



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Escuela Superior de Ciudad Sahagún

Variabilidad en los tiempos de carga de tractocamiones con palanquillas de acero

ELABORADO POR:

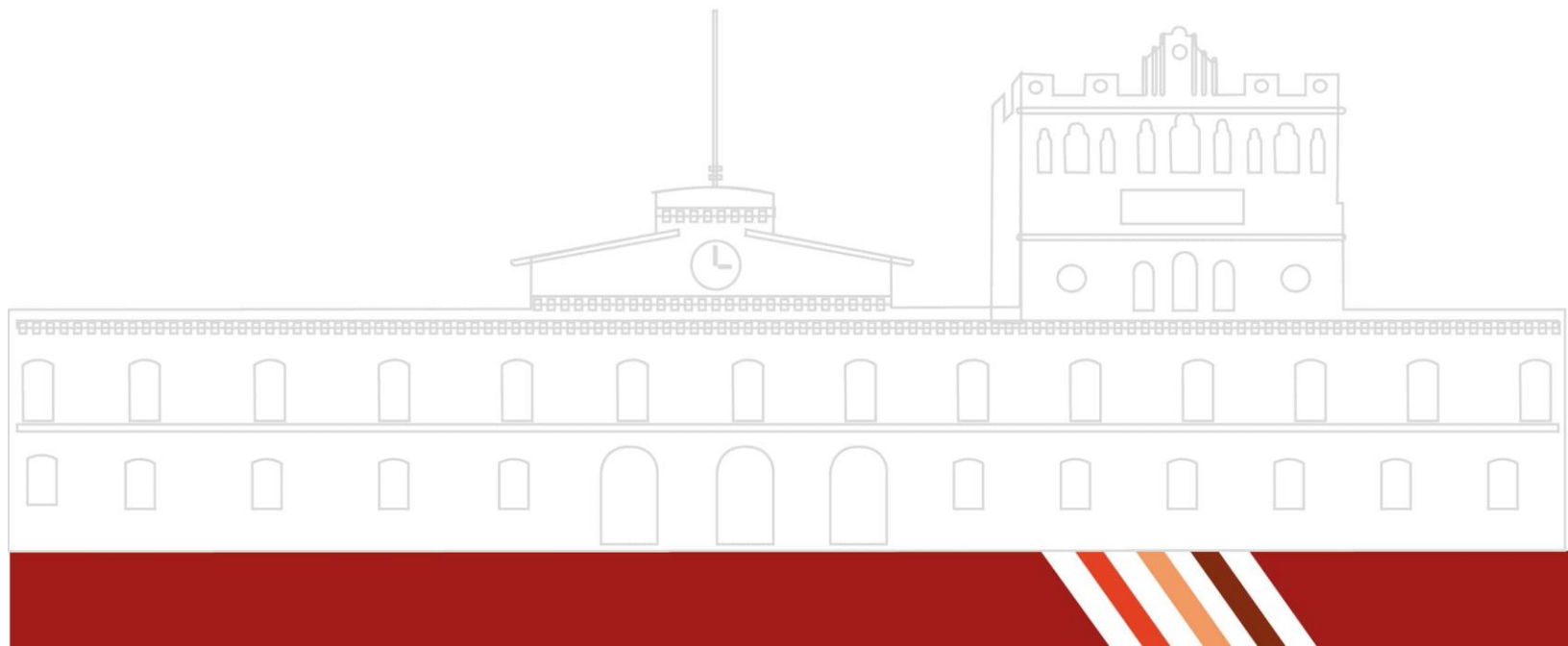
Daniela Álvarez Domínguez

ASESOR:

Dra. Francisca Santana Robles

COASESOR:

Ing. Felipe Gutiérrez Castillo





Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Escuela Superior de Ciudad Sahagún
Campus Sahagún

CLII-070-25
Asunto: Autorización digital

P.D.L.I.I. C. Daniela Álvarez Domínguez
Presente

Por este conducto le comunico que el jurado que le fue asignado a su trabajo de "TESIS" con el nombre: **"Variabilidad en los tiempos de carga de tractocamiones con palanquillas de acero"**, y que después de revisarlo en reunión de sinodales han decidido autorizar la digitalización del mismo, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación se anotan las firmas de conformidad de los integrantes del jurado:

Presidente	Dr. Isaías Simón Marmolejo
Primer vocal	Dra. Francisca Santana Robles
Segundo vocal	Ing. Felipe Gutiérrez Castillo
Secretario	Ing. Berenice Guadalupe Sánchez Reyes

Sin otro particular, me es grato reiterar a usted la seguridad de mi atenta consideración y respeto.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"
Fray Bernardino de Sahagún, Hgo., a 13 de noviembre de 2025

Dra. Francisca Santana Robles
Coordinadora de la Licenciatura en Ingeniería Industrial



c.c.p.- Expediente
FSR

Carretera Otumba - Cd. Sahagún No. 7, Colonia
Legaspi, Zona Industrial, Ciudad Sahagún, Hidalgo,
México C.P. 43998
Teléfono: 52 (771)7172000 Ext. 50201
essahagun@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

Agradecimientos

Agradezco profundamente la concreción de este trabajo. Sin duda, ha sido un proceso largo, pero que ha valido la pena, pues me ha otorgado una visión más amplia y profesional sobre la dedicación con la que se pueden resolver problemas crónicos tanto en la industria como en la vida cotidiana.

Reconozco y valoro los esfuerzos de mis tutores, quienes con su guía, conocimiento y paciencia me ayudaron a concretar este proyecto. Su sabiduría y compromiso con la enseñanza son un ejemplo, y espero que en este documento se refleje parte de su trabajo, dedicación a la institución y pasión por la investigación, la innovación y el aporte continuo a la ingeniería.

Agradezco también a la empresa por brindarme la oportunidad de contribuir metodológicamente en sus procesos, así como por ofrecerme la experiencia y los conocimientos necesarios para el desarrollo de este proyecto.

De igual manera, extendiendo mi más profundo agradecimiento a mi familia y amigos por su apoyo incondicional. Sus palabras, comprensión y aliento constante fueron un motor fundamental para hacer posible la culminación de este trabajo.

Culminar este proyecto es el reflejo del esfuerzo compartido, la paciencia y la fe que me rodearon en cada etapa. Más allá de los resultados, este trabajo deja en mí la satisfacción de haber crecido como persona y como profesional, y la motivación de continuar aprendiendo y contribuyendo con dedicación a los desafíos que están por venir.

Tabla de contenido

Agradecimientos	
Índice de Tablas	
Índice de Figuras	
Resumen	
Abstract	
Capítulo 1: Objeto de Estudio	1
1. Introducción.....	1
2. Revisión de la literatura.....	3
3. Planteamiento del Problema	5
4. Justificación.....	7
5. Objetivos de la investigación	7
5.1 Objetivo General	8
5.2 Objetivos Específicos.....	8
6. Pregunta(s) de investigación.....	9
7. Hipótesis	9
8. Delimitación y Alcance	9
9. Plan Metodológico.....	11

9.1	Variable de Investigación	11
9.2	Tipo de Investigación	11
9.3	Recursos Humanos, Económicos y Técnicos	11
Capítulo 2: Estado del Arte		12
1.	Marco Teórico	13
1.1	UNIDADES DE CARGA.....	14
1.2	PUENTE GRÚA:	20
1.3	DIAGRAMA DE RECORRIDO	22
1.4	GRÁFICO DE LÍNEAS MÚLTIPLES	22
1.5	ESTUDIO DE TIEMPOS	23
1.6	MÉTODO DE REGRESOS A CERO	25
1.7	CICLOS EN EL ESTUDIO	25
1.8	CALIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD	26
1.9	TIEMPO NORMAL	30
1.10	ADICIÓN DE SUPLEMENTOS U HOLGURAS.....	30
1.11	DIAGRAMA DE ISHIKAWA O CAUSA EFECTO	34
1.12	BALANCEO DE LÍNEAS	35
2.	Revisión sistemática de la literatura y Análisis bibliométrico	36
2.1	Los objetivos de revisión:	37

2.2	Planeación de la búsqueda.....	37
2.3	ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS.....	38
2.4	SÍNTESIS DE HALLAZGOS	41
2.5	VACÍOS IDENTIFICADOS.....	43
Capítulo 3: Propuesta de Intervención o Metodología.		44
Capítulo 4: Resultados y discusión.....		45
1.	Analizar el proceso actual de carga de tractocamiones	45
2.	Medir la variabilidad de los tiempos de carga	47
3.	Identificar los factores que afectan la variabilidad	48
4.	Proponer mejoras para reducir el tiempo de carga y optimizar el proceso	
	50	
Conclusiones		63
Referencias Bibliográficas		65

Índice de Tablas

Tabla 1.2 Nomenclatura de clase de vehículos.....	15
Tabla 2.2 Configuración de tracto camiones articulados T-S	16
Tabla 3.2 Tractocamión doblemente articulado T-S-R.....	16
Tabla 4.2 Peso bruto vehicular.....	19
Tabla 5.2 Número recomendado de ciclos.	26
Tabla 6.2 Sistema Westinghouse para calificar habilidades.	27
Tabla 7.2 Sistema Westinghouse para calificar esfuerzo.	28
Tabla 8.2 Sistema Westinghouse para calificar condiciones.....	28
Tabla 9.2 Sistema Westinghouse para calificar consistencia.	29
Tabla 10.2 Ejemplo práctico de sistema Westinghouse.....	29
Tabla 11.2 Suplementos u holguras por la ILO.	31
Tabla 12.2 Planeación de la búsqueda	37
Tabla 13.2 Resumen de fuentes analizadas.....	38
Tabla 1.3 Matriz metodológica	45
Tabla 1.4 Desglose de actividades.....	46
Tabla 2.4 Variabilidad del tiempo.	47
Tabla 3.4 Factores de velocidad.	51
Tabla 4.4 Tiempo normal por estación.....	53
Tabla 5.4 Holguras por estación	54
Tabla 6.4 Tiempo estándar por estación de trabajo	55
Tabla 7.4 Datos para el cálculo del balanceo.....	56
Tabla 8.4 Tiempo ciclo y número de operarios.....	57
Tabla 9.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 1	58

