clasificación, reciclaje y fundición con vigilancia permite minimizar la creación de residuos secundarios y emisiones contaminantes durante los procesos de producción.

3.3.5.4. Impacto Social.

3.3.5.4.1. Generación de empleo y desarrollo económico.

El reciclaje de material metálico contribuye de forma importante a la generación de empleo conforme a la clasificación, transformación de los mismos, entre otros. Estos trabajos establecen en el sector como proyectos de economía social [28] [51].

3.3.5.4.2. Mejora de salud pública.

Los residuos metálicos mal gestionados en menor cantidad impactan positivamente en la salud pública, la minimización del contacto de la población a contaminantes asociados a vertederos informales y procedimientos inapropiados en la disposición de residuos. La gestión ambientalmente responsable de estos residuos contribuye a entornos urbanos más seguros y saludables [50].

3.3.5.4.3. Inclusión Social y Sostenibilidad.

Entorno a todo lo indicado, la gestión de residuos y la minería urbana son coadyuvantes para la inclusión social, fundamentalmente en el momento que incorporan recolectores informales en sistemas formales de gestión. De tal forma que esto da lugar a lograr ambientes laborales más idóneos; el acceso a la seguridad social y el aumento del bienestar de estos trabajadores, impulsando el desarrollo más imparcial [51, 52].

3.3.6. Beneficios Ambientales de la Logística Inversa (reducción de emisión y ahorro energético).

Se entiende por logística inversa el conjunto de procesos destinados a planificar, ejecutar y supervisar el flujo de materiales, productos y residuos desde su consumo hasta su valorización o disposición final con el fin de recuperar valor y asegurar la sostenibilidad. Este enfoque es particularmente relevante en la gestión de residuos metálicos y la economía circular, la logística inversa desempeña un papel fundamental al generar beneficios ambientales significativos, entre estos beneficios sobresalen la disminución de emisiones contaminantes y la optimización del consumo energético, los cuales contribuyen directamente a la sostenibilidad ambiental y al cumplimiento de los compromisos internacionales de mitigación del cambio climático [21]-[28].

3.3.6.1.Reducción de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero

3.3.6.1.1. Disminución de la Extracción de Materias Primas.

El principal beneficio ambiental de la logística inversa se centra en la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) vinculadas a la extracción y procesamientos de materias primas vírgenes. El fomentar la recuperación, reaprovechamiento y reciclaje de metales, se disminuye la necesidad de actividades mineras tradicionales, las cuales generan altas emisiones a consecuencia del uso intensivo de energía y combustibles fósiles [47].

En el contexto de la sostenibilidad, la recuperación de metales como el acero, aluminio y cobre a través de logística inversa reduce de forma considerable las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) comparable con su producción primaria [53].

3.3.6.1.2. Optimización del Transporte y la Distribución.

La implementación de logística inversa contribuye a la disminución de emisiones mediante la optimización de rutas de transporte, la consolidación de cargas y la utilización más eficiente de la infraestructura logística disponible. El incorporar los flujos de retorno con los flujos directos de distribución, se reduce el número de viajes necesarios y, por ende, el consumo de combustibles y las emisiones asociadas al transporte [28, 54].

3.3.6.1.3. Ahorro Energético.

Eficiencia Energética en el Proceso de Reciclaje.

El reciclaje de metales es administrado por medio de sistemas de logística inversa, el cual expone relevantes ahorros energéticos en relación con la producción de metales a partir de recursos primarios. Múltiples análisis muestran que el reciclaje de aluminio puede ahorrar hasta un 95 % de la energía necesaria para la fabricación de materiales a partir de los recursos primarios, mientras que el acero y el cobre presentan ahorros energéticos del orden del 60 % y 85 %, respectivamente [53, 55].

Ciclo de vida más alargada de los productos

La logística inversa impulsa estrategias como la reutilización, remanufactura y reciclaje, permitiendo extender el ciclo de vida de los productos metálicos y disminuir la necesidad de producir nuevos bienes. Esta extensión del ciclo de vida radica en un menor consumo acumulado de energía a lo largo del tiempo, lo que refuerza el impacto positivo de la logística inversa desde una perspectiva ambiental [21, 47].

Contribución a la Sostenibilidad Ambiental.

Minimizar las emisiones y el ahorro energético procedentes de la logística inversa aportan de manera inmediata al logro de objetivos ambientales globales, incluyendo la mitigación del cambio climático y la adopción de sistemas productivos orientados a la sostenibilidad. Además, la adopción de modelos de logística inversa contribuye a consolidar la integración de la economía circular en sectores industriales con alta dependencia de metales, como la construcción y la manufactura [28, 54].

3.3.7. Indicadores de Sostenibilidad Aplicados a Metales

3.3.7.1. Huella de Carbono en la Gestión

Se entiende por huella de carbono la cantidad global de emisiones de GEI, reportadas como CO₂ equivalente (CO₂-eq), atribuibles directa o indirectamente a un producto, proceso o sistema a lo largo de su ciclo de vida. Tal es el caso que el indicador incorpora emisiones asociadas a la extracción de materias primas, procesamiento, transporte, vinculadas al uso y gestión al final de la vida útil [56].

3.3.7.2. Aplicación del Indicador en Metales.

La huella de carbono es usada de forma amplia para relacionar la producción de metales primarios con la producción desde el material reciclado. Conforme a análisis demuestran que

la utilización de metales reciclados puede minimizar significativamente las emisiones de CO₂-eq, especialmente en el caso del aluminio, el acero y el cobre [53, 43].

La integración de sistemas de logística inversa y reciclaje favorecen la reducción de la huella de carbono a lo largo de la vida útil de los metales, fortaleciendo las estrategias de mitigación del cambio climático y ala adhesión a reglamentos internacionales de sostenibilidad [28, 47].

3.3.7.3.Reducción de Residuos Enviados a Vertederos.

3.3.7.3.1. Importancia del Indicador.

El minimizar los residuos emitidos a vertederos es un indicador clave de sostenibilidad, en razón que el mismo refleja la eficiencia de los métodos de gestión de residuos y el grado de aprovechamiento de materiales. En el contexto de los metales, este indicador mide la cantidad de residuos metálicos que son recuperados, recuperados o reaprovechados en lugar de ser dispuestos como residuos finales [57].

3.3.7.4.Aplicación en la Industria y construcción.

En segmentos como la construcción y la manufactura, la implementación de estrategias de reciclaje, remanufactura y minería urbana ha demostrado ser altamente eficiente para minimizar considerablemente el número de residuos metálicos consignados a sumideros. La medición sistemática de este indicador facilita el desempeño ambiental de proyectos y establecer metas de mejora coherentes con los lineamientos de la economía circular [21, 52].

3.3.7.4.1. Integración de Indicadores.

Se establece un criterio directo en la integración de indicadores, estos permiten verificar los modelos en base al desempeño ambiental de la gestión de residuos metálicos. En cuanto a la huella de carbono se cuantifica en la variación climática, la minimización de los vertederos simboliza el aprovechamiento de los recursos

Indicadores:

- Verificación de la sostenibilidad
- Alternativas tecnológicas
- Aportar la formulación de políticas públicas y estrategias empresariales sostenibles [56]- [47].

3.3.7.5. Contribución a la Economía Circular.

La utilización de indicadores de sostenibilidad integrados en metales potencializa el proceso de transformación hacia la economía circular, aportando métricas claras para el crecimiento y mejora de los flujos de materiales. El disminuir la huella de carbono y del envío de residuos a vertederos pone en manifiesto la influencia positiva de prácticas de reutilización, la minería urbana y la logística inversa en la conservación del medio ambiente, así también el empleo eficiente de los recursos [28]- [52].

3.3.8. Conciencia Ciudadana y Participación Ciudadana en el Reciclaje.

La conciencia ciudadana y la integración activa de la población son elementos fundamentales para el éxito de los sistemas de reciclaje y de la gestión sostenible de residuos. Dada la economía circular y la logística inversa, el desempeño de los ciudadanos afecta de manera directa en la efectividad de los procesos de separación en origen, recolección y valorización de materiales reciclables, incluidos los metales. Por tal motivo, el fortalecimiento de una cultura ecológica y el impulso de la participación ciudadana son factores determinantes y claves para optimizar el impacto medioambiental y social de las técnicas de reciclaje [21, 48].

3.3.8.1. Ciudadana en el Reciclaje.

3.3.8.1.1. Conciencia Ciudadana.

La conciencia ciudadana en materia de reciclaje tiene que ver con el nivel de conocimiento, actitudes y valores que están presentes en los individuos frente a la gestión apropiada de los residuos y su impacto ambiental. La definición abarca la comprensión de los beneficios del reciclaje, minimización de la generación de residuos para vertederos y la preservación del medio ambiente mediante la reutilización y recuperación de materiales [28].

Con un alto nivel de conciencia ambiental se integra con prácticas más responsables de separación de residuos en origen, lo cual incrementa la excelencia de los materiales reciclables y mejora la eficiencia de los mecanismos de gestión de residuos [52].

3.3.8.1.2. Educación Ambiental como Herramientas Clave.

La educación ambiental ejerce rol fundamental en la capacitación a la ciudadanía. Programas educativos, campañas de sensibilización y estrategias de comunicación pública permiten sensibilizar a los habitantes la necesidad imperiosa de reciclar y los impactos positivos que

genera en el ambiente y la sociedad. En investigaciones actuales demuestran que la educación ambiental continua influye de manera positiva en el comportamiento proambiental y en la integración de hábitos responsables dentro de los habitantes. [58, 59].

3.3.8.1.3. Participación ciudadana en los sistemas de reciclaje

En este punto la participación de la ciudadanía aporta de forma significativa al mantener una clasificación adecuada de los desechos con la finalidad de reducir la contaminación por los mismos e incrementa el valor económico [57].

Responsabilidad compartida

La gestión sostenible de desechos se sustenta en el fundamento de responsabilidad compartida, en el cual ciudadanos, gobiernos locales, empresas y organizaciones sociales participan de manera conjunta. La integración de la ciudadanía en las acciones tomadas y en la implementación de programas de reciclaje fortalece la aceptación social de estas iniciativas y mejora su efectividad a largo plazo [51].

Impacto social y ambiental

Cuando la población interviene en el tema de reciclaje garantiza un impacto positivo en ámbito social y ambiental; los beneficios se pueden detallar de la siguiente forma:

- Aumento en la tasa de reciclaje
- Minimización de los residuos en vertederos
- Mantiene la calidad de vida
- Fortalece la concientización de responsabilidad.

Estos beneficios refuerzan el rol de la ciudadanía como actor clave en la transformación orientada a sistemas de crecimiento responsable y el sistema económico cerrado [21]- [52].

3.3.8.1.4. Conciencia ciudadana y economía circular

La conciencia y participación ciudadana son principios básicos del sistema económico de ciclo cerrado, ya que permiten cerrar los ciclos de materiales y maximizar el aprovechamiento de recursos. En el caso del reciclaje de metales, la colaboración activa de la población facilita la

implementación de sistemas de gestión de retorno eficaces y contribuye a la reducción de impactos ambientales asociados a la producción y disposición de materiales [28, 57].

Formación de recicladores y su rol en la cadena inversa.

La cadena inversa constituye un elemento clave dentro de los sistemas de logística inversa y economía circular, al permitir la recuperación de insumos y productos desde el lugar de uso hacia procesos de recuperación, reciclaje o disposición final adecuada. Entorno a lo anotado, los recicladores cumplen una función esencial, puesto que actúan como el primer eslabón en la recolección, clasificación y acondicionamiento de residuos, especialmente en el caso de materiales reciclables como los metales. La formación y capacitación de los recicladores resulta esencial para optimizar la productividad operativa, la calidad de los materiales recuperados y las condiciones sociales y laborales de este sector [21, 28].

Rol de los recicladores en la cadena inversa

Los recicladores participan activamente en diversas etapas de la cadena inversa, entre las que destacan:

- Recolección de residuos reciclables
- Clasificación de los materiales
- Tratamiento de los residuos
- Abastecimiento de materiales

La contribución directa a la minimización de desechos en los vertederos estos son redirigidos a los diferentes procesos industriales potenciando la gestión de logística inversa y el reciclaje [57].

3.3.8.1.5. Importancia de la formación de recicladores

Mejora de la eficiencia y calidad del reciclaje

La formación técnica de los recicladores permite optimizar las etapas de selección y segregación de desechos, incrementando la pureza de los materiales recuperados y reduciendo la contaminación de los flujos reciclables. En el caso de los metales, una correcta identificación y separación mejora significativamente su valor económico y su viabilidad para el reciclaje industrial [52].

Seguridad y condiciones laborales

La formación de recicladores es un elemento principal para mejorar la protección y salud ocupacional. El manejo inadecuado de residuos metálicos puede implicar riesgos físicos y químicos, por lo que la formación sobre el uso de elementos de protección personal y en prácticas seguras de trabajo resulta fundamental para reducir accidentes laborales [51].

3.3.8.1.6. Formación de recicladores y desarrollo social

Inclusión social y formalización

La capacitación de recicladores favorece la inclusión social y la formalización de su actividad dentro de los modelos de administración de desechos. La integración de recicladores informales en programas de formación y certificación contribuye a mejorar sus condiciones laborales, el acceso a beneficios sociales y el reconocimiento de su labor como un servicio ambiental esencial [60].

Impacto económico local

En este aspecto hay que tomar en cuenta la profesionalización de los recicladores ya que generan empleo, mejora los ingresos y mantiene una cadena inversa estructurada dando lugar a la minimización de los costos en gestión municipal de residuos esta manera promueve el desarrollo en los mercados [28, 52].

En este sentido, los recicladores capacitados se convierten en agentes estratégicos para la integración efectiva de políticas de gestión de residuos y logística inversa [21]- [57].

3.3.9. Aspectos económicos

El modelo de gestión de logística inversa en las empresas busca la optimización en la gestión de los metales y desechos de los mismos minimizando los costos de adquisición e incrementando el progreso económico de las entidades

3.3.9.1. Clasificación de materiales

La clasificación y separación de materiales reciclables (acero, perfiles metálicos, sobrantes de construcción) es esencial para maximizar la reutilización y reducir desperdicios. Este proceso incluye:

- Mano de obra para la separación y control de calidad
- Equipos de clasificación y herramientas para el mismo
- Centro de acopio para almacenamiento temporal

Los estudios actuales han identificado que la clasificación puede generar un ahorro del 10 al 15% al adquirir materiales [62].

3.3.9.2.Energía

El consumo energético en logística inversa proviene principalmente de:

- Operación de los dispositivos destinados al traslado y manejo de insumos.
- Funcionamiento perteneciente a la maquinaria de procesamiento o compactación.
- Iluminación y acondicionamiento de centros de almacenamiento.

Estudios muestran que optimizar la energía utilizada en logística inversa puede reducir hasta un 12% los costos operativos totales en empresas de construcción [63].

3.3.9.3.Síntesis de costos operativos

En conjunto, los costos operativos de transporte, clasificación y energía deben ser evaluadas mediante un presupuesto detallado y análisis de sensibilidad, considerando variaciones en precio del combustible, salarios y tarifas de energía. Este análisis permite proyectar el retorno de la inversión y definir estrategias para minimizar gastos sin afectar la eficiencia del sistema.

3.3.9.3.1. Rentabilidad del reciclaje de metales: márgenes de ganancia y barreras económicas

La rentabilidad del reciclaje de metales constituye entre los principales incentivos económicos para la implementación de gestión de retorno en empresas constructoras como Servicios de Ingeniería Estructural (SIE). En el sector de estructuras metálicas, los residuos generados principalmente acero y perfiles metálicos representan una oportunidad para recuperar valor económico, reducir costos de producción y mejorar la competitividad empresarial.

Márgenes de ganancia del reciclaje de metales

El reciclaje de metales permite obtener ingresos directos mediante la venta de residuos o la reutilización interna de materiales recuperados. Las cantidades que se logran captar como

ganancia tienen dependencia del material que se esté manejando, el volumen y el comercio del sector.

En lo referente al acero, que es el material predominante en SIE, estudios recientes indican que el reciclaje puede generar márgenes de ganancia netos entre el 10% y 25%, considerando los costos operativos asociados a recolección, clasificación y transporte [64]. Además, la reutilización interna de sobrantes metálicos reduce la compra de materia prima, lo que incrementa indirectamente la rentabilidad del proceso.

Asimismo, el reciclaje de metales consume menos energía que la producción de materiales vírgenes, lo que se traduce en ahorros económicos adicionales y mejora la eficiencia global del sistema productivo [65].