Tabla 10.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 2	60
Tabla 11.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 3	61
Tabla 12.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 4	62

Índice de Figuras

Figura 1.2 Clasificación de las carreteras de México.....	17
Figura 1.4 Diagrama de recorrido parcial.	47
Figura 2.4 Diagrama causa-efecto de tiempo promedio por camión.	49
Figura 3.4 Distribución de actividades para la estación 1	59
Figura 4.4 Distribución de actividades para la estación 2	60
Figura 5.4 Distribución de actividades para la estación 3	61
Figura 6.4 Distribución de actividades para la estación 4.	62

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo proponer una solución para la reducción del tiempo de carga de tractocamiones en el departamento logístico en una empresa siderúrgica. Para ello, se emplearon herramientas enfocadas principalmente al estudio de métodos, tales como el estudio de tiempos, el sistema Westinghouse, el diagrama de Ishikawa, las gráficas de líneas múltiples, el balanceo de líneas y los diagramas de precedencias. Asimismo, se consideran aspectos complementarios como la capacidad de carga establecida en la NOM-012-SCT-2-2017 y las especificaciones técnicas de los equipos utilizados para la maniobra de carga.

La aplicación conjunta de estas técnicas demuestra que es posible generar una mejora significativa en la eficiencia del proceso de carga, pasando de una eficiencia planeada del 93 % a un 96.35 %. Además, se presenta una distribución más precisa y estructurada de las actividades en cada estación de trabajo, representada mediante un diagrama de precedencias por estación, lo que permite visualizar de manera clara el flujo operativo y las relaciones entre tareas.

Palabras Clave: Logística, camiones, siderúrgica, ingeniería de métodos, disminución de tiempos, eficiencia.

Abstract

The objective of this study is to propose a solution for reducing the loading time of tractor trucks in the logistics department of a steel company. To this end, tools focused mainly on the study of methods were used, such as time studies, the Westinghouse system, Ishikawa diagrams, multiple line graphs, line balancing, and precedence diagrams. Complementary aspects such as the load capacity established in NOM-012-SCT-2-2017 and the technical specifications of the equipment used for loading maneuvers were also considered.

The joint application of these techniques demonstrates that it is possible to generate a significant improvement in the efficiency of the loading process, going from a planned efficiency of 93% to 96.35%. In addition, a more precise and structured distribution of activities at each workstation is presented, represented by a precedence diagram per station, which allows for a clear visualization of the operational flow and the relationships between tasks.

Keywords: Logistics, trucks, steel mill, methods engineering, time reduction, efficiency.

Capítulo 1: Objeto de Estudio

El objeto de estudio de esta tesis es el análisis del tiempo de permanencia vehicular en una empresa siderúrgica, considerando factores como la inspección y manipulación de materiales durante el proceso de embarque de unidades terrestres en el área de logística. El objetivo principal es estabilizar y minimizar el tiempo promedio de carga mediante la aplicación de técnicas del estudio del trabajo.

1. Introducción

El presente trabajo tiene impacto directo en la **industria siderúrgica**, particularmente en el área **logística**, enfocándose en la **reducción de los tiempos de carga de tractocamiones con materiales pesados**, específicamente **palanquillas de acero**. Este proceso representa una de las actividades más relevantes dentro de las operaciones logísticas, ya que implica altos costos operativos y una influencia significativa en la eficiencia global de la cadena de suministro. Por ello, se destaca la importancia de desarrollar **análisis y estrategias que optimicen la eficiencia**, con el propósito de reducir tiempos y costos, mejorar la distribución del trabajo y, en consecuencia, **incrementar la competitividad empresarial** mediante un servicio más confiable y eficaz.

El **problema principal** abordado en este estudio consiste en la **variabilidad de los tiempos de carga de tractocamiones**, que transportan palanquillas con longitudes promedio entre **5 y 5.5 metros** y un peso aproximado de **una tonelada por pieza**. Esta inestabilidad en el proceso afecta directamente el cumplimiento de los compromisos de

entrega y la eficiencia operativa. Entre los factores que influyen en dicha variabilidad se encuentran: la **inspección de materiales**, las **fallas en los equipos de carga**, las **limitaciones en la capacidad de carga** y el **incumplimiento de los horarios de planeación**.

Para atender este problema, la investigación se enmarca en la **Ingeniería Industrial**, dentro de la **línea de aplicación de la ingeniería de métodos**. Se emplean diversas herramientas y metodologías que permiten analizar y mejorar los procesos, tales como el **estudio de tiempos**, el **sistema Westinghouse**, el **diagrama de Ishikawa**, el **balanceo de líneas**, las **gráficas de líneas múltiples** y los **diagramas de precedencias**. Estas herramientas facilitan la identificación de causas raíz y la propuesta de soluciones técnicas viables orientadas a la optimización del proceso de carga.

El **alcance** del presente trabajo es de carácter **propositivo**, limitado al análisis y mejora del **proceso de carga de tractocamiones con rutas nacionales**, dentro del ámbito de la **logística interna**. No se consideran las operaciones de logística externa ni la carga de otros productos siderúrgicos distintos a las palanquillas de acero. Asimismo, el estudio se desarrolla con base en los **recursos disponibles** en la empresa, sin contemplar inversiones adicionales o modificaciones en infraestructura.

En los siguientes capítulos se aborda de manera estructurada el desarrollo del proyecto:

- Capítulo I. Objeto de estudio: Se presenta el contexto de la empresa, la problemática, los objetivos, la justificación, el alcance y la metodología general del estudio.
 - Capítulo II. Estado del Arte: Incluye los fundamentos de la ingeniería de métodos, estudio de tiempos, sistema Westinghouse, adición de suplementos u holguras, especificaciones de equipos de carga, normativa NOM-012-SCT-2-2017, gráficas de líneas múltiples, balanceo de líneas y antecedentes de investigaciones similares.
 - Capítulo III. Propuesta de Intervención o Metodología: Describe el método de aplicación de las metodologías para la solución del problema, integrando una matriz metodología que resume toda la información.
 - Capítulo IV. Resultados y discusión: Describe de manera detallada todo lo plasmado en la matriz metodológica, aplicado y con evidencias, como tablas o diagramas. Dando como resultado el balanceo de líneas
1. Conclusiones: Presenta el análisis de los resultados obtenidos, en este caso, un aumento a la eficiencia y una mejor distribución de las actividades en el proceso.

2. Revisión de la literatura

La implementación de redes logísticas y de suministro eficientes contribuye significativamente a la reducción de costos; sin embargo, en el ámbito logístico, la disminución de tiempos también representa un factor determinante para alcanzar la competitividad. En este contexto, la carga de camiones con materiales de gran dimensión o difícil manejo constituye un reto técnico y operativo de alta relevancia (Christopher, 2016) .

En industrias como la siderurgia o la manufactura pesada, donde los productos suelen ser voluminosos y requieren maquinaria especializada para su manipulación, los tiempos de carga impactan directamente en la eficiencia operativa, los costos y el cumplimiento de los plazos de entrega. Es por ello que se recomienda evaluar el tipo de embalaje utilizado, ya que en muchos casos las cargas sobrepasan el peso permitido, aunque no el volumen de almacenamiento. Asimismo, debido a la naturaleza pesada de los materiales, se debe procurar realizar el menor número posible de izajes para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones (Bowersox et al., 2016).

Martin Christopher (2016), define la logística como uno de los pilares fundamentales de la cadena de suministro, la cual coordina y gestiona de forma eficiente el flujo y almacenamiento de bienes. En este sentido, Ballou (2004) sostiene que La logística es la parte del proceso de la cadena de suministros que planea, lleva a cabo y controla el flujo y almacenamiento eficientes y efectivos de bienes.

Respecto al transporte, este representa uno de los factores que más influyen en los costos logísticos. Para garantizar su efectividad, es necesario establecer estrategias de inventarios, metas de servicio y métodos de transporte. Todos estos elementos forman parte de la planeación logística y están estrechamente vinculados con la gestión eficiente de los recursos empresariales.

El éxito de dicha planeación influye directamente en el desarrollo de la empresa, ya que un sistema de transporte ineficiente limita la distribución a zonas cercanas al lugar de producción.

En el caso de la empresa analizada, el transporte ferroviario se consideró inicialmente una opción viable debido a su capacidad de carga y menores costos operativos. No obstante, al analizar factores como el estado de las vías, los tiempos de entrega y la variabilidad en los pedidos, se determinó que no es la alternativa más adecuada.

Por tal motivo, se optó por el transporte por carretera (camión), el cual ofrece ventajas como la reducción de maniobras de carga y descarga entre origen y destino, entregas puerta a puerta y mayor disponibilidad de servicios Ballou, (2004).

De acuerdo con Bowersox et al. (2019) , la eficiencia logística depende de la reducción de tiempos improductivos, la estandarización de procesos y el uso óptimo de los recursos. Estas mejoras pueden alcanzarse mediante el análisis de procesos y la aplicación de metodologías propias de la ingeniería industrial.

Con base en esta revisión teórica, se concluye la relevancia de estudiar la reducción de tiempos en operaciones logísticas, especialmente en la industria siderúrgica, donde el transporte de carga pesada representa un desafío constante. Por ello, resulta indispensable proponer un panorama y ejemplos de estrategias que permitan optimizar los tiempos de carga de tractocamiones que transportan palanquillas de acero.

3. Planteamiento del Problema

En el proceso de carga de tractocamiones con palanquillas de acero, cuya longitud oscila entre 5 y 5.5 metros y con un peso promedio de una tonelada por pieza, se ha identificado una variabilidad significativa en los tiempos de carga. Aunque el **tiempo**

promedio por camión es de 289.52 minutos, a lo largo del mes se presentan fluctuaciones considerables: en algunos casos, este tiempo puede incrementarse hasta 300 minutos por camión o incluso más, mientras que en otros se reduce a tan solo 90 minutos por unidad. Además, la **producción diaria (número de camiones por día)**, es **en promedio de 28 unidades en los tres turnos**.

Esta inestabilidad en el proceso de carga afecta negativamente la eficiencia operativa, genera retrasos en la cadena logística y compromete el cumplimiento de los compromisos con los clientes. Además, la variación en los tiempos de carga dificulta la planeación y la asignación adecuada de recursos, tanto humanos como materiales, lo que repercute en la productividad general de la operación.

Entre los principales factores que influyen en esta variabilidad se encuentran:

- Inspección al 100% de los materiales.
- Alta presencia de producto no conforme que debe ser segregado.
- Fallas frecuentes en grúas o montacargas.
- Limitaciones en la capacidad de carga de los equipos.
- Carencia de stock de materiales y retrabajos derivados del mal almacenamiento del producto.
- Tractocamiones con llegada fuera de horario planificado

Comprender y analizar estos factores resulta fundamental para identificar las causas raíz de la inestabilidad en el proceso, y así proponer soluciones orientadas a estandarizar y optimizar la operación de carga, con el fin de mejorar la productividad, reducir los tiempos de espera y elevar la competitividad del sistema logístico.

En el presente proyecto se pretende reducir el tiempo del proceso de carga de tractocamiones, mediante un estudio de tiempos y balanceo de líneas.

4. Justificación

La presente investigación es relevante porque aborda un problema crítico en el proceso logístico de carga de tractocamiones. Esta inestabilidad impacta negativamente en la eficiencia de la planta, ocasionando retrasos, aumento de costos, desperdicio de recursos y una menor capacidad de respuesta ante la demanda del cliente.

Al identificar y analizar los factores que generan dicha variabilidad se podrán proponer estrategias de mejora orientadas a estandarizar el proceso, optimizar tiempos y mejorar la planificación operativa.

Este estudio no solo permitirá aumentar la productividad del área de carga, sino también fortalecer la competitividad de la empresa al mejorar su cadena de suministro. Además, los resultados obtenidos podrán servir de base para implementar mejoras en otros procesos logísticos similares ya que el manejo de estos materiales es un lugar poco explorado por la logística actual.

En resumen, la investigación aportará conocimiento técnico y operativo que permitirá tomar decisiones informadas para mejorar la eficiencia, reducir tiempos improductivos y garantizar un servicio logístico más confiable y rentable.

5. Objetivos de la investigación

5.1 Objetivo General

Analizar la variabilidad del **tiempo de carga de tractocamiones** en el manejo de palanquillas de acero, mediante la aplicación de técnicas de ingeniería de métodos, con el propósito de **reducir los tiempos totales de carga** y aumentar la eficiencia del proceso.

5.2 Objetivos Específicos

- Realizar un análisis del proceso actual de carga, utilizando diagramas de flujo, mapeo de procesos para identificar actividades con valor y sin valor agregado, además de cuellos de botella.
- Recolectar y analizar datos operativos sobre los tiempos de carga, utilizando herramientas estadísticas para determinar la variabilidad y su comportamiento.
- **Aplicar herramientas de análisis causa–efecto, con el propósito de identificar y evaluar las causas raíz** que generan la inestabilidad en los tiempos del proceso de carga
- Aplicar técnicas de ingeniería de métodos, como el balanceo de líneas, con el fin **de** determinar el tiempo óptimo de operación que permita reducir el tiempo total de carga de los tractocamiones.

6. Pregunta(s) de investigación

¿Qué factores operativos y logísticos inciden en la variación del tiempo de carga de tractocamiones ?

¿Qué acciones pueden implementarse para reducir el tiempo de carga de tractocamiones?

7. Hipótesis

La aplicación de técnicas de estudio del trabajo, especialmente el balanceo de líneas y el análisis de procesos, **reduce significativamente el tiempo de carga** de tractocamiones con palanquillas de acero, mejorando la eficiencia operativa del área logística.

8. Delimitación y Alcance

Esta investigación se enmarca en la "Ingeniería de métodos y operaciones", con enfoque en mejora continua, análisis de tiempos y balanceo de líneas. Esta línea busca generar conocimiento aplicado mediante el estudio de procesos reales, orientado a mejorar la productividad, la eficiencia operativa y la toma de decisiones estratégicas en entornos industriales.

Este proyecto se enfocará exclusivamente en el **proceso de carga de tractocamiones con palanquillas de acero**, llevado a cabo en el **área logística de una planta industrial** del sector siderúrgico. El estudio abarcará los turnos operativos matutino y vespertino, **considerando únicamente los tractocamiones programados para rutas nacionales**. La unidad de análisis será el tiempo de carga por cada unidad de transporte.

El enfoque estará en el análisis y optimización de los métodos actuales, sin intervenir directamente en la logística externa ni en otros procesos como recepción de materiales o despacho de pedidos. El estudio se desarrollará considerando condiciones normales de operación, sin incluir paros mayores ni eventos extraordinarios.

El alcance de la investigación es diagnóstico y propositivo. A través del estudio del trabajo y técnicas como el análisis de procesos, mapeo de actividades, recopilación de datos reales, análisis causa-efecto y balanceo de líneas, se pretende:

- Cuantificar la variabilidad en los tiempos de carga.
- Identificar los factores operativos y logísticos que generan inestabilidad.
- Establecer propuestas de mejora con base en tiempos estándar y equilibrio operativo.
- Diseñar un modelo optimizado de asignación de tareas que permita reducir el tiempo promedio de carga por tractocamión.

Este estudio no considera una implementación inmediata de las propuestas, pero sí establece las bases técnicas y analíticas para su posterior ejecución, evaluación económica y validación práctica.

Límites de la investigación:

- El estudio se limita al proceso de carga de palanquillas de acero, excluyendo otros tipos de productos.
- No se aborda la gestión de transporte externo, planificación de rutas ni contratación de camiones.

- Se trabajará con los recursos disponibles (personal, grúas, montacargas), sin proyección de inversión adicional.

9. Plan Metodológico

9.1 Variable de Investigación

Tiempo de carga de tractocamiones (medido en minutos/unidad).

El tiempo de carga se entiende como la duración total del proceso en el que un tractocamión es abastecido con material o producto, desde el inicio hasta la finalización de la carga.

9.2 Tipo de Investigación

Una investigación cuantitativa dado que se tomarán tiempos y datos, pero a su vez complementándose con análisis cualitativo dado que se hará un diagrama de causa efecto. Con el propósito de resolver un problema operativo real. Con un alcance explicativo ya que analiza las causas raíz y propone mejoras basadas en evidencias recopiladas en el proceso.

9.3 Recursos Humanos, Económicos y Técnicos

Recursos humanos:

- Personal operativo del área de carga (para entrevistas y validación de datos).
- Supervisor de logística o jefe de turno (para información histórica y permisos).

Recursos técnicos:

- Computadora con software de análisis estadístico básico (Excel).
- Herramientas de análisis de causa raíz (Ishikawa, 5 porqués).
- Plantillas para hoja de tiempos y recolección de datos.

Recursos económicos:

- Se prevé únicamente el uso de materiales de oficina (papelería) y tiempo de personal operativo para entrevistas o validación, sin generar costos adicionales.

Capítulo 2: Estado del Arte.

En este capítulo se presenta el Estado del Arte correspondiente al tema del análisis del tiempo de permanencia vehicular en una empresa siderúrgica, con el propósito de analizar los principales avances teóricos y metodológicos desarrollados en torno a esta técnica de mejora industrial. El balanceo de líneas constituye una herramienta fundamental dentro de la ingeniería de métodos, orientada a optimizar la distribución de tareas entre las estaciones de una línea productiva, reduciendo tiempos improductivos y aumentando la eficiencia global del sistema (¿QUÉ ES BALANCEO DE LÍNEAS?, 2018).

El desarrollo de este apartado parte del Marco Teórico, el cual proporciona los conceptos esenciales, principios y modelos matemáticos que sustentan el proceso de balanceo. Asimismo, se revisan investigaciones previas y aplicaciones prácticas que han

permitido perfeccionar esta metodología en distintos contextos industriales, destacando su importancia en la mejora continua, la estandarización del trabajo y la productividad.

Esta revisión busca establecer el límite del conocimiento actual sobre el tema y servir como base sólida para el desarrollo del presente proyecto, en el que se aplican los principios del balanceo de líneas enfocado al número de operarios con el fin de optimizar los procesos productivos y mejorar el desempeño operativo.

1. Marco Teórico

El presente marco teórico tiene como finalidad sustentar conceptualmente la investigación, mediante la exposición de los principios, fundamentos y modelos que explican el balanceo de líneas de producción. Esta metodología es fundamental dentro del ámbito de la ingeniería industrial, ya que permite distribuir equitativamente las tareas entre estaciones de trabajo, minimizando los tiempos ociosos, eliminando cuellos de botella y mejorando la eficiencia operativa.

En esta sección se analizan los enfoques teóricos propuestos por diversos autores que han contribuido al desarrollo y perfeccionamiento de técnicas de balanceo, incorporando herramientas como los diagramas de precedencia, la distribución proporcional de operarios, el cálculo de tiempos estándar y el diseño racional del trabajo. De manera particular, se toma como referencia la obra de Niebel y Freivalds (2020), quien aborda de forma integral los métodos de ingeniería de métodos y la estandarización de procesos como elementos esenciales para la mejora continua en entornos industriales.