Barreras económicas del reciclaje de metales

A pesar de su potencial rentabilidad, el reciclaje de metales enfrenta diversas barreras económicas que pueden limitar su implementación efectiva:

- Variabilidad en los precios del mercado de metales reciclados, lo que genera incertidumbre en los ingresos.
- Costos iniciales de infraestructura, como áreas de acopio, equipos de clasificación y adecuación de espacios.
- Gastos de transporte, especialmente cuando los centros de reciclaje se encuentran alejados de la obra.
- Falta de economías de escala, en especial en empresas medianas, lo que reduce la rentabilidad en volúmenes pequeños [66].

Estas barreras requieren una adecuada planificación financiera y el uso de análisis costo-beneficio para asegurar que el reciclaje de metales sea económicamente viable.

3.3.9.4. Evaluación económica y sostenibilidad

La rentabilidad del reciclaje de metales debe evaluarse de forma integral, estimando no únicamente los ingresos directos, además los ahorros de funcionamiento y beneficios inmediatos, como el refuerzo en la identidad institucional y la adherencia a la legislación en materia ambiental. Por tal razón, la logística inversa se consolida como una estrategia que

combina rentabilidad económica y sostenibilidad, alineándose con las tendencias actuales del sector de la construcción.

3.3.9.4.1. Incentivos económicos y políticas de apoyo a la economía

La implementación del modelo de gestión cerrado y reciclaje de metales en la industria de la edificación se ve fortalecida por la existencia de incentivos económicos y políticas públicas, cuyo objetivo es promover la economía circular, la responsabilidad organizacional y el manejo eficiente de los recursos. En el caso de la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE), estos mecanismos representan una oportunidad para mejorar la viabilidad económica de la propuesta de gestión.

Incentivos económicos para la logística inversa

Los incentivos económicos buscan reducir la carga financiera asociada a la adopción de prácticas sostenibles. Entre los más relevantes para empresas constructoras se destacan:

- Beneficios tributarios, como deducciones o exoneraciones fiscales por inversiones en tecnologías limpias, reciclaje y gestión ambiental.
- Subsidios y créditos preferenciales, orientados a la inversión en equipamiento, adaptación de las instalaciones de acopio y mejora de procesos productivos sostenibles.
- Incentivos por reducción de residuos, que premian a las empresas que disminuyen la n{umero de desechos trasladados para su eliminación.

Estudios recientes indican que la aplicación de incentivos económicos puede reducir entre un 10% y 30% los costos iniciales de implementación de sistemas de logística inversa, mejorando el retorno de la inversión [21].

Políticas públicas de apoyo a la economía circular

Las políticas de apoyo al modelo de gestión cerrada promueven la reutilización, el reciclaje y la valorización de residuos como parte del desarrollo económico sostenible. Estas políticas incluyen:

- Normativas que fomentan el reciclaje de materiales metálicos y la disminución en la utilización de insumos de origen primario.
- Programas gubernamentales de apoyo a pequeñas y medianas empresas (PYMES) para la incorporación de acciones responsables.

- Estrategias nacionales y regionales encaminadas a la producción limpia y la administración total de desechos.

En el sector de la construcción, estas políticas buscan mejorar la competitividad empresarial sin comprometer el desarrollo económico, en concordancia con las metas de crecimiento responsable [67].

Barreras para el acceso a incentivos

A pesar de los beneficios, existen limitaciones que pueden dificultar el acceso a incentivos económicos, tales como:

- Procesos administrativos complejos.
- Falta de información o asesoramiento técnico.
- Requisitos financieros o legales que no todas las empresas pueden cumplir.

3.3.9.4.2. Relación con la sostenibilidad económica.

Los incentivos económicos y las políticas de apoyo fortalecen la sostenibilidad económica de la logística inversa al disminuir riesgos financieros y fomentar inversiones responsables. En este contexto, la propuesta de gestión para SIE se alinea con un modelo empresarial que integra eficiencia económica, responsabilidad ambiental y desarrollo local.

3.3.10. Tecnología e Innovación

La adaptación de tecnología y la implementación de procesos que innovan se han transformado en detalles de suma importancia para mantener competitividad en el mercado, inteligencia operacional y garantía para la organización. En el campo de la LI, la incorporación de IoT ayuda a la mejora en la gestión de rotación inversa de recursos, desechos y propiedades en final de su ciclo óptimo de servicio, beneficiando la elevación en su costo económico y la reducción en la afectación al medio ambiente.

La IoT que se enfoca a la LI porque sostiene la utilización de instrumentos digitales, sistemas con automatización así como aplicaciones inteligentes para ordenamiento, desarrollo y manejo de forma eficaz en el reciclado, clasificado, re-utilizado, acopio y administración de residuos. Para los sectores de la industria como son las constructoras de estructuras de metal, la implementación de tecnología vanguardista resulta ser de mucha importancia por cuanto existe una alta cantidad de residuos que se generan y que son potencialmente recuperables.

3.3.10.1. Incorporación de tecnología en el área de materiales reciclables.

La tecnología de las Cosas (IoT,) se entiende como una cadena de insumos enlazados por dispositivos de control, software y técnicas en comunicado que permiten la captación y el intercambio con data en tiempo real. En el modelo de gestión de retorno perfeccionar la gestión de desechos y materiales reciclables, especialmente en centros de acaparamiento y reciclaje industrial.

La aplicación de IoT en los centros de materiales reciclables permite optimizar la eficiencia operativa, el seguimiento de los materiales, de una excelente gestión de existencias y gestión de toma de acciones basada en datos, ayudan a la sostenibilidad ambiental y a la economía circular [68].

3.3.10.1.1. IoT como instrumento tecnológico en la administración de desechos

Las áreas donde se practica reciclaje plantean una acción importante en la LI, ya que sostienen tareas receptoras, clasificado, acopio y entrega de residuos con valor. La implementación de tecnologías IoT en estos centros facilita la automatización y el monitoreo continuo de los procesos operativos [69].

Mediante el uso de sensores inteligentes, etiquetas RFID y dispositivos conectados, es posible clasificar el material reciclable, medir volúmenes, controlar el peso y reconocer el estado de los materiales en tiempo real. Esta información facilita optimizar la planificación logística y disminuir errores asociados a la gestión manual de inventarios [70].

También, los sistemas IoT permiten integrar la información del centro de reciclaje con otros actores de la cadena logística inversa, como empresas creadoras de desechos, transportistas y plantas de reciclaje, potenciando la coordinación y eficacia del sistema [71].

3.3.10.1.2. Monitoreo y control mediante sensores IoT

Una de las principales aplicaciones del IoT en las plantas de materiales reciclables es el seguimiento en tiempo real de la circulación de materiales. Los sensores pueden calcular variables por ejemplo nivel de llenado de contenedores, peso de materiales reciclables, condiciones ambientales y dirección de los activos logísticos [72].

Este monitoreo continuo permite mejorar el uso del espacio, prever la saturación de contenedores y planificar de manera eficaz las rutas de recolección y despacho. Además, el acceso a datos en tiempo real ayuda a la disminución de egresos operativos y al aumento de la productividad del centro de reciclaje [73].

Respecto a los materiales metálicos, como los utilizados en la construcción de estructuras metálicas, el IoT proporciona la identificación de materiales reutilizables y reciclables, originando una excelente recuperación de valor y reduciendo la generación de desechos no aprovechables.

3.3.10.1.3. IoT y seguimiento en la LI

El seguimiento es complicado en el sistema de control de retorno. La implementación de IoT ayuda con registros de origen, traslado, proceso y llegada a su destino de los materiales, garantizando la transparencia y confiabilidad de la información [74].

El uso de tecnologías como RFID y plataformas digitales conectadas facilita el control de las fases de vida de los insumos reciclables, lo cual resulta fundamental para cumplir con normativas ambientales, auditorías y estándares de sostenibilidad. Además, la trazabilidad mejora la adopción de acciones objetivas relacionadas con la reutilización, reciclaje o disposición final de los materiales [75].

3.3.10.1.4. Impacto del IoT en la sostenibilidad y economía circular

La implementación del IoT en los centros de materiales reciclables aporta inmediatamente a los fundamentos de responsabilidad y economía circular. En el momento de incrementar la eficacia de los procedimientos de recuperación y reutilización, se reduce la utilización de insumos primarios y se minimiza consecuencias ecológicas de las operaciones del sector industrial [76].

Diversos estudios señalan que el uso de IoT en la administración de desechos y materiales reciclables permite reducir emisiones de gases contaminantes, optimizar el manejo de insumos y mejorar el desempeño ambiental de las organizaciones [77]. En este sentido, el IoT se posiciona como una tecnología habilitadora para el desarrollo de sistemas de logística inversa sostenibles.

Manufactura aditiva y ecodiseño en procesos de reutilización

En el fabricado por adhesión (MA), conocida como impresión 3D, a nacido como un método innovador, ayudando a la producción de objetos en 3D desde un origen digital, a través de la construcción de capa por capa, mediante la suma progresiva por pegado de material diluído.

Este método a ganado importancia en varios campos de la industria por cuanto otorga facilidad en la creación de objetos previamente diseñados y personalizados que son aprovechados reduciendo así los desechos.

Manufactura aditiva como herramienta de reutilización

La fabricación por adición de material aditiva facilita elaborar las piezas a partir de insumos reciclados o reutilizados, lo que contribuye significativamente a la disminución de desechos industriales y mantener los recursos. A diferencia de los métodos de producciones convencionales, que a menudo originan eminentes cantidades de desechos, la MA permite crear componentes de manera más precisa, utilizando solo la cantidad de material necesario [78].

En el ámbito de la gestión de retorno, la fabricación con adición por capas ofrece la posibilidad de recuperar materiales reciclables y reutilizarlos para la fabricación de nuevos productos, lo que promueve la economía circular. Por ejemplo, los plásticos reciclados o las aleaciones metálicas recuperadas sirven como insumos para la producción mediante tecnología de impresión 3D, reduciendo así la necesidad de recursos vírgenes y finalizando las etapas de vida del producto [79].

Esta capacidad de utilizar materiales reciclados no solo mejora la sostenibilidad, sino que también proporciona una forma de optimizar los costos en sectores industriales como la construcción y la fabricación de estructuras metálicas. Mediante el uso de la MA, las empresas pueden fabricar piezas personalizadas a partir de materiales reciclados, potenciando el uso repetido de recursos y mitigando el impacto ecológico [80].

Ecodiseño en la manufactura aditiva

El ecodiseño se refiere al proceso de diseñar productos evaluando cada fase de su ciclo de vida, con la intención de minimizar su impacto ambiental. En combinación con la manufactura aditiva, el ecodiseño ofrece una metodología eficaz para crear productos que sean más sostenibles desde su concepción, fabricación, uso y disposición final [81].

El ecodiseño en manufactura aditiva implica la creación de productos optimizados para su reciclaje o reutilización, reduciendo el desperdicio de material y energía durante todo el proceso de fabricación. Esta práctica promueve la aplicación de recursos reciclables y de degradación natural, además de priorizar la durabilidad y reparabilidad de los productos, características esenciales para la sostenibilidad [82].

En el contexto de la reutilización, el ecodiseño también juega un papel fundamental al permitir la creación de insumos modulares o desmontables que pueden ser fácilmente desensamblados para su reciclaje o reutilización, lo que facilita los procedimientos de gestión de retorno y mejora la eficiencia de los centros de reciclaje y fabricación de productos reciclados [83].

Aplicación de la manufactura aditiva y ecodiseño en sectores industriales

En sectores como la construcción de estructuras metálicas, la manufactura aditiva y el ecodiseño representan una oportunidad para transformar los procesos tradicionales de fabricación, promoviendo el reciclaje de materiales y la minimización de desechos. La impresión 3D en metal, por ejemplo, permite la creación de componentes metálicos a partir de materiales reciclados o incluso desechos de producción [84].

La integración del ecodiseño en la fabricación aditiva facilita generar piezas con diseños complejos que, de otra manera, no resultarían factibles mediante técnicas tradicionales. Estas piezas, al estar diseñadas para ser fácilmente desmontables y reciclables, pueden ser reincorporadas al ciclo de vida del producto alcanza el fin de su ciclo de vida, disminuyendo la demanda de recursos vírgenes y disminuyendo el volumen de desechos generados [85].

Además, la fabricación descentralizada que permite la manufactura aditiva también puede ayudar a disminuir las emisiones de CO₂ derivadas de la movilización de materiales y productos, ya que las piezas pueden fabricarse localmente a partir de materiales reciclados o recuperados, lo que permite un uso eficiente de los recursos y reduce las repercusiones ambientales [86].

Ventajas y desafíos de la manufactura aditiva y ecodiseño en reutilización

La combinación de manufactura aditiva y ecodiseño presenta una serie de ventajas que son cruciales para la sostenibilidad industrial. Dentro de esta se destacan la disminución de la huella de carbono, la reducción de residuos y la optimización del uso de materiales y la creación de

productos más duraderos y reparables [87]. Además, el uso de materiales reciclados y la posibilidad de producir componentes bajo demanda permiten reducir significativamente los costos de producción y almacenamiento.

Sin embargo, a pesar de estas ventajas, se presentan retos relacionados con la adopción de estas tecnologías, como la falta de normativas estandarizadas para el uso de materiales reciclados en manufactura aditiva, la calidad variable de los materiales reciclados y las limitaciones técnicas en cuanto a la resistencia y propiedades mecánicas de las piezas fabricadas [88]. Estos desafíos requieren una mayor investigación y desarrollo orientadas a optimizar la viabilidad técnica y económica de la manufactura aditiva como una solución sostenible en la producción y reutilización de materiales.

3.3.10.1.5. Automatización en clasificación y separación de metales

La automatización en clasificación y separación de metales se refiere a la aplicación de tecnologías avanzadas para perfeccionar la eficacia y precisión en los procesos de segregación de metales en centros de reciclaje y plantas industriales. En el contexto de la logística inversa, donde los materiales metálicos recuperados de productos en fin de vida deben ser clasificados y separados adecuadamente, la automatización desempeña un papel clave en la mejora de estos procesos. La clasificación y separación automática de metales no solo incrementa la eficacia operativa, sino que asimismo ayuda a la sostenibilidad al mejorar la calidad de los materiales reciclados.

3.3.11. Impacto en la sostenibilidad y economía circular

La automatización en la clasificación y separación de metales contribuye directamente a la sostenibilidad y al modelo de economía circular, ya que permite una mayor recuperación de materiales reciclables, disminuye la necesidad de obtención de materia prima no reciclada y minimiza el desperdicio de materiales. La optimización de estos procesos también ayuda a reducir el efecto medioambiental de las operaciones de la industria, contribuyendo a la reducción de la huella de carbono y al aprovechamiento eficaz de los recursos [86].

En particular, la automatización mejora la eficiencia energética de los procesos de reciclaje, ya que los sistemas automatizados son más precisos en la separación de metales, lo que minimiza el gasto de energía y la cantidad de desechos no reciclables. Al aumentar la calidad de los

metales reciclados, estos pueden ser reincorporados al ciclo de producción, lo que reduce la necesidad de fabricar nuevos metales a partir de materias primas [87].

3.3.11.1. Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de las ventajas de la automatización en la clasificación de metales, existen varios desafíos que deben abordarse para su implementación generalizada. Entre ellos se incluyen los altos costos iniciales de los equipos automatizados, la necesidad de formación especializada para operarios y la complejidad de la integración de diversas tecnologías de automatización [88]. Además, la calidad de los metales reciclados puede verse afectada por la presencia de contaminantes, lo que requiere soluciones innovadoras en los sistemas de clasificación.

A medida que avanza la tecnología, se prevé que la inteligencia artificial (IA) y el aprendizaje automático desempeñen un papel clave en la optimización de los procesos de clasificación, permitiendo que los sistemas aprendan y se adapten a nuevas condiciones y tipos de materiales [89]. La integración de big data también permitirá mejorar la trazabilidad y gestión de los metales reciclables, optimizando la logística inversa.

3.3.11.2. Sistemas de trazabilidad digital para materiales reciclados.

La trazabilidad digital se refiere al proceso de seguimiento y registro de la información de un producto o material a lo largo de su vida útil mediante el empleo de tecnologías digitales. En el marco del reciclaje y la logística inversa, los sistemas de trazabilidad digital permiten gestionar de manera eficiente los flujos de materiales reciclados, garantizando su origen, transformación, y destino final. Estos sistemas son esenciales para mejorar la transparencia, la eficiencia operativa y el acatamiento de normativas ambientales en el reciclaje de materiales, especialmente en sectores industriales como la construcción de estructuras metálicas, donde los metales reciclados son cruciales para la sostenibilidad y la economía circular.

3.3.11.2.1. Importancia de la trazabilidad en los materiales reciclados

La trazabilidad digital en el reciclaje de materiales tiene un impacto significativo en varias áreas, tales como la gestión de desechos, la claridad en los procesos de red de abastecimiento, y la verificación del cumplimiento normativo. Los sistemas de trazabilidad permiten obtener información precisa y en tiempo real sobre el origen, estado y destino de los materiales

recicladados, lo que facilita su gestión y clasificación eficiente dentro de los centros de reciclaje [90].