El marco conceptual aquí presentado proporciona las bases teóricas necesarias para sustentar la propuesta de mejora que se desarrolla en este estudio, la cual está orientada a optimizar la asignación de recursos humanos y el aprovechamiento del tiempo de permanencia vehicular en el área de carga de una empresa siderúrgica.

Adicionalmente, se incorporan consideraciones técnicas relacionadas con las especificaciones de carga, tales como la determinación de la carga máxima por unidad, así como el tipo y capacidad de los equipos utilizados en la operación, específicamente grúas y montacargas. Estos factores resultan determinantes en la eficiencia y seguridad del proceso de carga, y forman parte integral del análisis técnico-operativo propuesto en este trabajo.

1.1 UNIDADES DE CARGA

Con base en la NOM-012-SCT-2-2017, que establece el peso y las dimensiones máximas con los que pueden circular los vehículos de autotransporte federal en las vías generales de comunicación de jurisdicción federal, se definen las características técnicas que deben cumplir las unidades de carga involucradas en el presente estudio.

La norma clasifica como camión remolque al vehículo destinado al transporte de carga, constituido por un camión unitario acoplado a un remolque mediante un convertidor.

La tabla **1.2** de la NOM-012-SCT-2-2017 presenta la nomenclatura utilizada para clasificar los vehículos de autotransporte federal de carga, de acuerdo a su descripción.

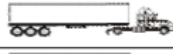
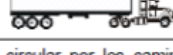
Tabla 1.2 Nomenclatura de clase de vehículos.

CLASE: VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN	NOMENCLATURA
AUTOBÚS	B
CAMIÓN UNITARIO	C
TRACTOCAMIÓN	T
CONVERTIDOR	D
CAMIÓN REMOLQUE	C-R
TRACTOCAMIÓN ARTICULADO	T-S
TRACTOCAMIÓN DOBLEMENTE ARTICULADO	T-S-R Y T-S-S

Los vehículos considerados en el presente estudio corresponden a las configuraciones tractocamión articulado (**T-S**) y tractocamión doblemente articulado (**T-S-R**), conforme a la clasificación establecida en la NOM-012-SCT-2-2017. Estas configuraciones son comúnmente empleadas en operaciones logísticas de alto volumen y gran capacidad de carga, características propias de la industria siderúrgica, donde el transporte de materiales pesados, como las palanquillas de acero, requiere unidades con una elevada resistencia estructural y estabilidad durante la operación.

En el caso de los tractocamiones articulados tipo T-S, utilizados en las operaciones de carga analizadas, se cuenta con un total de cinco ejes. De acuerdo con la **tabla 2.2** de la NOM-012-SCT-2-2017, esta configuración se reclasifica bajo la nomenclatura **T3-S2**, la cual corresponde a un tractocamión con tres ejes en la unidad motriz y dos en el semirremolque. Este dato resulta fundamental para el cálculo del peso bruto vehicular máximo autorizado, así como para la determinación de la capacidad de carga permitida en las maniobras logísticas del proceso estudiado.

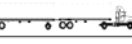
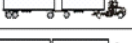
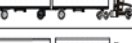
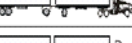
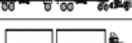
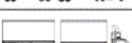
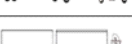
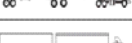
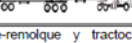
Tabla 2.2 Configuración de tracto camiones articulados T-S

TRACTOCAMION ARTICULADO (T-S)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1	3	10	
T2-S2	4	14	
T2-S3	5	18	
T3-S1	4	14	
T3-S2	5	18	
T3-S3	6	22	

Nota: Las configuraciones de tractocamión articulado deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

Por otro lado, considerando la **tabla 3.2** de la NOM-012-SCT-2-2017, correspondiente a la nomenclatura de tractocamiones doblemente articulados T-S-R, los camiones empleados en el proceso cuentan con un total de nueve ejes, lo que se traduce en la configuración **T3-S2-R4**. Esta clasificación describe un tractocamión con tres ejes en la unidad motriz, dos en el primer semirremolque y cuatro en el remolque adicional.

Tabla 3.2 Tractocamión doblemente articulado T-S-R.

TRACTOCAMIÓN SEMIRREMOLQUE-REMOLQUE (T-S-R)			
NOMENCLATURA	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	CONFIGURACIÓN DEL VEHÍCULO
T2-S1-R2	5	18	
T2-S2-R2	6	22	
T2-S1-R3	6	22	
T3-S1-R2	6	22	
T3-S1-R3	7	26	
T3-S2-R2	7	26	
T3-S2-R3	8	30	
T3-S2-R4	9	34	
T2-S2-S2	6	22	
T3-S2-S2	7	26	
T3-S3-S2	8	30	

Nota: Las configuraciones de tractocamión semirremolque-remolque y tractocamión semirremolque-semirremolque deben circular por los caminos y puentes de jurisdicción federal con las luces encendidas permanentemente.

Para comprender adecuadamente el contexto normativo que debe considerar el programador logístico al planificar la carga vehicular, es fundamental conocer la clasificación de las carreteras en México, ya que de ello depende la capacidad y tipo de vehículo permitido en cada ruta.

De acuerdo con Cuevas et al. (2023), se establece una nomenclatura especial para la designación de las carreteras federales, la cual se muestra en la **Figura 1.2**. Esta clasificación permite identificar el tipo de vía, su capacidad estructural y las restricciones aplicables al tránsito de vehículos de carga pesada.

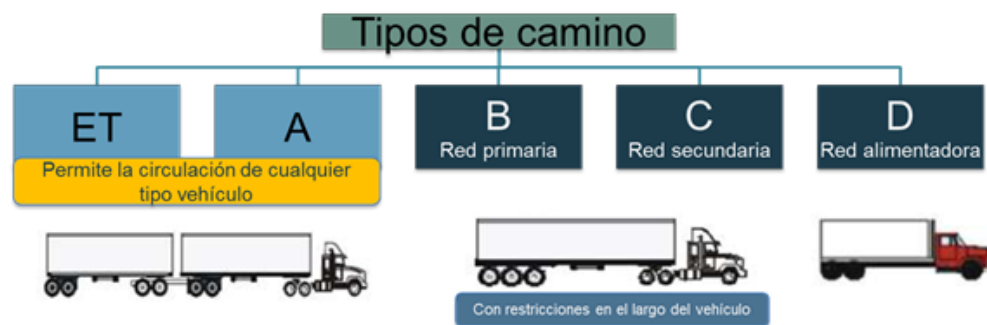


Figura 1.2 Clasificación de las carreteras de México.

De acuerdo con la Gaceta Parlamentaria de la Cámara de Diputados, en una declaratoria de publicidad de dictámenes, se establece que las carreteras clasificadas como ET (Ejes Troncales) corresponden a aquellas que forman parte de los principales corredores de transporte definidos por la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT). Estas vías cuentan con características geométricas y estructurales que permiten la circulación de todos los vehículos autorizados, incluso aquellos con las máximas dimensiones, peso y capacidad de carga. Asimismo, se permite el tránsito de

otros vehículos que, por interés general, sean autorizados por la Secretaría, siempre y cuando su operación se limite a este tipo de caminos (Del Sistema de Información, Dirección General de Crónica y Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados, 2015).

En el caso de la empresa analizada, esta cuenta con un convenio establecido con una compañía de autotransportes, la cual se encarga de gestionar los permisos **correspondientes ante la secretaria de infraestructura, comunicaciones y transportes (SICT)**, en cumplimiento con lo estipulado en la **NOM-012-SCT-2-2017** y demás normativas aplicables. Dicho procedimiento garantiza que las unidades de carga cumplan con los requisitos legales para circular por las rutas autorizadas, particularmente aquellas clasificadas como **carreteras tipo ET**, que son las **únicas habilitadas para el tránsito de vehículos con los pesos y dimensiones máximos permitidos**.

Con base en la información previamente expuesta, se procede al análisis de la **tabla 4.2** de la NOM-012-SCT-2-2017, la cual establece el peso bruto vehicular máximo autorizado, considerando tanto la clase de vehículo como el tipo de carretera. Para los fines del presente estudio, se contemplan las configuraciones T3-S2 y T3-S2-R4, previamente descritas, al ser las más representativas dentro del proceso logístico evaluado.

Tabla 4.2 Peso bruto vehicular.

PESO BRUTO VEHICULAR MÁXIMO AUTORIZADO POR CLASE DE VEHÍCULO Y CAMINO

VEHÍCULO O CONFIGURACIÓN VEHICULAR	NÚMERO DE EJES	NÚMERO DE LLANTAS	PESO BRUTO VEHICULAR (t)			
			ET y A	B	C	D
C2	2	6	19,0	18,5	14,5	13,0
C3	3	8	24,0	19,0	17,0	16,0
C3	3	10	27,5	23,0	20,0	18,5
C2-R2	4	14	37,5	35,5	NA	NA
C3-R2	5	18	44,5	42,0	NA	NA
C3-R3	6	22	51,5	47,5	NA	NA
C2-R3	5	18	44,5	41,0	NA	NA
T2-S1	3	10	30,0	28,0	22,5	NA
T2-S2	4	14	38,0	31,5	28,0	NA
T3-S2	5	18	46,5	38,0	33,5	NA
T3-S3	6	22	54,0	45,5	40,0	NA
T2-S3	5	18	45,5	39,0	34,5	NA
T3-S1	4	14	38,5	32,5	28,0	NA
T2-S1-R2	5	18	47,5	NA	NA	NA
T2-S1-R3	6	22	54,5	NA	NA	NA
T2-S2-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R2	6	22	54,5	NA	NA	NA
T3-S1-R3	7	26	60,5	NA	NA	NA
T3-S2-R2	7	26	60,5	NA	NA	NA
T3-S2-R4	9	34	66,5	NA	NA	NA
T3-S2-R3	8	30	63,0	NA	NA	NA
T3-S3-S2	8	30	60,0	NA	NA	NA
T2-S2-S2	6	22	51,5	NA	NA	NA
T3-S2-S2	7	26	58,5	NA	NA	NA

NA- No Autorizado

Dando como resultado un peso bruto máximo para tractocamiones articulados (TS) de hasta 46.5 TON y para tractocamión doblemente articulado (TSR) el peso bruto máximo es de 63.0 TON.

Estos parámetros deben ser considerados cuidadosamente durante la planeación de carga, ya que condicionan el tipo y volumen de materiales que pueden ser transportados de manera legal y segura.

Por tanto, el programador logístico o el responsable de la operación debe tomar en cuenta estas especificaciones normativas al momento de diseñar el esquema de carga, tanto para evitar infracciones como para garantizar la integridad de la unidad, la eficiencia del proceso y la seguridad vial. Cualquier exceso en peso o dimensiones podría generar retrasos, sanciones o incluso accidentes, lo cual impactaría negativamente en la operación general de la empresa.

Estas limitaciones normativas son fundamentales para el diseño del proceso de carga, ya que influyen directamente en la distribución del material, la planificación de rutas, la selección de equipos de maniobra (como grúas y montacargas) y en la asignación del tiempo de operación por unidad.

1.2 PUENTE GRÚA:

Las palanquillas se cargan mediante una grúa puente equipada con **cabina de operación**, cuyas especificaciones son provistas mayoritariamente por el fabricante. No obstante, en una planta metalúrgica, la estructura de la cabina y su soporte deben cumplir requisitos específicos adicionales.

La cabina es desplazable para cargas voluminosas como es el caso de la carga de palanquillas. Están construidas con placas de acero reforzado (5 mm), ventanas templadas y revestimiento aislante para proteger del calor, polvo y ruido propios del entorno metalúrgico (Dafang , s. f) .

- Incluye sistemas de escalera marinas y barandillas para garantizar la seguridad de los operadores
- La estructura del puente, especialmente en una doble viga adopta una estructura de celosía, que tiene las ventajas de un peso ligero, una gran carga y una fuerte resistencia al viento.
- Conversión de frecuencia para ajustar la velocidad.
- Control de seguridad, control PLC.
- Grupo electrógeno diésel.

En cuanto al equipo de carga utilizado, se cuenta con una grúa marca DANIELLI, la cual está diseñada con capacidades técnicas de 30 TON específicas tanto para el puente grúa como para el sistema de elevación. Esta grúa permite operar dentro de un rango de carga controlado, y su capacidad máxima de carga está determinada por el fabricante, considerando variables como el peso de los materiales, el tipo de gancho o sistema de sujeción, y el desplazamiento sobre rieles.

En el caso particular del presente estudio, la grúa es utilizada para la manipulación de palanquillas. De acuerdo con las especificaciones técnicas proporcionadas por el fabricante y validadas por el experto responsable de la operación, el peso neto máximo de palanquillas que puede levantarse en una sola operación está claramente definido tomando en cuenta que la capacidad máxima es de 30 TON y restando a su capacidad de 16 TON pertenecientes al sistema de sujeción, la capacidad de carga para las palanquillas, es de 14 TON y debe ser respetado estrictamente para garantizar la seguridad y el buen funcionamiento del sistema.

Es importante destacar que esta información técnica es propiedad del fabricante (Danielli) y es entregada únicamente al propietario del equipo. Por ello, únicamente el personal autorizado y capacitado puede acceder a estos datos, interpretarlos correctamente y establecer los límites operativos de carga con base en criterios de seguridad industrial y normativas internas de la empresa. Dicha información se debe considerar para realizar la planeación de embarques (M. Novaldo, comunicación personal, 8 de octubre del 2025).

1.3 DIAGRAMA DE RECORRIDO

El diagrama de recorrido es una representación gráfica de la distribución física de los pisos y edificios de una planta, en la que se muestra la ubicación de todas las actividades descritas en el diagrama de flujo del proceso. En este esquema, se trazan las líneas de flujo del material entre actividades, utilizando flechas que indican la dirección del movimiento, las cuales pueden diferenciarse por colores si se representan múltiples rutas.

Este tipo de diagrama complementa eficazmente al diagrama de flujo de procesos, ya que permite visualizar recorridos innecesarios, retrocesos, posibles zonas de congestión y otras oportunidades de mejora. Gracias a esto, se facilita el diseño o rediseño de una configuración más eficiente de la planta.

La forma más recomendable de elaborarlo consiste en partir de un plano de las áreas involucradas y, sobre él, bosquejar las rutas del flujo de materiales. En resumen, el diagrama de recorrido se utiliza específicamente para representar el movimiento y las distancias que recorre un material a lo largo de un área determinada (Niebel y Freivalds, 2020).

1.4 GRÁFICO DE LÍNEAS MÚLTIPLES

El gráfico de líneas es una herramienta de representación gráfica que muestra los valores de un indicador mediante puntos, los cuales se conectan entre sí a través de líneas. Esta estructura facilita la visualización del comportamiento del indicador a lo largo del tiempo. Su uso es especialmente recomendable cuando se desea analizar tendencias

en series de datos extensas o continuas, que pueden abarcar distintos intervalos temporales, como minutos, horas, días, semanas, meses o incluso años.

En el gráfico de líneas múltiples, se representa la comparación de dos o más variables (Altamirano et al, 2009) .

1.5 ESTUDIO DE TIEMPOS

Los estándares de tiempo en un área de trabajo se pueden establecer mediante el uso de estaciones, registros históricos y procedimientos de medición del trabajo. Sin embargo, la gran mayoría de los trabajos incluyen retrasos inevitables y algunos evitables, mismas que muchas veces no son reflejadas en dichos registros.

Las técnicas de medición del trabajo representan una forma mejor de establecer estándares de producción justos, dado que cualquiera de sus técnicas se basa en establecer estándares de tiempo permitido para realizar una tarea dada, contemplando suplementos u holguras por fatiga normal de un operador a lo largo de un turno y por retrasos personales e inevitables, como ir al sanitario. Establecer estos estándares de una manera correcta incrementan la eficiencia del equipo.

Elementos del estudio de tiempos:

Selección del operador: Se debe elegir un operario con un desempeño promedio o por arriba del promedio puesto que comúnmente se desempeña de manera consistente y sistémica. Debe considerarse que el operador debe estar completamente capacitado en el método de estudio.

Registro de información significativa: Se deben registrar las máquinas, herramientas manuales, soportes, condiciones de trabajo, materiales, operaciones, nombres y número de operarios, departamento, fecha del estudio y nombre del observador. Debe considerarse el clima, pues es un factor que afecta el desempeño.

Posición del observador: Debe estar de pie, justo detrás del operador evitando cualquier tipo de distracción, para no alterar la actividad.

División de la operación en elementos: si el tiempo del ciclo es mayor a 30 minutos, el analista puede escribir la descripción de los elementos mientras realiza el estudio. Si es posible, el analista debe determinar los elementos de la operación antes del inicio del estudio.

Inicio del estudio: Se puede usar una de dos técnicas para registrar los tiempos elementales durante el estudio. El método de tiempos continuos, como su nombre lo implica, permite que el cronómetro trabaje durante todo el estudio. En este método, el analista lee el reloj en el punto de quiebre de cada elemento y el tiempo sigue corriendo en el cronómetro. En la técnica con regreso a cero, después de leer el cronómetro en el punto de quiebre de cada elemento, el tiempo del reloj se regresa a cero; cuando ocurre el siguiente elemento, el tiempo se incrementa a partir de cero. Al registrar las lecturas del cronómetro, anote sólo los dígitos necesarios y omita el punto decimal, con lo que se tendrá el mayor tiempo posible para observar el desempeño del operario (Niebel y Freivalds, 2020).

1.6 MÉTODO DE REGRESOS A CERO

Es más adecuado para procesos con elementos largos, ya que permite registrar directamente los tiempos observados sin realizar restas sucesivas, lo que agiliza el análisis. También facilita el registro de actividades fuera de secuencia y permite comparar ciclos consecutivos (Niebel y Freivalds, 2020).

1.7 CICLOS EN EL ESTUDIO

El tamaño de la muestra, es decir, el número de ciclos que deben observarse durante un estudio de tiempos, depende del comportamiento de las variables involucradas en la tarea. Sin embargo, desde una perspectiva estratégica tanto económica como temporal, no siempre resulta viable aplicar de manera estricta los lineamientos estadísticos para la determinación del tamaño de muestra (Niebel y Freivalds, 2020).

En este sentido, cuando el ciclo de la tarea es corto, es posible obtener un número considerable de observaciones con relativa facilidad y en un tiempo reducido. Por el contrario, si el ciclo es largo o presenta un alto grado de complejidad, registrar una gran cantidad de mediciones puede implicar costos elevados y una inversión significativa de tiempo.

Tomando esta información como premisa, Niebel hace referencia a una Tabla (Tabla 5.2) donde se proponen los números recomendados de ciclos de observación elaborada por la General Electric Company, la cual constituye una guía aproximada para determinar el número de observaciones que deben realizarse (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 5.2 Número recomendado de ciclos.

Tiempo de ciclo (minutos)	Número recomendado de ciclos
0.10	200
0.25	100
0.50	60
0.75	40
1.00	30
2.00	20
2.00-5.00	15
5.00-10.00	10
10.00-20.00	8
20.00-40.00	5
40.00 o más	3

Fuente: Información tomada de *Time Study Manual* de los Erie Works de General Electric Company, desarrollados bajo la guía de Albert E. Shaw, gerente de administración del salario.

1.8 CALIFICACIÓN DE LA VELOCIDAD

Niebel y Freivalds. Definen este término como:

“La calificación de la velocidad es un método de evaluación del desempeño que considera sólo el ritmo de trabajo por unidad de tiempo. En este método, el observador compara la eficacia del operario con el concepto de un operario calificado que hace el mismo trabajo, y después asigna un porcentaje para indicar la razón del desempeño observado sobre el desempeño estándar” (2020, p.357).