Además, la trazabilidad contribuye a mejorar la calidad de los materiales reciclados al garantizar que los materiales recuperados cumplen con los estándares requeridos para su reutilización en nuevos procesos de producción [91]. También facilita el seguimiento de los materiales a lo largo de la cadena de suministro, asegurando que no se pierdan o se mezclen con otros desechos no reciclables, lo que mejora la eficiencia del sistema de reciclaje [92].

3.3.11.2.2. Tecnologías de trazabilidad digital.

Los sistemas de trazabilidad digital para materiales reciclados utilizan diversas tecnologías que permiten identificar, registrar y rastrear los insumos, en lapso de las etapas del ciclo del producto. Entre las tecnologías más comunes se encuentran los códigos QR, RFID (identificación por radiofrecuencia), y blockchain.

- **Códigos QR:** Son utilizados ampliamente para etiquetar materiales reciclables, lo que permite a los operadores y sistemas automatizados escanearlos rápidamente y acceder a la información relevante. Esta tecnología es especialmente útil en centros de reciclaje donde se maneja un alto volumen de materiales y es necesario mantener un registro preciso de cada uno [93].
- **RFID:** Los sistemas RFID permiten un seguimiento más detallado y a distancia de los materiales reciclados. Los tags RFID pueden ser integrados en los contenedores o directamente en los materiales, proporcionando investigación inmediata sobre su ubicación y estado, incluso en entornos donde el escaneo de códigos QR no es práctico [94].
- **Blockchain:** Esta tecnología se utiliza para garantizar la transparencia y la seguridad en la transferencia de datos a lo largo de la cadena de reciclaje. Blockchain permite registrar todas las transacciones relacionadas con los materiales reciclados de manera inmutable, lo que asegura la trazabilidad desde el origen hasta el destino final [95].

3.3.11.2.3. Beneficios de los sistemas de trazabilidad digital.

La implementación de sistemas de trazabilidad digital en los procesos de reciclaje ofrece numerosos beneficios para las empresas y el medio ambiente. Estos beneficios incluyen:

- Mejora de la eficiencia operativa: La trazabilidad digital permite una gestión más eficiente de los materiales reciclados, reduciendo tiempos de espera y mejorando la asignación de recursos dentro de los centros de reciclaje. La automatización de la recopilación de datos elimina errores humanos y optimiza la logística [96].
- Cumplimiento de normativas ambientales: Los sistemas de trazabilidad digital permiten a las empresas demostrar que están cumpliendo con las normativas ambientales locales e internacionales, lo cual es crucial en la gestión de desechos y materiales reciclados. Esto es particularmente importante en sectores donde el reciclaje es una obligación legal, como en la construcción [97].
- Transparencia y confianza: Al proporcionar una fuente confiable de datos en relación a la generación y destino de los materiales reciclados, los sistemas de trazabilidad digital mejoran la confianza de los consumidores, reguladores y otras partes interesadas en los procesos de reciclaje de la empresa. Esta transparencia también facilita la creación de alianzas estratégicas con otras empresas del sector [98].

3.3.11.2.4. Desafíos en la implementación de trazabilidad digital.

A pesar de los beneficios, existen varios desafíos asociados a la integración de sistemas de monitoreo digital en el reciclaje de materiales. Entre los retos más relevantes se encuentran:

- Costos iniciales de implementación: Los sistemas de trazabilidad digital requieren inversiones significativas en infraestructura, como la instalación de sensores RFID, escáneres, y plataformas de software para gestionar los datos. Esto puede ser un obstáculo para empresas pequeñas o medianas [99].
- Integración con sistemas existentes: Integrar nuevos sistemas de trazabilidad digital con las plataformas de gestión y los procesos existentes en los centros de reciclaje puede resultar complejo, especialmente en empresas que aún dependen de métodos manuales para gestionar los materiales reciclables [100].
- Protección de datos: La gestión de grandes cantidades de información sobre los materiales reciclados requiere asegurar la protección seguridad y confidencialidad especialmente de la investigación, especialmente cuando se utiliza tecnología como blockchain. Esto puede implicar desafíos técnicos y regulatorios, especialmente en términos de acceso y manejo de datos sensibles [101].

3.3.11.2.5. Futuro de la trazabilidad digital en el reciclaje.

El futuro de la trazabilidad digital en el reciclaje está estrechamente vinculado con el desarrollo de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), inteligencia artificial (IA) y big data. Estas tecnologías permitirán una gestión más inteligente y automatizada de los materiales reciclables, optimizando los procesos de clasificación, separación y distribución, y haciendo posible un reciclaje de precisión [102].

La aplicación de sistemas de monotitorización digital con plataformas de gestión inteligente puede transformar el reciclaje en un proceso aún más eficiente y sostenible, permitiendo una mayor reutilización de materiales, mejorando el desempeño ambiental y contribuyendo a una economía circular más efectiva [103].

3.3.11.3. Estudios de logística inversa en la industria metalmeccánica.

La industria metalmeccánica se caracteriza por el uso intensivo de metales como acero, aluminio y cobre, además del origen significativo de desechos sólidos industriales, piezas defectuosas y sobrantes de producción. En este contexto, la logística inversa ha adquirido un papel relevante como estrategia para gestionar de manera eficiente los flujos reversos de materiales, con el fin de recuperar valor económico, reducir costos operativos y minimizar impactos ambientales.

Diversos estudios académicos y técnicos han analizado la aplicación de la logística inversa en la industria metalmeccánica, destacando su contribución a la sostenibilidad, la competitividad empresarial y la transformación orientada a los diseños de gestión economía cerrada.

3.3.11.4. Enfoque de la logística inversa en la industria metalmeccánica.

La gestión de retorno en la industria metalmeccánica se centra principalmente en la reintegración, reuso de materiales metálicos provenientes de procesos productivos y de productos al final de su vida útil. Según la literatura reciente, estos procesos permiten reducir la dependencia de materias primas vírgenes y optimizar el uso de recursos disponibles [104].

Estudios realizados en plantas metalmeccánicas indican que la implementación de sistemas formales de logística inversa mejora la eficiencia en la gestión de desechos metálicos, facilita la clasificación de materiales y contribuye a una mayor trazabilidad de los flujos de retorno [105]. Asimismo, se evidencia que las empresas que adoptan prácticas de logística inversa presentan una reducción significativa en los costos asociados a la disposición final de desechos.

3.3.11.5. Resultados de estudios empíricos en empresas metalmeccánicas.

Investigaciones empíricas desarrolladas en empresas del sector metalmeccánico demuestran que la logística inversa permite recuperar un alto porcentaje de materiales metálicos con valor comercial, los cuales pueden ser reincorporados a los procesos productivos o comercializados como materia prima reciclada [106].

Algunos estudios de caso señalan que la correcta gestión de los desechos de producción puede representar entre el 10 % y el 25 % de ahorro en costos de materiales, dependiendo del nivel de automatización y control implementado [107]. Estos resultados evidencian el potencial económico de la logística inversa como herramienta de gestión estratégica.

Además, se ha identificado que la integración de tecnologías digitales, como sistemas de información logística y herramientas de trazabilidad, mejora la eficiencia de los procesos de retorno y clasificación de materiales en la industria metalmeccánica [108].

3.3.11.6. Logística inversa y sostenibilidad en la industria metalmeccánica.

La literatura científica resalta que la gestión de retorno es un elemento esencial para el desarrollo sostenible de la industria metalmeccánica. Los estudios destacan que la recuperación y el reuso de metales contribuyen a la reducción de liberación de gases de consecuencias invernadero, al ahorro energético y a la disminución de la extracción de recursos naturales [109].

Asimismo, la aplicación de modelos de logística inversa facilita la observancia de leyes en materia ambientales y lineamientos internacionales relacionados con la gestión de desechos industriales. En este sentido, la logística inversa se posiciona como una estrategia alineada con las políticas de responsabilidad ambiental y producción más limpia [72].

3.3.12. Tendencias identificadas en los estudios recientes.

Los estudios más recientes sobre logística inversa en la industria metalmeccánica destacan una tendencia hacia la digitalización y automatización de los procesos. La incorporación de tecnologías de la Industria 4.0, como IoT, inteligencia artificial y sistemas de trazabilidad

digital, ha sido identificada como un factor clave para mejorar la eficiencia y control de los flujos inversos [110].

Otra tendencia relevante es la integración de la logística inversa con modelos de economía circular, donde los desechos metálicos son considerados recursos estratégicos. Los estudios coinciden en que este enfoque permite transformar la gestión de desechos en una oportunidad de generación de valor económico y ambiental [22].

3.3.12.1. Experiencias internacionales en recuperación de metales.

La recuperación de metales constituye una práctica estratégica a nivel internacional para minimizar el uso de recursos naturales, reducir los impactos ambientales y fortalecer la competitividad industrial. En países con sectores metalúrgicos y metalmecánicos desarrollados, la recuperación de metales se integra a la logística inversa mediante políticas públicas, tecnologías avanzadas y modelos de economía circular. El análisis de experiencias internacionales permite identificar buenas prácticas, tecnologías aplicables y enfoques de gestión que pueden adaptarse a contextos locales.

3.3.12.1.1. Experiencias en países de la Unión Europea.

La Unión de Países Europeos se ha posicionado como referente en la recuperación de metales, impulsada por directivas ambientales y estrategias de economía circular. Países como Alemania, Suecia y los Países Bajos han implementado sistemas avanzados de reciclaje de metales, basados en la separación automatizada, trazabilidad digital y responsabilidad extendida del productor [13].

En Alemania, la industria metalúrgica ha incorporado procesos de recuperación de acero y aluminio con altos niveles de eficiencia, logrando tasas de reciclaje superiores al 85 %. Estas experiencias destacan la integración entre centros de reciclaje, industrias manufactureras y sistemas logísticos inversos bien estructurados [111]. Asimismo, el uso de tecnologías de clasificación automatizada y control digital ha facilitado optimizar la fiabilidad de los metales recuperados y reducir costos operativos.

Experiencias en Asia

En Asia, países como Japón y China han desarrollado modelos innovadores de recuperación de metales, motivados por la escasez de recursos naturales y la alta demanda industrial. Japón ha implementado sistemas de reciclaje de metales altamente tecnificados, con énfasis en la recuperación de metales ferrosos y no ferrosos provenientes de desechos industriales e insumos etapas finales del ciclo de vida [112].

China, por su parte, ha fortalecido su industria de reciclaje de metales mediante la adopción de tecnologías de automatización, inteligencia artificial y control de calidad, logrando incrementar significativamente la recuperación de acero, cobre y aluminio. Estudios internacionales destacan que la estandarización de procesos y la inversión en infraestructura han sido elementos indispensables para el éxito de estos sistemas [113].

Experiencias en América del Norte.

En Estados Unidos de Norteamérica, especialmente en Estados Unidos y Canadá, la recuperación de metales se ha consolidado como una actividad económicamente rentable y ambientalmente sostenible. Las empresas del sector metalmeccánico han adoptado sistemas de logística inversa que permiten la recuperación de desechos metálicos y su reincorporación a los procesos productivos [114].

En Estados Unidos, la industria del reciclaje de metales ha incorporado tecnologías de separación magnética, sensores ópticos y plataformas digitales para la consecución de materiales, lo que ha coadyuvado a perfeccionar la efectividad y trazabilidad en la recuperación de metales. Estas experiencias evidencian relevancia de la cooperación entre las instituciones públicas y privadas para el crecimiento de sistemas de reciclaje eficientes [115].

Experiencias en América Latina.

En países latinoamericanos como Brasil, Chile y México han avanzado en la implementación de sistemas de recuperación de metales, aunque con distintos niveles de desarrollo. Brasil destaca por su industria de reciclaje de acero y aluminio, apoyada en políticas de sostenibilidad y en la participación activa de la industria metalúrgica [116].

Chile y México han promovido iniciativas orientadas a la recuperación de metales mediante la modernización de centros de reciclaje y la adopción gradual de tecnologías de automatización y trazabilidad. Estas experiencias resaltan la importancia de adaptar los modelos internacionales a las condiciones económicas, tecnológicas y normativas de cada país [117].

Lecciones aprendidas de las experiencias internacionales.

El análisis de experiencias internacionales en recuperación de metales permite identificar elementos comunes que contribuyen al éxito de estos sistemas, tales como la integración de la logística inversa, el uso de tecnologías avanzadas, el apoyo normativo y la concienciación ambiental. Asimismo, se evidencia que la recuperación de metales no solo genera beneficios ambientales, sino también ventajas económicas y competitivas para las empresas del sector industrial [118].

3.3.12.2. Casos nacionales (Ecuador) en empresas de acero y estructuras metálicas.

En Ecuador, el sector del acero y de las estructuras metálicas desempeña un papel relevante en el desarrollo de la infraestructura, la construcción industrial y el crecimiento económico. Este sector se caracteriza por un alto uso de insumos primarios metálicos y por la generación de desechos industriales. En este contexto, la logística inversa y la recuperación de metales han comenzado a ser incorporadas como mecanismos para potencializar la efectividad operacional y el desempeño ambiental de las empresas.

Diversos estudios y reportes técnicos evidencian que, aunque la implementación de sistemas formales de logística inversa en Ecuador aún se encuentra en una etapa de desarrollo, existen experiencias relevantes en empresas siderúrgicas y metalmeccánicas que demuestran su viabilidad y beneficios.

3.3.12.2.1. Gestión de desechos metálicos en la industria del acero en Ecuador.

Las empresas ecuatorianas dedicadas a la producción y transformación del acero han incorporado prácticas orientadas a la recuperación de desechos metálicos como parte de sus procesos productivos. Estas prácticas incluyen la recolección, clasificación y reutilización de desechos metálicos generados internamente, así como la adquisición de desechos proveniente de otras industrias y del sector de la construcción [119].

Estudios realizados en el sector siderúrgico nacional indican que la reutilización de desechos metálicos facilita disminuir el uso de insumos de origen primario y minimizar los egresos energéticos asociados a la producción de acero, contribuyendo a una mayor optimización de la productividad y disminución de la afectación ecológica [120].

Experiencias en empresas de estructuras metálicas.

Con respecto a las industrias metálicas, la logística inversa se aplica principalmente en la gestión de sobrantes de producción, recortes de acero y piezas defectuosas. Investigaciones desarrolladas en empresas metalmeccánicas ecuatorianas señalan que la correcta gestión de estos materiales permite recuperar un porcentaje significativo de desechos metálicos con valor comercial [121].

Algunas empresas han implementado procedimientos internos para la clasificación de desechos metálicos, el almacenamiento temporal y su consecuente reutilización o venta a centros de reciclaje. Estas prácticas, aunque en muchos casos no se encuentran formalizadas dentro de un sistema integral de logística inversa, representan avances importantes hacia modelos de gestión más sostenibles [122].

Rol de los centros de reciclaje y actores locales.






Las instalaciones de reuso de metales ejercen una función esencial en la logística inversa del sector metalmeccánico ecuatoriano. Estos centros actúan como intermediarios entre las empresas generadoras de desechos metálicos y las industrias siderúrgicas, facilitando la recuperación y valorización de los materiales [123].

La literatura nacional destaca que la articulación entre empresas de estructuras metálicas, recicladores y siderúrgicas es clave para fortalecer los sistemas de recuperación de metales. Sin embargo, también se identifican limitaciones relacionadas con la falta de tecnologías avanzadas, la escasa trazabilidad de los materiales y la ausencia de modelos estandarizados de gestión logística inversa [124].

3.3.13. Diagrama de recorrido

Es un diagrama que representa el abastecimiento de las diferentes áreas de la planta donde se remarca con líneas el recorrido del movimiento del material, operarios o equipos de acuerdo a las actividades que se realizan.

Tabla 3 Simbología

Proceso	Símbolo
Transporte	
Demora	
Operación	
Inspección - operación	
Almacenamiento	

Elaborado por: El autor

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para este punto se toma en cuenta los métodos técnicos, procedimientos de cálculo y herramientas de ingeniería que se aplican para el desarrollo de la propuesta de logística inversa en la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE). El análisis contempla la medición exacta de desechos, diseño de almacenamiento y evaluación económica en base al levantamiento de información realizada en la entidad.

4.1. Diseño de investigación y enfoque metodológico

Para la “Propuesta de gestión en logística inversa para la empresa constructora de estructuras metálicas “Servicios de Ingeniería Estructural” (SIE) en Latacunga” se desarrolló a través de una perspectiva mixta que permite la indagación bajo escenarios que presenta la empresa SIE dando lugar a resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

El presente estudio aborda una investigación de nivel descriptivo propositivo, dado que busca establecer las propiedades y caracterizar la acumulación de desechos metálicos en la planta para detallar el estado actual de los diferentes procesos operativos antes de la intervención, de tal

forma garantizar la detección de fallas en la red abastecimiento interno. Con este enfoque, el diagnóstico del problema a tratar no se limita solo en el desorden y la pérdida económica, sino que puede evaluar de forma minuciosa el recorrido de los materiales y las áreas vulnerables.

4.2. Escenario de la investigación

4.2.1. Descripción de la empresa

La empresa SIE Servicios de Ingeniería estructural es una empresa que trabaja con metales, principalmente hierro y acero. La empresa se concentra en fabricar y ensamblar estructuras metálicas que contienen un elevado grado de complejidad. Su especialidad es la construcción de almacenes industriales, casas y edificios a gran escala, transformando perfiles, vigas y placas de acero en productos de acero. Combina procesos de ingeniería a detalle, tareas de corte, soldadura y operación de superficies con procesos y construcción para garantizar que su producción sea del más alto estándar en el proceso de construir.

La organización ahora opera sobre la base de la optimización de sistemas de producción. Estos procesos pueden describirse en el contexto de la cadena de suministro y la logística de materiales y son dos de los pilares básicos de la competitividad.

La logística inversa, una forma de logística que se ocupa de la gestión de desechos metálicos, se ha implementado para retener el valor residual y evitar costos operativos derivados de pérdidas de producción con un enfoque técnico y un proceso económico.

4.2.2. Diagnóstico de Procesos

De acuerdo a los datos recolectados en base a un cuestionario realizado a gerencia, se pudo determinar que la entidad SIE opera bajo un enfoque práctico no formalizado, además, se identificó las actividades principales del taller, dentro de la ilustra se puede observar un mapa de procesos, lo cual es esencial para la verificación de los puntos críticos

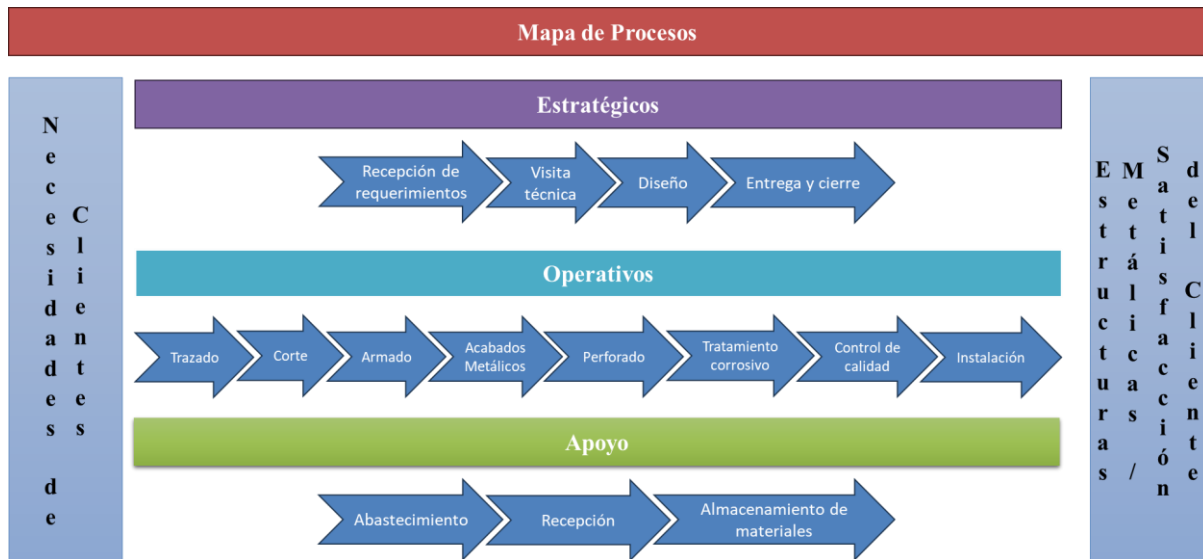


Figura 2 Mapa de procesos de SIE

4.2.2.1. Identificación del Punto Crítico de Generación de Desechos

Se pudo determinar que la actividad de corte del material representa la base de la generación de desechos. Dado que la ausencia de un sistema de retorno adecuado deriva en procesos que afectan la eficiencia de las etapas subsiguientes de armado y soldadura, primordialmente por la reducción del espacio útil y la pérdida de organización.

4.2.3. Variables del proceso

El diseño de logística inversa para la empresa SIE se respalda en un flujo de operaciones continuas, orientado a la recuperación de valor. Por consiguiente, se describe la lógica del proceso y la información en cada una de las etapas.

Para este punto se ha identificado las variables del proceso, se detalla en la tabla 4.

Tabla 4 Variables de proceso

Entrada	Proceso	Salida	
Materia prima (MP)	Índice de Merma por corte (IMC)	residuo valorizado	
Ordenes de producción		Retazos para reutilización	
Costos operativos iniciales		Tiempo de recolección	Rentabilidad
		Frecuencia de clasificación	

Elaborado por: El autor

4.2.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

Para la obtención de los datos que respalde a la propuesta de logística inversa en la empresa “Servicios de Ingeniería Estructural”, se lo realizó basado en el enfoque mixto lo que se podrá apreciar en lo siguiente:

Observación directa: Esta técnica se usó con el objetivo de registrar y reconocer el recorrido de que realizan para la recolección de desechos, además, permite analizar la situación actual de la empresa en términos de logística inversa.

Análisis documental: Esto fue aplicado con el fin de detallar el destino final de los desechos y la cantidad generada mensualmente, lo cual es primordial para el control de inventario y la reducción de pérdidas económicas.

Técnicas de medición industrial: Este punto es esencial para la cuantificación física del material y el espacio, para determinar las áreas designadas para los desechos.

Evaluación financiera: Para este punto se analiza mediante la cotización de venta de desechos clasificados, servirá para el análisis de costo – beneficio para validar la rentabilidad del presente estudio

4.2.5. Datos de Entrada y parámetros de diseño

En este apartado se definen algunos parámetros que se obtuvo durante la visita In situ en la empresa SIE.

Tabla 5 Datos de entrada

Generación de desechos (mensual)	150 kg
Costo de adquisición de MP	\$ 40.377,16
MP en kg	33.567,56 kg
Precio de venta actual	\$ 0,16 por cada kg (desechos)
Precio de venta proyectado	\$ 0,40 (material clasificado y limpio)
Área de intervención	4 m ²
Criterio de reutilización	Longitud > 1.00 m

Elaborado por: El autor

4.2.6. Modelo matemático y fórmulas

Para este punto el uso de fórmulas matemáticas es fundamental dan lugar a la transformación de los datos operativos en los datos puntuales en las acciones esenciales a tomar entre ellas se tiene:

- **Diagnóstico de pérdidas y uso de espacio**

La cuantificación de las mermas es fundamental ya que es la raíz para entender la ineficiencia de un proceso. La falta de control y el desorden generan pérdidas económicas directamente que pueden ser medidas, a continuación, se muestran la siguiente ecuación:

Formula de Pérdida de valor (PM)

$$Pérdida_{unit} = C_{compra} - P_{venta actual} \quad (1)$$

- **Viabilidad Económica y rentabilidad**

La justificación de un proyecto en logística inversa reside en la capacidad de generar retornos financieros. Esta herramienta de optimización de costos que da lugar a la valorización de los materiales residuales, permite transformar un gasto en un ingreso.

Formula de retorno de inversión.

$$ROI = \left(\frac{\text{Ingreso por reciclaje} + \text{Ahorros por reuso} - \text{inversión}}{\text{Inversión}} \right) * 100 \quad (2)$$

Se puede determinar el valor que el presente proyecto creará para la organización SIE en un tiempo largo.

Para la rentabilidad la reducción de costos por adquisición es fundamental para la disminución de compra de materia prima

Formula de ahorro por reutilización.

$$A_r = M_{reut} * (C_{mp} - P_{actual}) \quad (3)$$

A_r : Ahorro por reutilización

M_{reut} : Masa de retazos recuperados para producción

Por consiguiente, se valida la propuesta en Gerencia de SIE, se usa los flujos de caja proyectados en horizontal de 3 años, para ello se usa la siguiente ecuación:

Formula Valor Actual Neto (VAN).

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (4)$$

I_0 : Inversión inicial (contenedores, básculas, señalización)

F_t : Saldo efectivo final en el lapso de t (ingreso de la venta de desechos + ahorro por reutilización – costo operativo)

k : Tasa de descuento (12% de acuerdo al mercado)

n : Horizonte (3 años)

Para el cálculo de Tasa Interna de Retorno (TIR) se lo obtiene con la fórmula del VAN, pero igualado a 0 como se muestra en la siguiente formula

$$0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} \quad (5)$$

El proyecto es viable cuando $TIR > k$

k: coste del dinero (financiamiento)

4.3.Operacionalización de variables

Tabla 6 operacionalización de variables

Variables	Dimensión	Indicadores	Instrumentos
Variable independiente: Logística inversa	<ul style="list-style-type: none"> • Gestión de desechos • Optimización de flujos • Procesos de clasificación 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantidad mensual de desechos. • Merma de corte • Metros de retazos recuperados 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de registro • Layout
Variable dependiente: Rentabilidad Económica	<ul style="list-style-type: none"> • Ahorro en compras • Costos de oportunidad • Valorización de activos 	<ul style="list-style-type: none"> • Retorno de inversión • Valor actual neto • Tasa Interna de retorno • Ahorro de reutilización 	<ul style="list-style-type: none"> • Matriz de costo – beneficio • Cotizaciones de mercado.

Elaborado por: El autor

4.4.Procedimiento de Recolección de datos

En esta fase de inicio a la investigación propuesta que procede a la aplicación de las técnicas mencionadas en apartado anterior que garantizarán un análisis minucioso de los mismos para brindar solución al problema abordado.

Etapa 1: Diagnostico y levantamiento de campo

En la primera fase se realizará el mapeo de los procesos para la detección de todas las áreas complejas de origen y recolección de desechos. Conjuntamente, se hará un levantamiento de medidas de los espacios para le mismo.

Etapa 2: Análisis económico y financiero

Para este punto se establece la línea base de desperdicio, se adquiere datos necesarios para la rentabilidad del proyecto dentro de esto está el estudio de mercado, análisis de ahorro, estructuración del flujo de caja.

Etapa 3: Procesamiento y modelación del sistema propuesto

Finalmente, los datos que se recolectaron anteriormente se procesan para brindar el cumplimiento objetivo de la propuesta para ello se toma la evaluación financiera y el diseño de un plan técnico.

5. Análisis de Resultados

En este apartado se detalla los resultados que se obtuvieron mediante la aplicación de los métodos, técnicas y herramientas que se mencionó anteriormente, se realiza una comparación entre la situación actual de la empresa y la mejora propuesta con logística inversa.

5.1. Objetivo 1. Diagnóstico de la situación actual de la empresa

5.1.1. Actividad 1: Verificación de los procesos de generación de desechos.

Durante la visita In situ se identificó las condiciones que se encuentra la empresa y la disposición de desechos, además, se evidencia que tiene una ausencia de clasificación por tipo de material, retrasos en la recolección y traslados, así como el riesgo de seguridad para los operarios. ver Anexo 2.

Durante el análisis del proceso se determinó que los desechos metálicos se generan principalmente en las etapas de corte, debaste, soldadura y mecanizado de materiales, estas fases forman parte de los procedimientos de elaboración de las estructuras metálicas para la construcción, lo cual generan fragmentos de acero, virutas y sobrantes del material utilizado y la gran parte no son reutilizados.

A través de la observación, también se pudo verificar el flujo de trabajo y el recorrido del material:

Tabla 7 Procesos de generación de desechos y desechos de material

Proceso	Tipo de residuo
Área de corte	Retazos y sobrantes de material
Área	Partículas metálicas y fragmentos de debaste
Corte con plasma	Recortes irregulares
Área de oxicorte	Sobrantes metálicos y material fundido

En la tabla 7 se puede verificar las áreas donde se genera mayor cantidad de desechos y desechos metálicos durante el proceso de las estructuras metálicas. Cabe recalcar que la ausencia de un sistema estructurado de recolección y clasificación de estos desechos provoca que el material se acumule en diferentes zonas del área de trabajo, generando desorden operativo, pérdida de espacio y desaprovechamiento de materiales con valor potencial de reciclaje.

5.1.2. Actividad 2: Inventario de la cantidad de los desechos mensual.

En este punto se pudo determinar la cantidad de desechos metálicos a través de una entrevista a Gerencia, lo cual manifiesta que no llevan un registro formal o un sistema de control de scrap, a partir de esta información se determinó que la empresa genera un aproximado de 150 kg del mismo mensualmente, proveniente de las actividades anteriormente detalladas.

Tabla 8 Inventario mensual

Residuo	Fuente de información	Cantidad de scrap
Desechos de acero y hierro	Entrevista personal	150 kg

Este volumen representa un material con potencial de recuperación económica, ya que el acero es un material reciclable y puede introducirse en la cadena de valor a través de la comercialización del mismo a recicladoras o centros de acopio.

Asimismo, la inexistencia de un modelo de clasificación y almacenamiento adecuado provoca que estos desechos se acumulen en diferentes áreas de la planta, generando desorden en el espacio de trabajo y limitando el aprovechamiento eficiente de los materiales. Por esta razón, la cuantificación del volumen mensual de desechos constituye un insumo fundamental para el

desarrollo de la propuesta de logística inversa, la cual busca optimizar la gestión, recuperación y valorización de los desechos metálicos generados en la empresa.

5.1.3. Actividad 3: Medición de las áreas asignadas para la recolección de desechos.

Para este punto se realizó las mediciones del área de reciclaje donde se encuentra actualmente, ver figura 4.



Figura 3 Mediciones

Actualmente, la empresa SIE no dispone de un lugar específico para la recolección de los desechos metálicos, se pudo verificar que estos son apilados de forma temporal en la zona central de la empresa y en algunas ocasiones en las mismas áreas de producción limitando la movilidad, ocasionando desorden operativo ver figura 5.

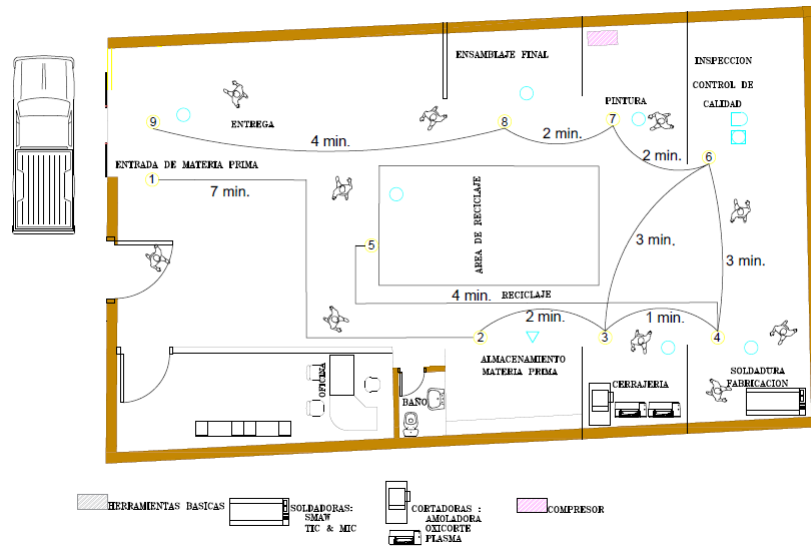


Figura 4 Layout actual

Para determinar el espacio ocupado por estos desechos durante el proceso se detalla lo siguiente:

Tabla 9 Área destinada de almacenamiento temporal de la empresa SIE

Área	Uso de espacio	Observaciones
Zona cerca al área de corte	Acumulación de los retazos metálicos	No existe contenedor
Área de trabajo general	Depósito temporal de desechos	Interfiere en la movilidad de los operarios

Los resultados de la observación evidencian que la empresa no cuenta con un sistema organizado para la disposición de los desechos metálicos de origen durante el procedimiento de producción. Esta situación provoca que los materiales sobrantes se acumulen en áreas de trabajo, afectando el orden, la seguridad operativa y el aprovechamiento eficiente del espacio disponible dentro del taller.

A partir de este análisis se identifica la demanda de aplicación de un modelo estructurado de logística inversa, que permita establecer puntos específicos de recolección, contenedores adecuados para la clasificación de desechos metálicos y un layout optimizado que facilite la gestión y recuperación de estos materiales.

5.1.4. Cálculo inicial de las pérdidas y costos por desorden.

Con lo antes mencionado y el levantamiento de información técnica (ver Anexo 1), se puede sustentar el bajo rendimiento en el modelo de gestión de desechos en la organización SIE.