Sin embargo, existen diversos sistemas o técnicas para determinar el factor de velocidad en el estudio del trabajo. Uno de ellos es el sistema de **calificación sintética**, el cual utiliza datos estadísticos y parte del supuesto de que el operador trabaja a un nivel normal de rendimiento. A partir de esta premisa, se desarrolla un modelo matemático que permite calcular el factor de velocidad (García, 2005).

Otro método ampliamente utilizado es la **valoración mediante tiempos predeterminados**. Este se basa en el análisis de micromovimientos, a los cuales se les

han asignado tiempos estándar de actuación como resultado de estudios previos. Para aplicar esta técnica, es necesario considerar que el desempeño del operario debe mantenerse constante durante la actividad (García, 2005).

Aunque existen múltiples alternativas, el **sistema Westinghouse** es considerado uno de los más objetivos, ya que evalúa el desempeño del operario con base en cuatro factores: **habilidad, esfuerzo, condiciones de trabajo y consistencia** (Niebel y Freivalds, 2020).

El primero de los factores a evaluar es la **habilidad**, que se refiere a la destreza para seguir un método dado, la habilidad es el resultado de la experiencia y aptitudes propias de cada operador. Para darle una calificación objetiva es necesario basarse en la **Tabla 6.2** que ayuda a definir el grado de habilidad con la que se observa al operador de cada actividad del objeto de estudio (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 6.2 Sistema Westinghouse para calificar habilidades.

+0.15	A1	Superior
+0.13	A2	Superior
+0.11	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.06	C1	Buena
+0.03	C2	Buena
0.00	D	Promedio
-0.05	E1	Aceptable
-0.10	E2	Aceptable
-0.16	F1	Mala
-0.22	F2	Mala

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

El segundo factor es el **esfuerzo** y se define como la demostración de la voluntad para trabajar de manera eficaz, se puede traducir como la rapidez con la que se aplica

la habilidad, se debe cuidar solo calificar el esfuerzo dirigido a la actividad. Los valores numéricos para definir el grado de esfuerzo están dados en la tabla 7.2 (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 7.2 Sistema Westinghouse para calificar esfuerzo.

+0.13	A1	Excesivo
+0.12	A2	Excesivo
+0.10	B1	Excelente
+0.08	B2	Excelente
+0.05	C1	Bueno
+0.02	C2	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.04	E1	Aceptable
-0.08	E2	Aceptable
-0.12	F1	Malo
-0.17	F2	Malo

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

El tercer factor está representado en la **tabla 8.2** y hace referencia a las **condiciones** en las que se encuentra la estación de trabajo, tales como: Temperaturas, ventilación, iluminación, y ruido. Y al igual que sin antecesores el cálculo del grado es en base a una tabla de ponderación (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 8.2 Sistema Westinghouse para calificar condiciones.

+0.06	A	Ideal
+0.04	B	Excelente
+0.02	C	Bueno
0.00	D	Promedio
-0.03	E	Aceptable
-0.07	F	Malo

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

El último factor para este sistema es la **consistencia** que en cierto sentido la constancia con la que se realiza el trabajo. Si no existe variabilidad en los valores de

tiempos elementales, la consistencia es casi perfecta, sin embargo, esto es poco probable que ocurra. Y los valores que se pueden tomar, se resumen en la tabla 9.2 (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 9.2 Sistema Westinghouse para calificar consistencia.

+0.04	A	Perfecta
+0.03	B	Excelente
+0.01	C	Buena
0.00	D	Promedio
-0.02	E	Aceptable
-0.04	F	Mala

Fuente: Lowry, Maynard y Stegemerten (1940), p. 233.

Una vez que se han calculado los cuatro factores del sistema, se debe realizar la suma de sus valores, respetando el signo correspondiente de cada grado. A este resultado se le añade una unidad adicional. Para ilustrarlo con mayor claridad, a continuación, se presenta un ejemplo (Tabla 10.2) utilizando uno de los datos obtenidos en el presente trabajo.

Tabla 10.2 Ejemplo práctico de sistema Westinghouse.

Habilidad	C2	0.03
<i>Esfuerzo</i>	C2	0.02
<i>Condiciones</i>	E	-0.03
<i>Consistencia</i>	F	-0.04
<i>Suma</i>		-0.02
<i>Factor de desempeño</i>		$=(-0.02)+1 = 0.98$

1.9 TIEMPO NORMAL

Después de toda la etapa de cronometraje, el analista debe hacer los cálculos del tiempo normal donde la fórmula es la siguiente:

$$TN = TO * C/100$$

Donde:

TO = Tiempo Observado

C = Calificación de la velocidad o factor de velocidad

Esta fórmula permite calificar el desempeño del operador utilizado en el estudio, contra la de un operario calificado que trabajó bajo un ritmo promedio, sin esfuerzo adicionales y siguiendo el método (Niebel y Freivalds, 2020).

1.10 ADICIÓN DE SUPLEMENTOS U HOLGURAS

Como parte natural del trabajo, es imposible que un operario mantenga un ritmo constante durante toda su jornada laboral; por ello, las demoras se clasifican en interrupciones personales, fatiga y retrasos inevitables.

Tomando en cuenta la tabla 11.2 de recomendaciones de ILO, mencionada en el (Niebel y Freivalds, 2020).

Tabla 11.2 Suplementos u holguras por la ILO.

A. Holguras constantes:	
1. Holgura personal.....	5
2. Holgura por fatiga básica.....	4
B. Holguras variables:	
1. Holgura por estar parado.....	2
2. Holgura por posición anormal:	
a) Un poco incómoda.....	0
b) Incómoda (flexionado).....	2
c) Muy incómoda (acostado, estirado).....	7
3. Uso de fuerza o energía muscular (levantar, arrastrar o empujar):	
Peso levantado, lb:	
5.....	0
10.....	1
15.....	2
20.....	3
25.....	4
30.....	5
35.....	7
40.....	9
45.....	11
50.....	13
60.....	17
70.....	22
4. Mala iluminación:	
a) Un poco abajo de lo recomendado.....	0
b) Bastante abajo de lo recomendado.....	2
c) Muy inadecuada.....	5
5. Condiciones atmosféricas (calor y humedad): variable.....	0-100
6. Atención cercana:	
a) Trabajo bastante fino.....	0
b) Trabajo fino o exacto.....	2
c) Trabajo muy fino o muy exacto.....	5
7. Nivel de ruido:	
a) Continuo.....	0
b) Intermitente: fuerte.....	2
c) Intermitente: muy fuerte.....	5
d) De tono alto: fuerte.....	5
8. Esfuerzo mental:	
a) Proceso bastante complejo.....	1
b) Espacio de atención compleja o amplia.....	4
c) Muy complejo.....	8
9. Monotonía:	
a) Baja.....	0
b) Media.....	1
c) Alta.....	4
10. Tedio:	
a) Algo tedioso.....	0
b) Tedioso.....	2
c) Muy tedioso.....	5

En el caso de las holguras por interrupciones personales, se consideran actividades como beber agua, ir al baño o atender cualquier otra necesidad fisiológica básica. En cuanto a las condiciones generales de trabajo, especialmente en labores pesadas o realizadas en ambientes con altas temperaturas, no existe una base científica exacta que determine el porcentaje adecuado de tiempo adicional.

Sin embargo, se acepta de manera general que un **5 %** del tiempo total de la jornada laboral equivalente aproximadamente a 21 minutos en una jornada de ocho horas constituye una cifra razonable y representativa para la mayoría de los trabajos.

Las holguras por fatiga básica se relacionan con la energía física y mental que el operario consume durante la ejecución de su labor, así como con la necesidad de aliviar la monotonía derivada de tareas repetitivas o exigentes. Este tipo de holgura tiene como finalidad permitir una recuperación parcial del esfuerzo y prevenir la disminución del rendimiento a lo largo de la jornada. Diversos autores consideran que un **4 %** del tiempo total de trabajo es un valor adecuado para compensar los efectos de la fatiga básica en condiciones normales de operación.

Por otro lado, las holguras especiales o retrasos inevitables se refieren a irregularidades en los materiales, interrupciones por parte del supervisor, o factores propios del entorno laboral, los cuales forman parte de la rutina diaria en una estación de trabajo. Para estimar su porcentaje, se toman en cuenta factores relacionados con la operación de maquinaria, como el tiempo de funcionamiento, mantenimiento, lubricación, entre otros.

En un fragmento de su obra, Niebel y Freivalds, mencionan lo siguiente:

“Por lo general, en la fabricación de metales y operaciones relacionadas, la holgura por demoras personales inevitables y fatiga se acerca a 15 %. Sin embargo, en ciertos casos puede ser necesaria una holgura adicional para obtener un estándar justo.” (2020, P.378).

Esta premisa fue considerada en el desarrollo del presente trabajo, ya que el estudio se lleva a cabo en una empresa perteneciente precisamente a este sector industrial. El cálculo y justificación del porcentaje de holgura se explicarán con mayor detalle en el apartado correspondiente a los resultados.

Estos tiempos u holguras deben considerarse en el estudio, ya que los tiempos estándar de un ciclo de trabajo deben poder ejecutarse dentro de un tiempo razonable. De manera más técnica, Niebel y Freivalds explican que:

“El tiempo requerido para un operario totalmente calificado y capacitado, trabajando a un paso estándar y realizando un esfuerzo promedio para efectuar la operación, se llama tiempo estándar (TE) de esa operación. Por lo general, el suplemento u holgura se da como una fracción del tiempo normal y se usa como un multiplicador igual a $1 + \text{holgura}$ ”(2020, p.343).