5.1.4.1. Análisis de pérdida de valor.

El impacto económico es una de las bases entre el costo de adquisición de materia prima y el retorno por la venta de los desechos por lo que se toma en cuenta los siguientes datos:

- Residuo mensual: 150 kg
- Costo de adquisición: \$ 1,20 /kg
- Precio de venta: \$ 0,16 /kg

Usando la ecuación (1) Cálculo de la pérdida de valor

$$Pérdida_{unit} = C_{compra} - P_{venta actual}$$

$$Pérdida_{unit} = \$1,20 - \$0,16$$

$$Pérdida_{unit} = \$ 1,04$$

Para la pérdida económica mensual se usa la ecuación (2)

$$M_{scrap\ mensual} * Pérdida_{unit} = Pérdida\ económica$$

$$150\ kg * \$1,04 = \$156$$

Se muestra la pérdida económica anual de la siguiente forma:

$$\$156 * 12 = \$1.872$$

5.1.4.2. Análisis de Costos por desorden.

En los Anexo 1 y 2 se evidenció que las áreas se encuentran en desorden, además de otros datos importantes que facilitaron el cálculo. Lo cual se cuantifica de la siguiente forma:

Costo de oportunidad del área ocupada

- Área: 4m²
- Costo de alquiler: \$0,10 diario por m²

Costo mensual

$$4\text{m}^2 * \$0,10 * 30 \text{ días} = \$12 / \text{mes}$$

Este resultado evidencia que el uso de espacio generaría una utilidad no aprovechada, además, se pudo identificar las actividades auxiliares que también generan tiempo muerto o perdido se puede verificar en la tabla 10.

Tabla 10 Actividades auxiliares

Actividad	Tiempo (min)
Preparación de las herramientas para las actividades	2
Desplazamiento funcional	2
Organización del área	3
Manipulación de scrap	2
Pausas activas	1
Total, tiempo	10

Elaborado por: El autor

Costo por ineficiencia de desplazamientos (CID).

- Tiempo perdido: 10 min
- Número de trabajadores: 3
- Costo hora – Hombre: \$2,01

Tiempo perdido.

$$3T * 10 \text{ min} * 22 \text{ días} = 660 \text{ min}$$

Transformando los minutos en horas el tiempo total perdido es de **11 horas** aproximadamente.

Costo de ineficiencia mensual.

$$11h * \$2,01 = \$22,11$$

Para mayor comprensión se puede desglosar de la siguiente forma (ver tabla 7)

Tabla 11 Resumen de los Costos

Costo	Mensual	Anual
Pérdida de valor de MP	\$ 156	\$ 1 872
Uso de espacio	\$ 12	\$ 144
Ineficiencia OP	\$ 22,11	\$ 265,32
Total	190,11	\$ 2 281,32

Elaborado por: El autor

5.1.5. Análisis del proceso productivo

El análisis del proceso productivo de la empresa SIE se ejecutó con el fin de comprender las diferentes fases involucradas en la estructuración metálica y determinar las etapas del proceso que generan desechos que podrían ser recuperados a través de la logística inversa.

En la etapa inicial desde la recepción y almacenamiento de materia prima (MP), principalmente perfiles y láminas de acero, para lo cual son destinados a la transformación para obtener piezas requeridas de acuerdo a los planos estructurales de cada proyecto. Durante la observación del proceso se identificó los siguiente:

Tabla 12 Etapas del proceso productivo de estructuras metálicas

Etapa	Descripción
Recepción del material	Ingreso y almacenamiento
Medición y trazado	Medidas según los planos estructurales
Corte	Corte de piezas
Desbaste y preparación	Ajuste mediante amoladoras
Soldadura	Unión de elementos
Ensamblaje	Integración de piezas
Almacenamiento	Ubicación temporal

Elaborado por: El autor

Análisis Takt Time.

En lo que se refiere a la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE), el proceso productivo está orientado a la producción de armazones metálicos para obras de edificación, tales como viviendas y edificaciones. Este tipo de producción se caracteriza por operar bajo un sistema de fabricación por proyecto o bajo pedido, donde cada estructura presenta características particulares en cuanto a dimensiones, tipo de material y complejidad estructural.

Debido a esta variabilidad en los proyectos, no existe una demanda constante de unidades producidas por día o por periodo, ya que cada obra requiere estructuras diferentes que dependen de los planos estructurales y del avance de la construcción. En consecuencia, los tiempos de fabricación también varían considerablemente entre un proyecto y otro.

Por esta razón, no es posible determinar un valor exacto de Takt Time para el proceso productivo de la organización, en razón que este indicador se aplica principalmente en sistemas de producción estandarizada o en líneas de ensamblaje donde se fabrican unidades repetitivas con tiempos de ciclo relativamente constantes.

Sin embargo, el análisis del proceso permitió identificar que las operaciones de corte, desbaste, soldadura y ensamblaje presentan tiempos variables que dependen del tipo de estructura metálica que se esté fabricando. Estas variaciones impiden establecer un ritmo de producción uniforme que permita calcular el Takt Time de manera precisa.

En este contexto, el enfoque de la investigación se focalizó en la detección de las etapas del proceso donde se generan desechos metálicos, con el fin de proponer un modelo de gestión de retorno que permita mejorar la gestión, clasificación y recuperación de estos materiales dentro de la empresa

5.1.6. Evaluación de la mejora.

La evaluación de la mejora permite analizar los beneficios obtenidos mediante la implementación del sistema de logística inversa propuesto para la gestión de desechos metálicos en la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE). Para ello, se comparan las condiciones actuales de manejo de desechos con el escenario propuesto, considerando aspectos operativos, económicos y ambientales.

Este análisis permite identificar los cambios generados en la organización del proceso productivo, el aprovechamiento de los desechos metálicos y el efecto de la responsabilidad de la empresa.

Tabla 13 Evaluación de mejora

Criterio evaluado	Situación actual	Situación con la propuesta	Mejora obtenida
Gestión de desechos metálicos	No existe un sistema formal de recolección y clasificación	Implementación de estaciones de segregación y contenedores	Mejora en la organización y control de desechos
Aprovechamiento del material	Los desechos metálicos no son valorizados económicamente	Venta de aproximadamente 150 kg mensuales de desechos metálicos	Generación de ingresos adicionales
Uso del espacio de trabajo	Acumulación de desechos en diferentes áreas del taller	Áreas específicas para almacenamiento temporal de desechos	Mejor distribución del espacio
Seguridad laboral	Presencia de desechos que pueden generar riesgos operativos	Recolección y almacenamiento adecuado	Reducción de riesgos para el personal
Impacto ambiental	Disposición inadecuada de desechos metálicos	Recuperación y reciclaje de materiales	Disminución del impacto ambiental
Gestión operativa	Procesos informales de manejo de desechos	Sistema estructurado de logística inversa	Mayor eficiencia operativa

Elaborado por: El autor

La tabla 13 muestra una comparación del estado vigente de la iniciativa de mejora, estableciendo una estructura de recolección significativa para la empresa, permitiendo optimizar la organización de las áreas de trabajo y mejorar la eficiencia operativa.

Se toma los costos como una referencia actual de la carga económica para la empresa SIE, lo que significa que enfrenta un costo oculto por la ausencia de logística inversa, pero tiene una gran oportunidad si decidieran implementar la clasificación de los desechos y su venta aumentara a \$ 0,40/kg y subiera un 35% de reutilización por desechos a 1 m. el beneficio incrementaría significativamente se puede observar con más detalle en la tabla 14.

La implementación de estaciones de segregación y contenedores contribuye a mejorar la seguridad laboral, al reducir la acumulación de desechos en las áreas de trabajo y minimizar riesgos asociados al manejo inadecuado de materiales.

Finalmente, la propuesta se ajusta con los fundamentos del modelo de gestión cerrada, ya que promueve la recuperación y valorización de materiales metálicos que anteriormente eran considerados desperdicio, contribuyendo a la sostenibilidad ambiental y al uso eficiente de los recursos.

5.2.Objetivo 2.

5.2.1. Actividad 1: Cotización de venta de metales ya clasificados

De acuerdo con la información receptada anteriormente se pudo determinar que la venta de los desechos no clasificados se vendía por \$ 0,16; por kg, aunque este valor puede variar dependiendo del volumen de material entregado por lo que la empresa puede proyectarse a un incremento del precio por la clasificación de los desechos a \$0,40.

Para este punto se puede verificar los ingresos actuales por la venta de scrap, ver tabla 15:

Detalle	Valor
Cantidad de desechos	150 kg
Precio de venta	\$ 0,20
Ingreso mensual	\$ 30
Ingreso anual	\$ 360

Elaborado por: El autor

A pesar que el ingreso económico directo no representa una fuente principal de rentabilidad, al abordar este detalle se puede brindar una solución sostenible y rentable al implementar un sistema de logística inversa, además, hay que tomar en cuenta que la empresa debe invertir en infraestructura y herramientas que permitan el control y registro de scrap.

5.2.2. Actividad 2: Valoración de inversión de infraestructura de contenedores de recolección de desechos.

Para este punto se toma en cuenta una cotización del sistema de recolección y clasificación, que se requiere de un financiamiento de origen que se enfoca en la infraestructura y herramientas para la gestión, ver tabla 15:

Tabla 14 Cotización

	Detalle	Cantidad	Precio U.	Total
Infraestructura	Racks metálicos para desechos de > 1m	2	\$ 150.00	\$ 300.00
Contenedores	Recipientes industriales rotulados	4	\$ 65.00	\$ 260.00
Señalética	Clasificación y SSO	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Herramientas	Báscula	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Total, inversión				\$ 760.00

Elaborado por: El autor

5.2.2.1. Estimación Mensual

En esta fase los beneficios se derivan en 3 puntos esenciales que se pudo identificar en el diagnóstico, ver tabla 14.

- Ahorro por reutilización
- Incremento en la venta de desechos
- Recuperación de productividad

5.2.2.2. Rentabilidad

En este punto se considera una Tasa de descuento (TMAR) del 12%, que se detalla en riesgo del sector metalmeccánico en Ecuador.

5.2.2.2.1. VAN

Para este punto se usa la ecuación 4.

$$VAN = -760 + \sum_{t=1}^3 \frac{(1345.32)}{(1 + 0,12)^t}$$

$$VAN = \$ 2 843,54$$

Tomando en cuenta que el resultado es diferente a 0, la implementación de infraestructura para la gestión de desechos metálicos es rentable y genera un beneficio adicional a la empresa por encima de la tasa exigida.

5.2.2.2.2. TIR

Para este cálculo se usa la ecuación 5, representando la rentabilidad propia de esta propuesta como una solución a la problemática.

$$0 = -760 + \frac{1345,32}{(1 + r)^1} + \frac{1345,32}{(1 + r)^2} + \frac{1345,32}{(1 + r)^3}$$

Dada la ecuación se asume las variables de la tasa de retorno entre el 50% y 200% dando como resultado optimo una tasa de retorno 170%, en el remplazo de la ecuación da \$ 751,16 siendo este el más cercano a la inversión.

5.2.2.2.3. ROI

Usando la ecuación (3), se puede medir la rentabilidad económica de la inversión realizada.

$$ROI = \left(\frac{1345,32 - 760}{760} \right) * 100$$

$$ROI = 77,06\%$$

Este resultado indica que por cada \$1 invertido en la infraestructura la entidad recupera capital en menos de 1 año.

5.2.3. Actividad 3: Análisis de ahorro por reutilización de desechos

En esta actividad se puede evaluar el impacto económico de acuerdo a la solución que la logística inversa brinda para la clasificación y reutilización de los desechos metálicos durante el proceso estructural.

Como se puede observar en la tabla 15, existe tres componentes principales que hacen valido a la propuesta:

Tabla 15 Evaluación de la mejora y ahorro de reutilización

	Mensual	Anual
Ingreso por residuo clasificado (97,5 kg)	\$ 39	\$ 468
Ahorro por reutilización (52,5 kg)	\$ 54,60	\$ 655,20
Recuperación de área e ineficiencia	\$ 34,11	\$ 409,32
Total, Beneficio	\$ 127,71	\$ 1 532,52

Elaborado por: El autor

La organización y clasificación adecuada de los desechos contribuye a mejorar la distribución del espacio dentro del área de trabajo, reduciendo ineficiencias operativas y facilitando el desarrollo de las actividades productivas. En conjunto, estos factores permiten alcanzar un beneficio económico total estimado de \$127,71 mensuales, equivalente a \$1.532,52 anuales.

Esto demuestra que la ejecución de un sistema de logística inversa no solo contribuye a perfeccionar la gestión ambiental de los desechos metálicos, sino que también representa una alternativa viable para incrementar la eficiencia operativa y generar beneficios económicos para la empresa.

5.2.4. Análisis de impacto ambiental y social

Para este análisis se tomó en cuenta los Anexos 1 y 2 que mostraron que la empresa se encuentra con retrasos y riesgos por el desorden del taller por lo que se proyecta lo siguiente:

5.2.4.1. Mejora en SSO

Al liberar los 4m² que ocupa los desechos, se puede disminuir la probabilidad de accidentes laborales como pinchazos, cortes o tropiezos que los operarios pueden sufrir en el transcurso de las actividades que realicen. Además, la empresa puede reducir el esfuerzo físico innecesario de los trabajadores al mover o buscar materiales pesados que se encuentran en el suelo.

5.2.4.2. Productividad y Clima laboral

Un ambiente de trabajo organizado, sustentado en criterios claros de clasificación, permite generar un entorno laboral más digno y profesional, disminuyendo el estrés operativo derivado del desorden, mientras que la capacitación técnica fortalece al personal operativo al dotarlo de competencias en gestión de desechos y economía circular, incrementando así el valor de su perfil dentro de la industria metalmecánica y ayudando a la eficacia y sostenibilidad de los procesos.

5.2.4.3. Beneficios ambientales

Esta propuesta impulsa una transición de una economía lineal a una circular dentro de la organización.

5.2.4.3.1. Reducción en extracción de recursos

La mitigación de la huella de carbono en Servicios de Ingeniería Estructural se logra mediante la recuperación mensual de 52.5 kg de retales, equivalentes al 35% de los desechos, lo que evita la demanda de acero nuevo y reduce indirectamente las emisiones de CO₂ asociadas a la minería y fundición, procesos altamente intensivos en energía; al mismo tiempo, la conservación de energía se potencia ya que reciclar o reutilizar acero requiere aproximadamente un 60% menos de energía que producirlo desde mineral de hierro, consolidando así una estrategia sostenible que combina eficiencia operativa con responsabilidad ambiental.

5.2.4.3.2. Gestión de desechos

La eliminación de pasivos ambientales en Servicios de Ingeniería Estructural se logra al gestionar de manera integral el 100% de los 150 kg de desechos mensuales, evitando la acumulación de materiales que, en contacto con la humedad, podrían generar procesos de oxidación y contaminación del suelo del taller; paralelamente, la optimización del proceso de suministro inverso se asegura mediante la entrega de desechos clasificados a gestores autorizados, garantizando que el material remanente no termine en vertederos comunes, sino

que se reintegre correctamente al ciclo industrial, fortaleciendo así la sostenibilidad y la eficiencia operativa de la empresa.

Tabla 16 Matriz de impacto

Dimensión	Impacto	Indicador de mejora
Social	Seguridad y Salud Ocupacional (SSO)	Reducción de accidentes/incidentes por cortes o tropiezos
	Aprovechamiento del tiempo	Recuperación de los 10 min por cada operario
Ambiental	Economía Circular	Recuperación del material en un 35%
	Gestión de desechos	Clasificación al 100% de desechos y dispuesto de forma legal

Elaborado por: El autor

Los beneficios sociales y ambientales validan la pertinencia ética del proyecto. La empresa SIE deja de ser un generador pasivo de desechos para convertirse en un actor responsable, mejorando su imagen ante clientes que valoran la sostenibilidad y garantizando un entorno seguro para su capital humano.

5.3. Objetivo 3

Para este objetivo se centra en la modelación de un nuevo modelo de recolección de los desechos de una estructura más ordenada integrando el flujo de logística inversa, optimizando el aprovechamiento del espacio y los tiempos de operación.

5.3.1. Actividad 1: Determinación de estaciones de segregación de desechos

A partir del diagnóstico realizado en el proceso productivo, se pudo identificar que los desechos generados en las áreas ya mencionadas anteriormente, debido a ello, se propone ubicar la estación cerca de las mismas con el fin de facilitar la disposición inmediata del scrap.

Las estaciones de segregación propuesto consisten en contenedores y racks de > 1m destinados al almacenamiento de los desechos y desechos metálicos lo cual facilitarán la recolección y separación de los mismos ya sea para su reutilización o para la venta a un centro de acopio.

Tabla 17 Estaciones de segregación propuesto

Estación	Ubicación	Tipo de residuo
1		Retazos de perfiles metálicos
2		Fragmentos de acero y sobrantes de material
3		Clasificación y almacenamiento temporal de desechos

Elaborado por: El autor

La tabla 17, muestra la distribución del área productiva de la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) y la ubicación estratégica de las estaciones de segregación de desechos metálicos dentro del taller. El análisis del layout permitió identificar los principales puntos de generación de desechos durante el proceso productivo, especialmente en las áreas de cerrajería, soldadura y fabricación.

En el área de cerrajería y soldadura-fabricación se generan principalmente retazos de perfiles metálicos, fragmentos de acero y sobrantes de material producto de las operaciones de corte, preparación de piezas y ensamblaje. Debido a la frecuencia de estas actividades, se establecieron estaciones cercanas a estas zonas con el fin de facilitar la disposición inmediata de los desechos en contenedores destinados para su clasificación.

5.3.2. Actividad 2: Prototipado de rutas de recolección de desechos

Con el objetivo de optimizar la recolección de scrap durante el proceso, se realizó el diseño de nuevas rutas que permiten el traslado de forma segura y eficiente hasta las estaciones de segregación en el área de reciclaje establecida dentro del taller.

5.3.2.1.Rediseño del Layout Industrial

En oposición con el contexto actual, en la que los desechos se acumulan de manera desordenada en las zonas de circulación, el nuevo diseño propone la creación de áreas específicas destinadas al control y la recuperación de materiales. Para ello se tomó en cuenta las áreas clave del sistema propuesto:

- **Zona de reciclaje:**

Se designo un área exclusiva de reciclaje cerca de los puntos de Cerrajería y Soldadura, permitiendo que el residuo generado en el corte sea clasificado de forma inmediata, eliminando la acumulación en el suelo.

- **Control de Calidad e Inspección**

Dentro de la estación de Control de Calidad e Inspección también se asegura que los desechos que reingresan al proceso cumplan con las exigencias y especificaciones técnicas que se tomó como referencia la longitud de $\geq 1m$.

- **Flujo Logístico Lineal**

Este diseño permite que el flujo tome un inicio en la entrada de material y que tome el curso hasta la entrega, manteniendo la circulación libre de desechos metálicos mejorando la eficiencia operativa.

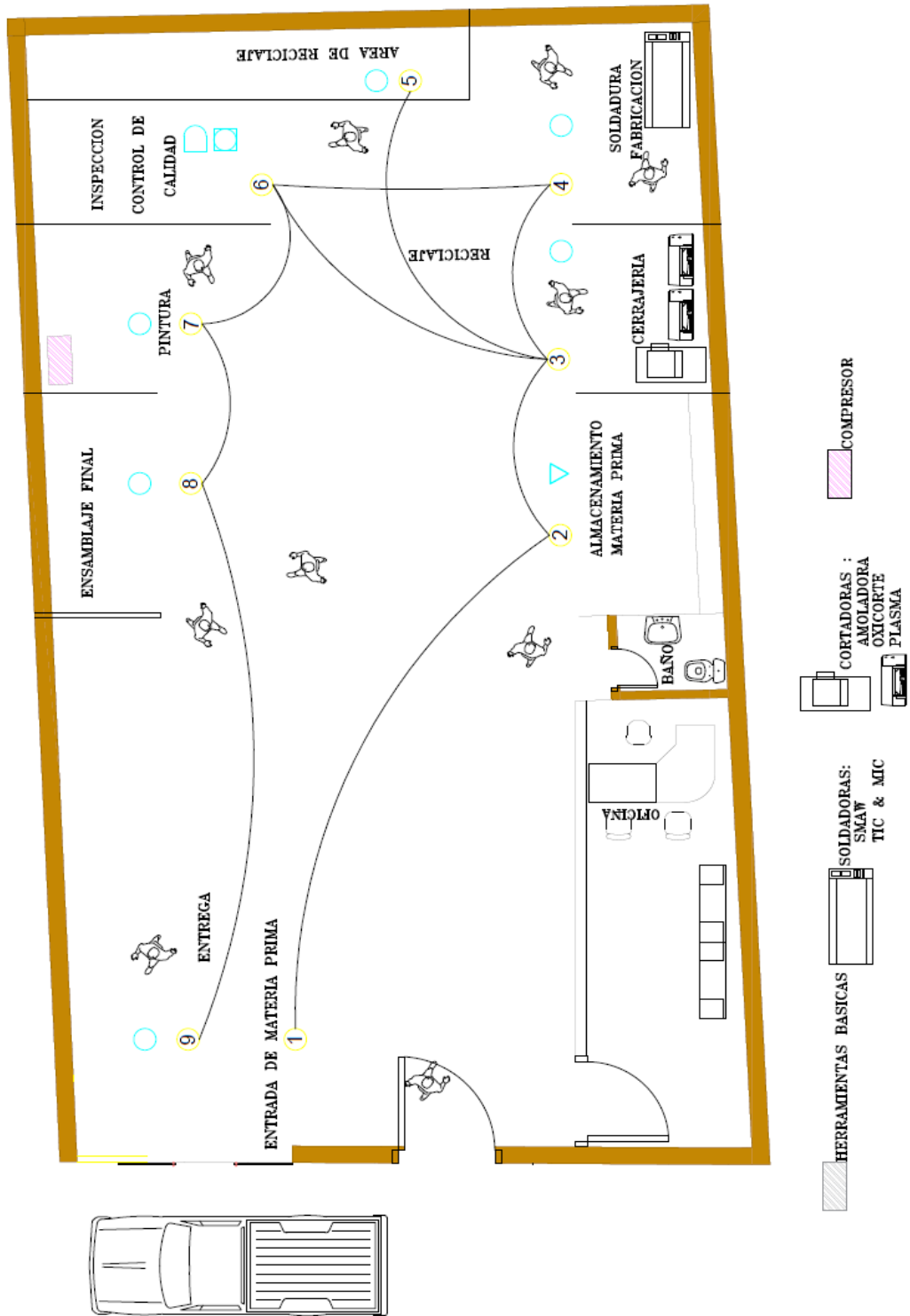











Figura 5 Layout propuesto ver Anexo 3

Por consiguiente, se detalla la numeración y simbología en la tabla 18 de los procesos del layout presentado en la figura 6:

Tabla 18 Procesos

N°	Proceso	Simbología
1	Recepción de materia prima (MP)	
2	Almacenamiento de la MP	
3	Cerrajería	
4	Soldadura fabricación	
5	Reciclaje	
6	Inspección de control de calidad	
7	Pintura	
8	Ensamblaje final	
9	Entrega del material	

Elaborado por: El autor

A continuación, se presenta el flujograma de procesos para la recolección de desechos metálicos, se puede observar en la figura 6.

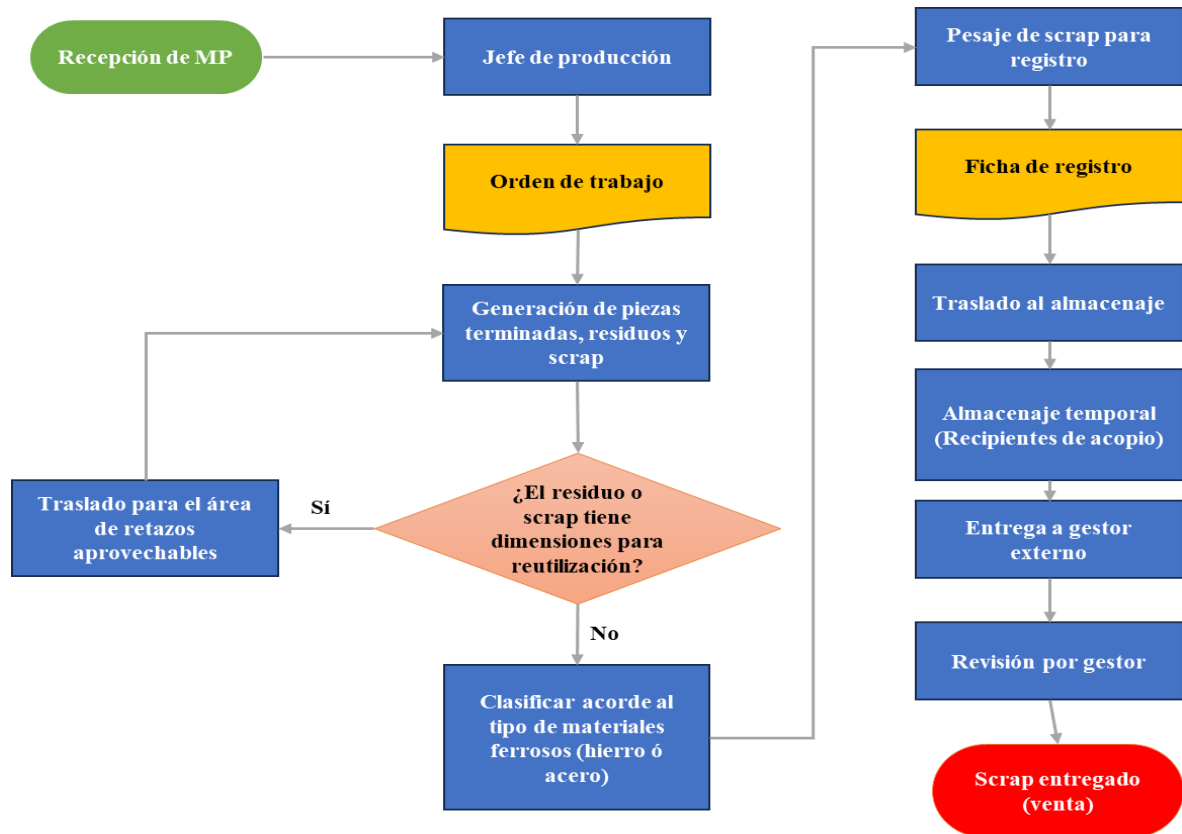


Figura 6 Diagrama de procesos de recolección de desechos

5.3.2.2. Eficiencia en el aprovechamiento del espacio

La propuesta de implementación de logística inversa para la recolección de los desechos metálicos permitiendo una redistribución estratégica del espacio ya que puede liberar los 4m² previamente catalogados como inutilizados o con riesgo ambiental. Los nuevos racks de desechos dan lugar a un almacenamiento vertical, incrementando la densidad de carga por m². Además, el área de reciclaje cerca de las cortadoras, reduce considerablemente el tiempo de transporte interno de desechos, mitigando las ineficiencias de desplazamiento calculadas anteriormente.

Con el fin de solucionar esta problemática, se propone la incorporación del área de reciclaje ubicada de forma estratégica en las zonas de inspección de control de calidad y cercanas a las áreas de corte, soldadura y cerrajería ya que admite la mejora de los procesos y habilita el paso de los operarios hacia otras áreas.

De esta forma esta propuesta contribuye en la mejora del aprovechamiento del espacio dentro del área productiva, permitiendo la correcta distribución de las áreas, garantizando la implementación de los lineamientos del sistema de logística inversa y economía circular.

5.3.2.3. Plan Técnico

En el procesamiento de la información recolectada decanta en el siguiente plan:

Tabla 19 Plan de acción

Estación	Acción	Resultado
Corte	Separación de desechos	MP limpia para reutilización o venta
Reciclaje	Pesaje y etiquetado	Control de inventario recuperado
Ensamble	Priorización de uso de los desechos que se han recuperado	Reducción de los costos de MP nueva.

Elaborado por: El autor

Impacto del área sugerida

A continuación, en la tabla se indica la estructura de las áreas que forman parte de la unidad de producción en el predio de 244 m² en el que se puede observar 10 áreas funcionales dimensionadas respectivamente, área en metros cuadrados y participación porcentual en el área total. Las áreas con mayor superficie son ensamblaje final y almacenamiento de materia prima, por lo que se identifica la gran importancia de estas fases en el desarrollo de producción.

Tabla 20 Dimensiones de los diferentes procesos de la empresa SIE

N°	Área/Proceso	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	% Total
1	Oficina	7	5,5	38,5	15,8
2	Baño	2,5	2	5	2
3	Almacenamiento MP	7	5,5	38,5	15,8
4	Ensamblaje Final	8	5,5	44	18
5	Cerrajería	7	4,5	31,5	12,9
6	Pintura	8	4,5	36	14,8
7	Soldadura/Fabricación	5,5	4,5	24,8	10,1
8	Área de Reciclaje	5,5	2,5	13,8	5,6
9	Inspección/Control	2	3,5	7	2,9
10	Circulación/Pasillos	—	—	4,9	2
TOTAL				244	99,9

Elaborado por: El autor

Hay que tomar en cuenta que el área de reciclaje asignada es estratégica, ya que consiente la revisión de calidad de las piezas ≥ 1 m que son destinadas para la reutilización, además, reduce los tiempos de recolección de scrap y a la vez mantiene un orden operativo reduciendo así la acumulación de desechos metálicos en las zonas de trabajo, así mismo, minimiza los accidentes e incidentes que pueden tener los operarios durante las actividades laborales.

5.3.3. Validación de propuesta

La modelación del sistema en el Layout además de resolver el problema de orden y organización, también funcionaliza la logística inversa como una estación de trabajo más productiva. La integración de la zona de reciclaje justifica la viabilidad de la propuesta

operativa, mostrando que la entidad SIE puede transitar hacia la producción más limpia sin comprometer la capacidad instalada.

Por otra parte, desde la perspectiva ambiental, la propuesta se ajusta a los fundamentos del modelo económico cerrado, ya que promueve la recuperación y valorización de materiales metálicos que anteriormente eran considerados desperdicio. De esta manera, se disminuye el número de desechos generados y se fomenta el aprovechamiento sostenible de los recursos.

En consecuencia, la propuesta de aplicación de un modelo de gestión de retorno para la organización Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) resulta técnica, económica y ambientalmente viable, constituyendo una alternativa efectiva para mejorar la gestión de los desechos metálicos, optimizar el uso del espacio dentro del taller y generar beneficios económicos mediante el aprovechamiento de materiales reciclables

Tabla 21 Criterios de validación de la propuesta

Criterio	Resultado
Validación técnica	Implementación de estaciones de segregación y rutas de recolección
Viabilidad operativa	Mejora del flujo del proceso y organización del área de trabajo
Viabilidad económica	Beneficio anual estimado de \$1.532,52
Viabilidad ambiental	Aprovechamiento y reciclaje de desechos metálicos

Elaborado por: El autor

5.4. Análisis de Resultados

Los resultados que se obtuvo durante el proceso de la presente investigación permitieron la cuantificación de los desechos metálicos que son generados durante el proceso productivo de la empresa SIE y la evaluación de esta propuesta de implementación de la gestión de logística inversa de scrap.

Como primer punto, se diagnosticó del estado vigente de la organización lo que dio lugar a la identificación de los diferentes desechos metálicos durante las actividades en las áreas de corte, cerrajería, soldadura y fabricación, no tienen un sistema estratégico de recolección y clasificación. Como consecuencia, los fragmentos y retazos de metal se acumulaban en zonas de dichas áreas e incluso en partes centrales lo que generaba un desorden operativo, obstaculizaba el desplazamiento de los operarios, y principalmente reducía el valor económico de los materiales reciclados.

Con la información obtenida mediante la entrevista, visitas in situ y observaciones directas, se pudo identificar que mensualmente se genera 150 kg de desechos metálicos, que son fragmentos de los perfiles metálicos y retazos de acero. Este volumen representa la oportunidad perfecta para la implementación estratégica de gestión de retorno, que se orientan a la reintegración y valorización de los materiales.

Como segunda fase, el análisis financiero demostró que llevar un control y sistemas de inventarios de los desechos mediante la clasificación y gestión del mismo beneficia de forma considerable en la economía de la organización a través de la reutilización y comercialización. Los resultados evidenciaron un beneficio económico estimado en \$ 1532,52 anuales, considerando la venta de los desechos y desechos clasificados.

Al generar una reestructuración de la distribución de la planta permitió mejorar la organización del área productiva. Esta redistribución del espacio implicó una reducción parcial del área de inspección de control de calidad, sin afectar el desarrollo de las actividades de control, ya que dichas tareas requieren principalmente espacio para la revisión visual y dimensional de las estructuras metálicas.

La incorporación del área de reciclaje facilita la recolección y almacenamiento temporal de los desechos metálicos originados en las áreas de cerrajería y soldadura, que son los principales puntos de generación de material residual. Asimismo, el establecimiento de estaciones de segregación y circuitos internos de acopio permite potencializar el flujo interno de desechos dentro del taller, reduciendo recorridos innecesarios y mejorando la organización del espacio de trabajo.

5.5. Discusión de resultados

Los datos obtenidos en este estudio evidencian que la implementación de un sistema de logística inversa en la empresa Servicios de Ingeniería Estructural (SIE) representa una alternativa viable para mejorar la gestión de los desechos metálicos generados durante el proceso productivo. El diagnóstico realizado permitió identificar que los desechos provenientes de actividades como cerrajería, corte y soldadura no contaban con un sistema estructurado de clasificación y recolección, lo que generaba acumulación de materiales, pérdida de valor económico y un uso ineficiente del espacio dentro del taller.