De esta definición se desprende una fórmula aritmética fundamental que debe aplicarse una vez concluida la toma de tiempos, con el fin de determinar el tiempo estándar real de la operación analizada.

$$TE = TN + TN \times \text{holgura} = TN \times (1 + \text{holgura})$$

Esta fórmula se utiliza una vez calculado el porcentaje de holguras que se le asignará a cada tiempo normal (TN).

1.11 DIAGRAMA DE ISHIKAWA O CAUSA EFECTO

El diagrama de Ishikawa, también conocido como diagrama de causa y efecto o diagrama de espina de pescado, consiste en identificar la ocurrencia de un evento o problema no deseado, representado en la “cabeza” del diagrama como el efecto principal. A partir de este punto se desglosan los factores o causas que contribuyen a la aparición del problema

Estos factores se agrupan comúnmente en seis categorías principales, conocidas en la industria como las 6M, que representan las fuentes más frecuentes de variación en los procesos:

- Máquinas: Equipos, tecnología y herramientas utilizadas en la operación.
- Métodos: Procedimientos, instrucciones y estándares de trabajo aplicados.
- Materiales: Materias primas, componentes y consumibles empleados.
- Medición: Procesos de inspección, obtención de datos y precisión de las métricas.
- Mano de obra: Habilidades, capacitación y factores humanos que influyen en el desempeño del operador.

Medio ambiente: Condiciones físicas, ambientales, de diseño del área de trabajo y factores externos que pueden afectar el proceso.

La aplicación de este análisis fomenta la identificación integral de causas y la resolución estructurada de problemas, evitando pasar por alto cualquier factor relevante. Se trata de una técnica ampliamente utilizada en los sistemas de mejora continua,

especialmente dentro de las metodologías Six Sigma y Lean Manufacturing, ya que facilita la toma de decisiones orientadas a una mejora coherente, sostenible y basada en evidencias. En síntesis, el diagrama de Ishikawa permite visualizar de forma clara las causas raíz de un problema y definir acciones efectivas para su corrección (Harkhoe, 2025).

1.12 BALANCEO DE LÍNEAS

El autor García Criollo (2005) , explica este método a través de un ejemplo práctico; sin embargo, dado que el presente trabajo también tiene un enfoque aplicado, se retomarán únicamente las fórmulas y los puntos clave necesarios para su implementación.

El método utilizado para realizar el balanceo de líneas se conoce como **“Determinación del número de operadores necesarios por operación”**. Las fórmulas empleadas son las siguientes:

Índice de producción

$IP = \text{Unidades a fabricar} / \text{tiempo disponible de un operador}$

$$NO = (TE * IP) / E$$

Donde:

NO = Número de operarios

TE= Tiempo estándar (minutos)

IP= Índice de producción (Producción/Tiempo disponible)

E= eficiencia planeada (en decimales)

Al calcular el número de piezas por día, es necesario considerar el tiempo de la estación cuello de botella, ya que este determina el ritmo de producción de toda la línea.

La fórmula es:

$$\text{Piezas por día} = ((\text{NO de la estación cuello de botella} * \text{tiempo disponible}) / \text{TE de la estación cuello de botella})$$

Por último, se calcula la eficiencia que se obtiene con el balanceo de líneas.

$$\text{Eficiencia} = (\text{minutos estándar por operación} / (\text{Minutos estándar asignados} * (\text{Número de operarios total}))) * 100$$

Para aplicar correctamente este método, es indispensable contar previamente con el tiempo estándar de cada operación (García Criollo, 2005).

2. Revisión sistemática de la literatura y Análisis bibliométrico

La carga de camiones con productos de difícil movilidad y gran dimensión, comúnmente se piensan como un problema poco usual, sin embargo, en la logística, las especificaciones de carga son uno de los factores más relevantes a considerar.

En este capítulo se analizarán algunos artículos y fuentes literarias en las que se analiza un problema similar, para ver los diferentes puntos de vista del problema en cuestión y como los autores lo abordaron.

2.1 Los objetivos de revisión:

Identificar las estrategias, metodologías y herramientas utilizadas en la industria para reducir los tiempos de carga, con énfasis en su aplicación dentro del sector siderúrgico o de manufactura pesada.

2.2 Planeación de la búsqueda

Palabras clave utilizadas:

("reducción de tiempos" OR "optimización de procesos") AND ("carga y descarga" OR "movilización de carga pesada") AND ("industria siderúrgica" OR "manufactura pesada") AND ("logística interna" OR "lean manufacturing") AND ("ingeniería de métodos" OR "balanceo de líneas")

Tabla 12.2 Planeación de la búsqueda

Período:	2015 - 2025
Idioma:	Español o inglés
Tipo de documento:	Artículos científicos, tesis, manuales técnicos, libros especializados
Relevancia:	Estudios sobre reducción de tiempos, procesos logísticos o estudio del trabajo, basados en ingeniería de métodos o combinaciones de técnicas de mejora continua.
Exclusión:	Estudios no con ingeniería de métodos o procesos logísticos
Número de artículos finales:	12 fuentes analizadas

2.3 ANÁLISIS DE LOS ESTUDIOS SELECCIONADOS

Tabla de resumen de estudios relevantes:

Tabla 13.2 Resumen de fuentes analizadas

Autor (año)	Título	Metodología	Herramienta	Resultado	Sector
Garza et al, (2016).	A Lean Six Sigma framework for the reduction of ship loading commercial time in the iron ore pelletising industry	Estructura de implementación Lean Six Sigma	Principios de Lean y Six Sigma (DMAIC)	Mejora de tiempo comercial de carga 30% y ahorro operativo \$300,000 dólares anuales	Operación de carga de buques y minero metalúrgico (hierro/pellets)
Mohd et al. (2023)	The Assessment of Man and Method Toward the Assembly Line Improvement in Automotive Manufacturing	Ingeniería de métodos, análisis de asignación de operarios y tareas en línea de montaje automotriz	Hombre-método, análisis de causa efecto (4 M).	Aumento de la producción en un 50%	Automotriz (manufactura pesada)
Zhang (2024)	Optimization of Production Line Balance Based on The IE Method	Ingeniería Industrial	Principios ECRS, 5W1H, gestión 6S, flujo de trabajo	Logró mejorar balance de línea y productividad de 71.72% a 78.23%	Manufactura de condensadores automotrices
Ran y Liu (2023)	Balancing Optimization of Motor Production Line Based on Industrial Engineering Approach	Ingeniería de métodos para optimizar línea de producción de motores	Principios ECRS, «5W1H» y gestión 6S, flujo de trabajo	La tasa de balance de línea aumentó de 71.72% a 78.23% tras la mejora	Sector de producción de motores (manufactura pesada relativa)

Martínez et al. (2024)	Optimización de procesos en una línea de producción en una empresa de Ciudad Juárez	Ingeniería de métodos	PDCA, Estudio de tiempos, 5´S, Balanceo de líneas.	Aumento de la producción con una eficiencia del 93.1%	Industria de ensamblado escaleras
Pham et al. (2023)	Increasing Line Efficiency By Using Line Balancing In A Steel Manufacturing Company	Ingeniería de métodos	Tiempo estándar, reorganización de recursos, herramientas Lean Manufacturing, balanceo de línea Takt Time	La tasa de balance de línea aumentó de 77% a 99% (incrementó 22%) y la eficiencia de balance de 93% a 99%. Además, se redujo el número de operarios en 9 personas.	Industria del acero / manufactura pesada
Bing y Liang (2015)	"estudy on manufacturing resource data management model for stee and iron enterprise" applied mechanics and materials.	Ingeniería de métodos	Modelo matemático multinivel	Ajuste rápido de capacidad entre niveles	Industria siderúrgica
Pranaditya y Immawan (2025)	"Integration of Lean Warehousing and Line Balancing Approaches in Optimizing Logistics Performance to Reduce Waste and Increase Efficiency of Inbound-Outbound	Ingeniería de método	Análisis de tiempos estándar, balanceo de actividades, análisis causa raíz (ACR), diagrama de Ishikawa, el diagrama de	Eficiencia entrante pasó de 29 % a 74 %; saliente de 34 % a 62 %; tiempo de inactividad entrante bajó de 14 059 s a 1 988.85s;	Logística interna, almacenaje de bobinas pesado

	Coil Processes in HRC Warehouse System”		Pareto y el análisis de los 5 porqués	retrasos de equilibrio bajaron de 71 % a 26 % (entrante) y de 66 % a 38 % (saliente)	
Li y Tian (2015)	“Integrated Optimization of Finished Product Logistics in Iron and Steel Industry Using a Multi-objective Variable Neighborhood Search”	Optimización logística:	Modelo matemático de programación mixta-entera + heurística VNS para consolidación + secuenciación de transporte incluyendo tiempos de carga de vehículos	Mejora de eficiencia logística de producto acabado en siderurgia mediante planificación integrada de consolidación + secuenciación de carga (estrategia de selección adaptativa que permite al algoritmo seleccionar de forma adaptativa las vecindades más prometedoras para la búsqueda local).	Industria siderúrgica / logística
Baltazar et al. (2024)	Modelos y Métodos de Solución en el Balanceo de Líneas de Producción	Análisis bibliométrico	Revisión de literatura, análisis bibliométrico	Análisis detallado de la evolución del balanceo de	Balanceo de líneas

	Aplicados en las Organizaciones: Análisis de Literatura Bibliométrica Enfocado al Método de Asignación			líneas en la industria manufacturera	
Peña (2016)	Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento.	Ingeniería de métodos.	Estudio de tiempos, programación lineal, distribución y balanceo de líneas.	Identificación de estación cuello de botella y análisis de la disminución de tiempo horas/hombre.	Ferretería / almacenes
Peña, (2019).	OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN APLICANDO METODOLOGÍA DE BALANCEO DE LÍNEA Y AMEF PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD EN INDUSTRIA MANUFACTURERA	Revisión sistemática	Análisis estadístico cuantitativo	Análisis en porcentaje de éxitos para la implementación de AMEF 29% de incremento de productividad para fuentes nacionales y un 81% para la metodología de balanceo de líneas.	Industria manufacturera

2.4 SÍNTESIS DE HALLAZGOS

Los resultados obtenidos para los artículos Garza et al, (2016) y Pranaditya y Immawan (2025) representan la importancia de buscar la mejora de los procesos sobre

todo en industrias de carga pesada, pues los resultados que se obtienen son de gran utilidad y apoyo para la organización, con resultados específicos como aumento de la eficiencia y mejora de tiempo de carga. Se refuerza el objetivo de esta investigación.