Por otro lado, el análisis financiero ha permitido verificar la recuperación y valorización de los desechos y desechos metálicos, en este sentido la logística inversa permite la transformación de los desechos y aprovechar al máximo los recursos generando valor agregado para las empresas y contribuyendo eficientemente a la gestión de materiales.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El análisis de estado vigente de la organización SIE se pudo identificar que operan bajo un sistema de gestión empírico y carece de procesos de retorno, lo que da lugar a la acumulación de scrap en diferentes áreas de trabajo, esta deficiencia ha generado la pérdida de valor económico y riesgos operativos con una alta probabilidad de accidentes y/o incidentes durante las actividades laborales.

Mediante el análisis financiero se pudo demostrar que el sistema de logística inversa es viable ya que se tuvo como resultados VAN con \$2,843.54; TIR de un 170%, ROI 77,06%, además el ahorro de reutilización con \$655.20; lo que confirma que la empresa puede recurrir el capital de la inversión y obtener un ingreso por la cantidad de desechos clasificados.

Se identificó y diseñó una propuesta en base a la logística inversa a través de nuevas rutas de recolección junto con la implementación de contenedores y racks que permiten la clasificación de los desechos y desechos metálicos, dando lugar, a la organización de las áreas de trabajo facilitando la gestión de un inventario de scrap. La incorporación de un espacio designado al reciclaje dentro del taller contribuye a optimizar el flujo de materiales y fortalecer la aplicación de los principios de la logística inversa y economía circular.

6.2.Recomendaciones

Se recomienda implementar un sistema de registro y control de scrap durante los procesos de fabricación para mejorar la cuantificación del material reciclado.

Se recomienda establecer alianzas con los diferentes centros de acopio o recicladoras para la comercialización de los desechos ya clasificados.

Se recomienda implementar el nuevo rediseño de recolección y asignación del espacio para la función del mismo, con el fin de mejorar la organización de la empresa

7. Bibliografía

- [1] M. C. Perissé, «Nomenclatura Internacional de la UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología,» CyTA, 14 enero 2021. [En línea]. Available: https://cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/taxo_unesco/taxo_unesco_es.htm#:~:text=CyTA%20%7C%20Nomenclatura%20Internacional%20de%20la%20UNESCO%20para%20los%20campos%20de%20Ciencia%20y%20Tecnolog%C3%ADa.&text=Nomenclatura%20Internacional%20de%20la%20UNE. [Último acceso: 15 mayo 2025].
- [2] F. F. Ullon Merchán y H. E. Fienco Heredia, «Propuesta de aplicación de logística inversa en el proceso de reciclaje en una empresa recicladora en la ciudad de Guayaquil,» Guayaquil, 2023.
- [3] A. Cicuamia Holguín, «Logística inversa en la industria Colombiana: hacia la eficiencia y sostenibilidad,» Bogotá, 2025.
- [4] C. D. Mosquera Purucajas, L. R. Pulla Yela y A. E. Vaca Morán, «Logística inversa y su incidencia en la disminución de desechos de la empresa textil FZ Confecciones, Santo Domingo 2023,» *ReSoFro*, vol. 4, n° 1, p. e170, febrero 2024.
- [5] R. A. Gómez Montoya, A. A. Correa Espinal y L. S. Vásquez Herrera, «Logística inversa, un enfoque con responsabilidad social empresarial,» *Criterio libre*, vol. 10, n° 16, pp. 143-158, 2012.
- [6] J. E. Ruiz Sánchez, M. L. González Illescas y L. P. Carmenate Fuentes, «La logística inversa como estrategia de diferenciación para los mercados dinámicos,» *INNOVA Research Journal*, vol. 5, n° 2, pp. 140-156, 2020.
- [7] C. A. Dávila Aguilar y W. L. Ponce Cabrera, «Diseño de un modelo de logística inversa para la gestión sostenible de envases plásticos en la industria de productos de limpieza,» Guayaquil, 2024.
- [8] República del Ecuador, «Constitución de la República del Ecuador,» Quito, 2021.

- [9] República del Ecuador, «Código Orgánico del Ambiente,» 2017.
- [10] Asamblea legislativa de Costa Rica, «Ley para la Gestión Integral de Residuos: Ley 8839,» 2010.
- [11] República del Ecuador, «Reglamento a la Ley mediante Decreto Ejecutivo 1342,» 2023.
- [12] Sistemas de Gestión Ambiental, «Requisitos con orientación para su uso ISO 14001:2015,» 09 septiembre 2015. [En línea]. Available: https://www.tecpuruandiro.edu.mx/Calidad/pdfs/ssgc_Documentos_externos/ISO_14001_2015.pdf. [Último acceso: 20 diciembre 2025].
- [13] European Commission, «Plan de acción para la economía circular: Reciclaje y recuperación de metales,» EU Publications, 2020.
- [14] Ellen MacArthur Foundation, *Towards the Circular Economy: Economic and business rationale for an accelerated transition*, Ellen MacArthur Foundation, 2013.
- [15] J. C. Sarmentero Regueira, «Impacto de la Logística Inversa en el Mercado del Cobre en España,» Barcelona, 2010.
- [16] L. Cure Vellojín, J. C. Meza González y R. Amaya Mier, «Logística inversa: una Herramienta de apoyo a la competitividad de las organizaciones,» *Ingeniería y Desarrollo*, n° 20, pp. 184-202, 2006.
- [17] S. Cullinane y K. Cullinane, «La logística de las devoluciones de ropa online en Suecia y como reducir su impacto ambiental,» *Journal of Service Science and Management*, vol. 14, n° 1, 2021.
- [18] Universidad Europea, «Logística inversa: qué es, tipos y ejemplos,» 16 septiembre 2025. [En línea]. Available: <https://ecuador.universidadeuropea.com/blog/logistica-inversa/>. [Último acceso: 21 diciembre 2025].
- [19] Ingeemprededor, «La logística inversa: una oportunidad sostenible para las empresas,» Youtube, 11 abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=xkpQCW3FBrU>.
- [20] ENAE Business School, «¿Qué es la logística inversa y porque es tan importante?,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.enaes.es/blog/logistica-inversa#:~:text=La%20log%C3%ADstica%20inversa%20es%20clave,oportunidades%20de%20valor%20y%20sostenibilidad..> [Último acceso: 20 diciembre 2025].
- [21] W. Stahel, *La economía circular: una guía del usuario*, UK: Routledge, 2019.
- [22] J. Geissdoerfer, «Economía circular y logística inversa en sectores industriales,» *Cleaner Production*, vol. 277, pp. 123-132, 2020.

- [23] D. Kannan, K. Govindan y A. Rajendran, «Enfoque de diseño axiomático difuso para la gestión de la cadena de suministro ecológica y la logística inversa,» *Production Research*, vol. 58, nº 1, pp. 1-18, 2020.
- [24] R. Thierry, M. Salomon, J. Van Nunen y L. Van Wassenhove, «Cuestiones estratégicas en la gestión de la recuperación de productos,» *California Management Review*, vol. 37, nº 2, pp. 114-135, 2019.
- [25] J. R. Guide y L. N. Van Wassenhove, «La evolución de la investigación sobre cadenas de suministro de circuito cerrado,» *Operations Research*, vol. 57, nº 1, pp. 10-18, 2019.
- [26] R. Lund, «Remanufactura: una perspectiva estadounidense,» National Academy of Sciences, Washington, DC, USA, 2019.
- [27] J. R. Davis, *Manual de metales: Edición de escritorio*, OH, USA: ASM International, 2019.
- [28] E. J. Worrell y M. A. Reuter, *Manual de reciclaje: Estado del arte para profesionales, analistas y científicos*, Amsterdam, Netherlands: Elsevir, 2020.
- [29] R. E. H. Sims, *Reciclaje de metales: oportunidades, límites e infraestructura*, Paris, Francia: International Energy Agency, 2019.
- [30] ISO 14001:2015, *Sistemas de Gestión Ambiental — Requisitos con Orientación para su Uso*, Geneva, Switzerland: international Organization for Standardization, 2019.
- [31] S. Al-Alimi, «Reciclaje de aluminio para el desarrollo sostenible,» 19 12 2024. [En línea]. Available: <https://nikalumin.ir/wp-content/uploads/2024/12/2-1.pdf>. [Último acceso: 16 01 2026].
- [32] Z. Yu, «Evaluación y mitigación de los impactos ambientales de los materiales de construcción,» 01 12 2024. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710224024975>. [Último acceso: 16 01 2026].
- [33] H. Shajidha y M. Maruf Mortula, «Gestión sostenible de residuos en la industria de la construcción,» 24 04 2025. [En línea]. Available: <https://www.frontiersin.org/journals/sustainable-cities/articles/10.3389/frsc.2025.1582239/full>. [Último acceso: 16 01 2026].
- [34] A. Ünal y A. Öz , «DergiPark, Akademik,» 15 12 2019. [En línea]. Available: <https://dergipark.org.tr/en/pub/iarej/article/469185#article-authors-list>. [Último acceso: 16 01 2026].
- [35] F. Andreas y J. Herrera, «Planta de cobre verde de Cunext,» 05 12 2025. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Planta_de_cobre_verde_de_Cunext. [Último acceso: 16 01 2026].

- [36] S. G. P. Castro, R. C. Melo y L. P. Silva, «Técnicas avanzadas de separación de metales para residuos de construcción y demolición,» *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 187, 2023.
- [37] F. Li, Y. Zhang y H. Wang, «Clasificación basada en la densidad de metales no ferrosos en flujos de reciclaje: métodos y aplicaciones,» *Waste Management*, 2021, pp. 189-199.
- [38] R. Kumar y S. Tiwari, «Métodos de separación magnética en la recuperación de metales de residuos industriales,» *Cleaner Production*, vol. 342, 2022.
- [39] F. A. Silva, J. M. Santos y P. R. Lima, «Separación por corrientes de Foucault para la recuperación de metales no ferrosos: Desarrollos recientes,» *Resources*, vol. 11, nº 2, p. 45, 2022.
- [40] M. O. Khalid y T. H. Lim, «Tecnologías modernas de clasificación para el reciclaje de metales: una revisión,» *Material Cycles and Waste Management*, vol. 25, p. 567, 2020.
- [41] European Copper Institute, *Reciclaje de cobre y sostenibilidad*, Brussels, Belgium, 221.
- [42] J. Birat, «Fabricación de acero y descarbonización,» *Metals*, vol. 11, nº 5, 2021.
- [43] World Steel Association, «Reciclaje de acero y sostenibilidad,» *World Steel Association*, 2021.
- [44] R. Degel, «Tecnología de fusión por inducción para metales no ferrosos,» *Materials Processing Technology*, vol. 287, 2020.
- [45] M. O. Khalid, «Tecnologías de refinación y reciclaje de metales secundarios,» *Material Cycles and Waste Management*, vol. 25, 2023.
- [46] P. Gloser, L. Soulier y M. A. Reuter, «Análisis dinámico de los flujos globales de cobre: existencias globales, pérdidas posconsumo e impactos ambientales,» *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 165, 2020.
- [47] M. A. Reuter, «Digitalizando la economía circular,» *Metals*, vol. 10, nº 8, 2020.
- [48] United Nations, «Panel Internacional de Recursos, Perspectivas de los Recursos Mundiales 2019: Recursos naturales para el futuro que queremos,» Nairobi, Kenya, 2019.
- [49] M. O. Khalid y T. H. Lim, «Tecnologías avanzadas de reciclaje para la minería urbana,» *Material Cycles and Waste Management*, vol. 25, 2023.
- [50] United Nations, «Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Perspectivas de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe,» Nairobi, Kenya, 2021.

- [51] International Labour Organization, «Condiciones de trabajo en el sector del reciclaje,» Geneva, Switzerland, 2020.
- [52] OECD, «Perspectivas mundiales de los recursos materiales hasta 2060,» Paris, France, 2019.
- [53] International Aluminium Institute, Reciclaje global de aluminio: beneficios energéticos y de carbono, London, UK, 2020.
- [54] R. Govindan, S. Seuring y J. Sarkis, «Logística inversa y sostenibilidad: una revisión de los desarrollos recientes,» *Cleaner Production*, vol. 268, 2020.
- [55] World Steel Association, «El reciclaje del acero y el cambio climático,» Brussels Belgium, 2021.
- [56] ISO 14067, «Gases de efecto invernadero: Huella de carbono de los productos,» Geneva, Switzerland, 2019.
- [57] United Nations, «Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Perspectivas mundiales sobre la gestión de residuos,» Nairobi, Kenya, 2021.
- [58] United Nations, «Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Perspectivas del Medio Ambiente Mundial – GEO-6,» Nairobi, Kenya, 2019.
- [59] A. Kollmuss y J. Agyeman, «Cuidado con la brecha: ¿Por qué las personas actúan de manera ambientalista y cuáles son las barreras para el comportamiento pro ambiental?,» *Environmental Education Research*, vol. 26, nº 6, 2020.
- [60] World Bank, «Reciclaje Inclusivo: Reciclaje y Recicladores,» Washington, DC, USA, 2021.
- [61] L. García y M. Torres, «Costos de transporte en logística inversa para materiales de construcción,» *Cleaner Production*, vol. 215, 2019.
- [62] R. Martínez, P. Sánchez y J. López, «Clasificación de materiales y eficiencia económica en la logística inversa de la construcción,» *Sustainability*, vol. 12, nº 18, 2020.
- [63] H. Kim y S. Park, «Consumo energético y optimización de costes en operaciones de logística inversa,» *Production Economics*, vol. 232, 2021.
- [64] M. García, J. López y F. Torres, «Rentabilidad económica del reciclaje de metales en empresas constructoras,» *Cleaner Production*, vol. 242, 2019.
- [65] A. Nuss y M. Eckelman, «Evaluación económica y energética del ciclo de vida del reciclaje de metales,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 150, 2019.
- [66] L. da Silva y F. Torres, «Barreras económicas para la implementación de la logística inversa en las industrias metalúrgicas,» *Sustainability*, vol. 13, nº 7, 2021.

- [67] M. Geissdoerfer, P. Savaget, N. M. P. Bocken y E. J. Hultink, «La economía circular: ¿un nuevo paradigma de sostenibilidad?,» *Cleaner Production*, vol. 143, 2019.
- [68] A. Rejeb, K. Rejeb y S. Zailani, «Aplicaciones del Internet de las Cosas en sistemas de logística inversa y reciclaje: una revisión,» *Sustainability*, vol. 13, nº 3, pp. 1-21, 2021.
- [69] M. Tseng, R. Tan y A. S. Chiu, «Sistemas de gestión de reciclaje inteligentes habilitados por IoT,» *Cleaner Production*, vol. 277, 2020.
- [70] J. Ben-Daya, E. Hassini y Z. Bahroun, «Internet de las cosas y gestión de la cadena de suministro: una revisión de la literatura,» *Production Research*, vol. 57, nº 15-16, 2019.
- [71] S. Bag, S. Gupta y C. Luo, «Examinando el papel del IoT en la logística inversa y la gestión de residuos,» *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 163, 2021.
- [72] P. Centobelli, R. Cerchione y E. Ertz, «Gestión de residuos mediante soluciones basadas en IoT,» *Business Strategy and the Environment*, vol. 29, nº 4, 2020.
- [73] A. Govindan y H. Mina, «Transformación digital y logística inversa sostenible,» *Resources, Conservation & Recycling*, vol. 170, 2021.
- [74] M. Kouhizadeh y J. Sarkis, «Blockchain e IoT para la trazabilidad en la logística inversa,» *Production Research*, vol. 58, nº 7, 2020.
- [75] S. Papetti, «Tecnologías digitales y prácticas de economía circular,» *Manufacturing Technology Management*, vol. 30, nº 8, 2019.
- [76] J. Geissdoerfer, «La economía circular y las tecnologías digitales,» *Cleaner Production*, vol. 277, 2020.
- [77] M. N. Islam, «Sistemas de gestión de residuos basados en IoT para el desarrollo sostenible,» *IEEE Access*, vol. 8, 2020.
- [78] H. S. Lee, J. W. Kim y S. J. Park, «Clasificación automatizada de metales mediante sensores de inducción en el reciclaje,» *Materials Processing Technology*, vol. 267, 2019.
- [79] J. Liu, «Separación magnética para el reciclaje de metales: avances y aplicaciones,» *Waste Management*, vol. 102, pp. 47-59, 2020.
- [80] S. Kumar, K. M. Haruna y R. L. Gonzales, «Tecnología de clasificación óptica para la separación de metales no ferrosos,» *Cleaner Production*, vol. 285, 2021.
- [81] F. Yang, Y. Wu y C. Lee, «Automatización robótica en sistemas de separación de metales,» *Industrial Robot*, vol. 47, nº 2, 2020.
- [82] L. Wang, «Robots colaborativos en aplicaciones de clasificación de metales: una revisión,» *Automation in Construction*, vol. 118, pp. 31-42, 2021.

- [83] A. B. Patel, «Sistemas robóticos para la clasificación de metales en procesos de reciclaje,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 64, pp. 1-10, 2020.
- [84] M. L. Zhang, «Beneficios de la clasificación automatizada de metales en la industria del reciclaje,» *Waste Management & Research*, vol. 38, n° 5, 2021.
- [85] J. T. Ucar, L. C. Baskar y G. X. Tan, «Optimización de los procesos de reciclaje con clasificación automatizada de metales,» *Journal of Environmental Management*, vol. 241, 2020.
- [86] P. M. Santos, «El impacto de la automatización de la clasificación de metales en la sostenibilidad y la economía circular,» *Sustainable Production and Consumption*, vol. 21, 2020.
- [87] A. M. Roth, A. L. Scaglione y R. S. Meisel, «Eficiencia energética y recuperación de metales en procesos de clasificación automatizada,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 154, pp. 98-108, 2020.
- [88] H. P. Lee, «Desafíos en la implementación de sistemas automatizados de clasificación de metales en el reciclaje,» *Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 43, n° 9, 2021.
- [89] S. H. Zhang, F. R. Chen y M. T. O'Connor, «Aplicaciones del aprendizaje automático en la clasificación de metales para el reciclaje: una revisión,» *Waste Management*, vol. 132, 2020.
- [90] A. M. Sosa, «Impacto de los sistemas de trazabilidad en los procesos de reciclaje: una revisión,» *Environmental Management*, vol. 239, 2020.
- [91] M. J. Harrison, «Mejorar la calidad de los materiales mediante la trazabilidad digital en el reciclaje,» *Waste Management*, vol. 113, 2021.
- [92] B. R. Willians, «Trazabilidad digital de material reciclable: una herramienta eficaz para la gestión de residuos,» *Cleaner Production*, vol. 274, 2020.
- [93] R. D. West, «Seguimiento del reciclaje basado en códigos QR para productos electrónicos de consumo,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 156, pp. 24-34, 2019.
- [94] P. L. Chen, «Tecnología RFID para la gestión de residuos: una revisión,» *Waste Management & Research*, vol. 37, n° 10, 2020.
- [95] M. M. Dunlap, «Blockchain para la transparencia en las cadenas de suministro de reciclaje,» *Sustainability*, vol. 12, n° 3, 2020.
- [96] M. P. Lee, «Mejora de la eficiencia en los procesos de reciclaje mediante sistemas de trazabilidad digital,» *Industrial Engineering and Management*, vol. 13, n° 2, pp. 75-88, 2020.

- [97] S. G. Singh, «Cumplimiento ambiental mediante la trazabilidad digital de materiales reciclados,» *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 79, 2020.
- [98] A. L. Miller y C. J. Zhao, «Generando confianza en el reciclaje con trazabilidad digital,» *Cleaner Production*, vol. 247, pp. 1-12, 2020.
- [99] J. X. Martinez, «Los retos de implementar sistemas de trazabilidad digital en los centros de reciclaje,» *Waste Management & Research*, vol. 38, n° 4, 2021.
- [100] D. L. Jansen, «Integración de la trazabilidad digital en la logística del reciclaje,» *Production Economics*, vol. 215, pp. 37-49, 2019.
- [101] R. V. Cheng, «Garantizar la privacidad y seguridad de los datos en sistemas de reciclaje basados en blockchain,» *Information Management*, vol. 50, pp. 81-93, 2020.
- [102] S. L. Stone, «El papel del IoT y la IA en la trazabilidad del reciclaje,» *Automation in Construction*, vol. 110, 2020.
- [103] L. R. Thompson, «Sistemas de reciclaje inteligentes para la economía circular: Tendencias futuras,» *Sustainable Production and Consumption*, vol. 25, pp. 58-67, 2021.
- [104] S. Kumar y R. Putnam, «Logística inversa en las industrias de fabricación de metales: una revisión,» *Cleaner Production*, vol. 256, pp. 120-131, 2020.
- [105] A. Govindan, H. Mina y B. Alavi, «Prácticas sostenibles de logística inversa en industrias metalúrgicas,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 162, pp. 105-114, 2020.
- [106] M. Tseng, «Un estudio empírico sobre la implementación de la logística inversa en las industrias metalúrgicas,» *Production Economics*, vol. 162, pp. 107-116, 2020.
- [107] J. R. Silva y P. M. Santos, «Beneficios económicos de la logística inversa en empresas metalmeccánicas,» *Manufacturing Technology Management*, vol. 32, n° 4, 2021.
- [108] A. Rejeb, K. Rejeb y S. Zailani, «Tecnologías digitales en logística inversa: evidencia de sectores industriales,» *Sustainability*, vol. 13, n° 4, pp. 1-21, 2021.
- [109] M. N. Islam, «Environmental benefits of metal recycling through reverse logistics,» *Waste Management*, vol. 102, 2020.
- [110] X. Sun, «Logística inversa 4.0: Transformación digital en las industrias metalúrgicas,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 29, n° 45, 2022.
- [111] A. Schimid y T. Gloser-Chahoud, «Reciclaje de metales en Alemania: estado y perspectivas,» *Cleaner Production*, vol. 256, 2020.
- [112] Y. Nakamura y K. Kondo, «Sistemas de reciclaje de metales en Japón: Eficiencia y sostenibilidad,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 158, pp. 104-113, 2020.

- [113] J. Li, «Prácticas de recuperación y reciclaje de metales en China,» *Waste Management*, vol. 103, pp. 29-38, 2020.
- [114] R. D. Spatari, M. Bertram y T. E. Graedel, «Reciclaje de metales en América del Norte,» *Resources Policy*, vol. 67, pp. 101-110, 2020.
- [115] U.S. Geological Survey, «Reciclaje y recuperación de metales en Estados Unidos,» USGS Reports, 2021.
- [116] L. F. Costa, «Reciclaje y recuperación de metales en Brasil: Perspectivas industriales,» *Cleaner Production*, vol. 278, 2021.
- [117] P. A. Muños y R. Salazar, «Desafíos y oportunidades para la recuperación de metales en América Latina,» *Recursos, Conservación y Reciclaje*, vol. 168, pp. 105-1015, 2021.
- [118] T. E. Graedel, «Reciclaje global de metales: estado actual y desafíos futuros,» *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 118, n° 20, pp. 1--8, 2021.
- [119] Cámara de la Industria del Acero del Ecuador, «Situación del sector siderúrgico ecuatoriano,» Quito, Ecuador, 2020.
- [120] M. J. Pazmiño y L. F. Andrade, «Reciclaje de chatarra metálica en la industria del acero ecuatoriana,» *Politécnica*, vol. 46, n° 2, pp. 55-64, 2019.
- [121] J. C. Herrera y P. A. Molina, «Gestión de residuos metálicos en empresas metalmeccánicas del Ecuador,» *Técnica Energía*, vol. 17, n° 1, pp. 23-32, 2021.
- [122] V. Cárdenas, «Prácticas de logística inversa en empresas de estructuras metálicas,» *Ciencia y Tecnología*, vol. 14, n° 3, pp. 41-50, 2020.
- [123] Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, «Gestión integral de residuos industriales en el Ecuador,» Quito, Ecuador, 2021.
- [124] D. A. Salazar y M. E. Torres, «Retos de la logística inversa en el sector metalmeccánico ecuatoriano,» *Economía y Negocios*, vol. 12, n° 2, pp. 67-76, 2022.
- [125] Y. A. Rincón García, «Aplicación de la logística inversa en el proceso de reutilización de metales en Colombia,» Bogotá, 2021.
- [126] M. J. Chávez Pérez, M. Arias y I. C. Entralgo Guédez, «Minería urbana: recuperación de metales para una economía circular sostenible,» *Revista Ingenium*, vol. 3, n° 1, pp. 53-61, 01 julio 2025.
- [127] M. J. Garaicoa Mendoza, «La logística inversa como estrategia de optimización de costos en las empresas del sector comercial,» Guayaquil, 2021.
- [128] Asamblea Nacional del Ecuador, «Código Orgánico del Ambiente,» Registro Oficial, Quito, Ecuador, 2019.

- [129] L. S. Vinueza, «Sostenibilidad y competitividad en la industria metalmecánica ecuatoriana,» *Universidad y Sociedad*, vol. 13, nº 4, pp. 188-196, 2021.
- [130] J. Hillary, «Los beneficios de los sistemas de gestión ambiental,» *Cleaner Production*, vol. 28, pp. 1-9, 2020.
- [131] A. Gunasekaran y E. W. T. Ngai, «Benchmarking en logística y gestión de la cadena de suministro,» *Benchmarking*, vol. 26, nº 3, 2019.
- [132] A. Govindan y H. Mina, «Evaluación comparativa de prácticas de logística inversa sostenibles en sectores industriales,» *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 162, pp. 105-114, 2020.
- [133] P. Centobelli, R. Cerchione y E. Ertz, «Sistemas de gestión ambiental y prácticas de logística inversa,» *Business Strategy and the Environment*, vol. 29, nº 4, 2020.
- [134] S. Kumar, A. K. Sharma y R. Singh, «Certificación ISO 14001 y desempeño operativo: evidencia de empresas manufactureras,» *Manufacturing Technology Management*, vol. 32, nº 2, 2021.
- [135] J. Sarkis, «Sostenibilidad ambiental y evaluación comparativa en la manufactura,» *Production Economics*, vol. 225, pp. 107-115, 2020.
- [136] A. ReJeb, K. Rejeb y S. Zailani, «Tecnologías digitales, gestión ambiental y logística inversa,» *Sustainability*, vol. 13, nº 4, pp. 1-21, 2021.

Anexos

Anexo 1.

Cuestionario

Visita In situ

6. De los retazos generados, ¿cuáles **sí podrían reutilizarse** en producción?

Rta: Los que tengan más de un metro de longitud

PARA CÁLCULO DE COSTOS POR USO DEL ESPACIO

1. ¿Qué **área aproximada (m²)** ocupa actualmente el material en desorden o desechos?

Rta: Unos 4 m²

2. ¿Ese espacio pertenece a:

- Taller
- Bodega
- Patio

Rta: Taller

3. La planta es:

- Propia
- Alquilada

Rta: Propia

4. Si es propia: ¿Cuánto cuesta aproximadamente el **alquiler promedio por m²** en la zona?

Rta: Unos trabajos 10 ctvs el m² diario (APROXIMADAMENTE)

5. ¿Ese espacio (Donde están los desechos) podría usarse para:

- Almacenar materia prima
- Mejorar circulación
- Instalar una máquina nueva

Rta: Mejorar circulación

6. Si se instalara una máquina: ¿Qué **producción adicional** podría generar?

Rta: Vigas prefabricadas

PARA CÁLCULO DE COSTO POR INEFICIENCIA DE DESPLAZAMIENTOS

1. En promedio, ¿cuántos **minutos al día** pierde un operario por:

- Mover Desechos
- Esquivar Material
- Reordenar Espacio

Rta: 10 minutos

2. ¿Cuántos operarios se ven afectados?

Rta: 1 a 3

3. ¿Cuál es el **salario mensual promedio** del operario?

Rta: \$485

4. ¿La jornada es de 8 horas diarias?


Rta: Sí, 8h/día

5. ¿Cuántos **días laboran al mes**?

Rta: 22 días, con días laborables

Anexo 2.

Informe 5 Ws

Informe 5 W	
Área:	
Supervisor de área:	
Fecha:	
Who (¿Quién?)	Tesisista
What (¿Qué?)	Informe del estado de la empresa
Where (¿Dónde?)	Planta
When (¿Cuándo?)	14 de enero del 2026
Why (¿Por qué?)	Dar a conocer el estado actual de la planta con la finalidad de tomar acciones inmediatas para la mejora continua.
Antecedentes	Durante la inspección se pudo observar que dentro de la planta algunas áreas se encuentran en completo desorden lo que ha dado lugar a retrasos, riesgos, genera mayor tiempo en la recolección de los desechos metálicos.
Evidencia Fotográfica	
	

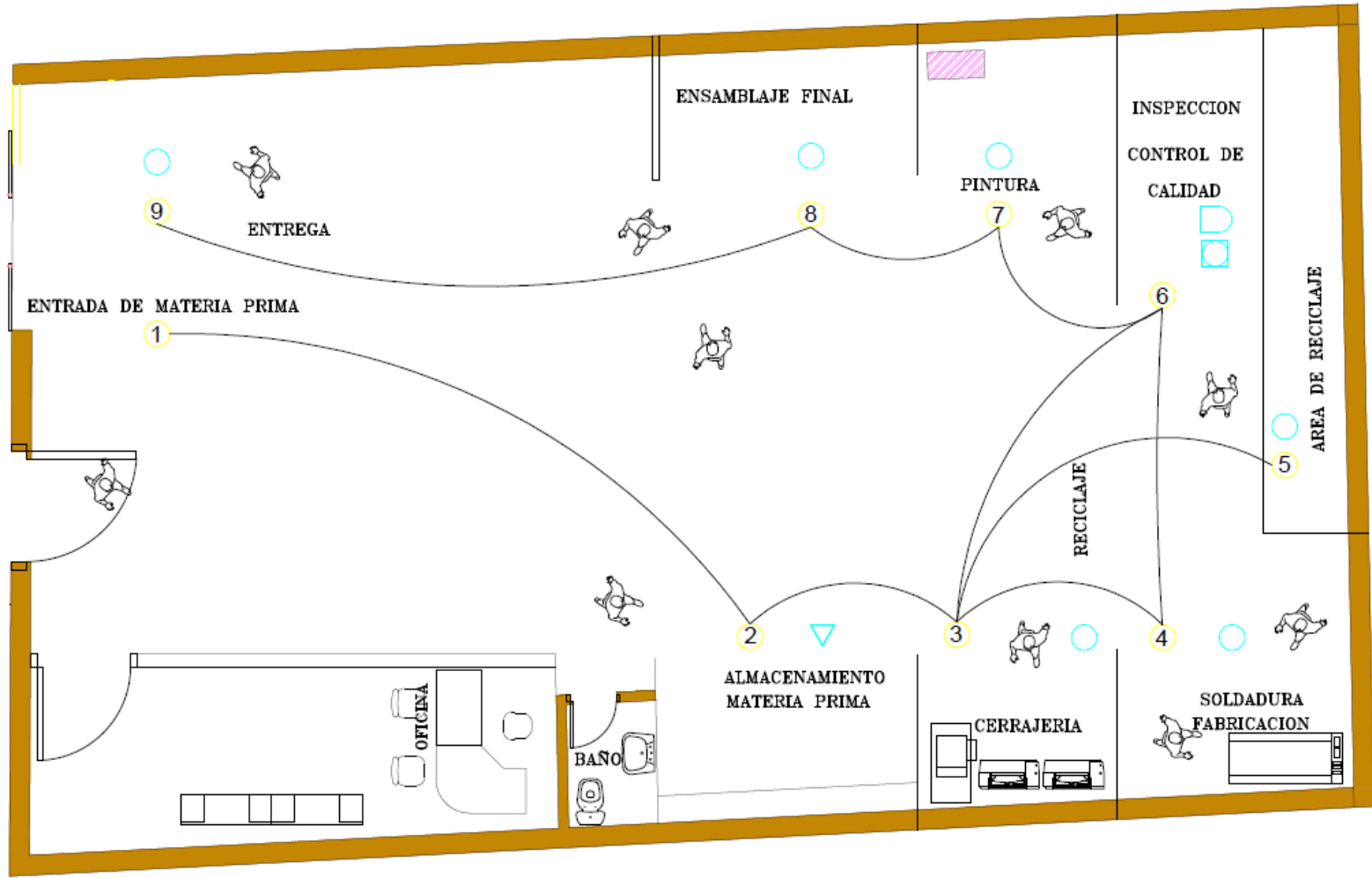
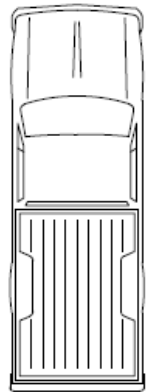




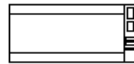
	Elaboró	Revisó	Aprobó
Nombre	Danilo Rodríguez	Ing. Jonathan Ruiz	Ing. Jonathan Ruiz
Cargo	Tesista	Docente	Docente

Anexo 3.

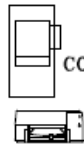
Layout



HERRAMIENTAS BASICAS



SOLDADORAS:
SMAW
TIC & MIC



CORTADORAS :
AMOLADORA
OXICORTE
PLASMA

COMPRESOR

Anexo 4.

Ficha de

Registro

11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							