En el sentido de los artículos relacionados a un análisis bibliométrico como Baltazar et Al (2024) y Peña, (2019). Se destacan las ventajas de la utilización de ciertas metodologías, como el balanceo de líneas y AMEF, y como se ha mejorado la productividad de los procesos, gracias a estos.

Algunos de los artículos relacionados con la ingeniería de métodos, como los desarrollados por Peña (2016), Pam et al. (2023), Martínez et al. (2024), Mohd et al. (2023), Zhang (2024) y Ran y Liu (2023), evidencian la aplicación combinada de múltiples metodologías para la solución de problemáticas industriales. Estos autores emplean herramientas como el balanceo de líneas, estudios de tiempos, Lean Manufacturing, análisis causa-efecto o mejora continua, logrando en la mayoría de los casos resultados cuantificables y mejoras significativas en productividad. Aunque los sectores industriales abordados varían las metodologías aplicadas demuestran ser versátiles y adaptables a distintos contextos. Algunos estudios se centran en la optimización de la producción, otros en la mejora de los procesos de carga o en la gestión de almacenes; sin embargo, todos coinciden en el uso de principios de la ingeniería de métodos **y en su mayoría demuestran la mejora de la eficiencia.**

El artículo elaborado por Bing y Liang (2015) es un ejemplo logístico muy completo y versátil que da un panorama distinto de la solución de problemas, pues mediante modelos matemáticos de programación mixta, se puede hacer un estudio detallado,

además de una simulación del proceso, lo que puede ser de gran utilidad para las industrias pues se evitan gastos en mejoras poco viables.

Esta revisión sistemática proporciona una visión clara y centralizada sobre cómo enfrentar los problemas presentes en la industria mediante el uso de herramientas propias de la ingeniería. Dichos aportes permiten comprender cómo estas metodologías contribuyen a mejorar los procesos, optimizar recursos y aumentar la eficiencia operativa.

2.5 VACÍOS IDENTIFICADOS

En la mayoría de los artículos analizados se observa una falta de claridad en la explicación metodológica. Si bien muchos de estos trabajos presentan una revisión amplia de la literatura, la sección dedicada al análisis y explicación de resultados suele ser considerablemente más breve y sintetizada.

Las metodologías aplicadas son útiles dentro del campo de la ingeniería; sin embargo, en algunos casos no existe una integración adecuada entre ellas. Por ejemplo, ciertos estudios se enfocan en enfoques Lean y Six Sigma, pero dejan de lado los principios de la ingeniería de métodos, o viceversa. Esta falta de complementariedad limita la aplicabilidad integral de los resultados en escenarios reales.

En el contexto específico de la carga de materiales en la industria siderúrgica, se identifica una carencia notable de información y estudios detallados sobre el tema. Existe poca literatura que aborde de forma conjunta la optimización de tiempos de carga, el uso de ingeniería de métodos y la aplicabilidad en procesos de transporte pesado dentro de este sector.

Capítulo 3: Propuesta de Intervención o Metodología.

Para el desarrollo de esta investigación se delimitaron las variables de estudio al enfoque específico de la tesis, centrado exclusivamente en el proceso de carga de palanquillas de acero, sin considerar otras actividades logísticas o productivas. La identificación y análisis de las actividades involucradas se llevó a cabo mediante observación directa en el área operativa, permitiendo así realizar un desglose detallado del proceso.

Con base en esta observación, se procedió a realizar un estudio de tiempos a través de cronometraje, registrando cinco muestras de cada actividad en distintos horarios del día, con el fin de obtener datos representativos y detectar posibles variaciones. Este mapeo permitió, además, clasificar las actividades según su naturaleza y asignarlas a estaciones de trabajo específicas, lo cual sirvió como base para el posterior balanceo del proceso.

La intervención fue posible gracias al apoyo de personal operativo, choferes y técnicos del área, quienes participaron activamente proporcionando información clave y validando las observaciones. Toda la información obtenida se sistematiza en la matriz metodológica (Tabla 1.3) que se presenta a continuación, la cual establece la congruencia entre los objetivos, variables, técnicas e instrumentos utilizados a lo largo de la investigación.

Tabla 1.3 Matriz metodológica

Objetivo específico	Variable	Dimensiones	Técnica de recolección de datos	Instrumento	Técnica de análisis
1. Analizar el proceso actual de carga de tractocamiones	Proceso de carga	Actividades involucradas, tiempos estándar, flujo de trabajo	Observación directa, estudio de métodos	Diagrama de flujo, hoja de análisis de procesos	Diagrama de recorrido
2. Medir la variabilidad en los tiempos de carga	Tiempo de carga	Tiempo promedio, tiempo mínimo y máximo	Cronometraje	Hoja de cronometraje, bitácora operativa	Gráficos de control Estudio de tiempos
3. Identificar los factores que afectan la variabilidad	Factores operativos	Fallas de equipo, inspección, retrabajos, stock	Observación directa, entrevistas al personal	Lista de verificación, diagrama causa-efecto	Diagrama de Ishikawa
4. Proponer mejoras para estandarizar y optimizar el proceso	Mejora	Reducción esperada de tiempos, estandarización de actividades	Validación con expertos, benchmarking interno	Matriz de propuestas, hoja de validación	Balanceo de líneas

Capítulo 4: Resultados y discusión.

1. Analizar el proceso actual de carga de tractocamiones

Como parte del proceso de carga se desglosaron en total 42 actividades (Tabla 1.4) que se realizan en cuatro puntos específicos del área de trabajo. Después de esto se dividieron las actividades según la secuencia se denominaron estaciones de trabajo para poder comenzar el diagrama de recorrido.

Tabla 1.4 Desglose de actividades

Área	Actividad	Estación	Sub. Actividades
Movimientos internos	Preparar material	1	Revisar plan de carga
			Sacar disponibles
			Ubicar estibas
			Dar instrucciones a grúa
			tender material
			Solicitar apoyo a calidad
			revisar el material
			Pintar el material
			solicitar etiquetas faltantes
			Colocar etiquetas
			Segregar material
			Colocar cambio de semáforo
			Solicitar unidades
patio externo	Ingreso	2	Levantar la pluma y alcoholimetría
			Se posiciona la unidad en el cajón
			Inspección del camión
			Se perfila en la bahía
			Bajar a entregar documentos
			Registro
			Regreso a la unidad
			Esperar Turno
			Avisar
			Pesaje
Bascula	Pesaje		
Movimientos internos	Inicio de carga	3	movimientos en calle para cargar
			Posiciona en rectángulo de carga
			Se coloca en zona de espera
			Colocar traba ruedas
			Acomodar polines
			Recibir orden
			Carga
			Llenar picking
			Hacer check de inspección
			quitar traba ruedas
Movimientos internos	Fin de carga		Arranca y avanza
Bascula	Documentación	4	pesaje
			Posición en patio
			Se posiciona en la Bahía de salida
			se baja de la unidad
			Regresa a la unidad
			Procesa documentos y entrega
			indicación de salida
			salida

Posteriormente, se realizaron tomas de muestra mediante observación directa. Como parte del proceso de ejemplificación, se elaboró únicamente un diagrama de recorrido parcial, (Figura 1.4) ya que en etapas posteriores se desarrollará un diagrama específico para cada área.

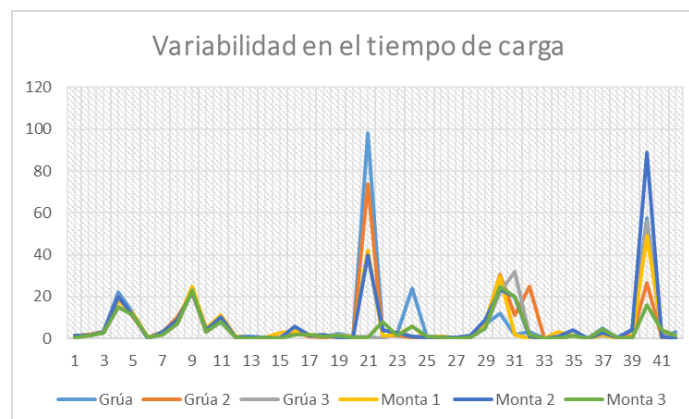


Figura 1.4 Diagrama de recorrido parcial.

2. Medir la variabilidad de los tiempos de carga

Con los tiempos obtenidos a partir de la observación directa se elaboró una gráfica que representa el comportamiento del proceso de carga. En el eje X (horizontal) se muestran las 41 actividades que se ejecutan a lo largo del proceso, mientras que en el eje Y (vertical) se indica el tiempo en minutos correspondiente a cada elemento de carga registrado durante el estudio de tiempos.

Tabla 2.4 Variabilidad del tiempo.



En la tabla 2.4 se aprecia una marcada variabilidad en los tiempos de ejecución, destacando picos significativos en la actividad 21 (espera de turno para ingreso) y en la actividad 40 (indicación de salida). Estas variaciones evidencian posibles cuellos de botella y tiempos improductivos, los cuales impactan directamente en la eficiencia global del proceso de carga.

A partir de esta variabilidad, se puede inferir que existen factores de coordinación operativa que afectan el flujo continuo de las actividades, tales como esperas por disponibilidad de grúas, falta de sincronización entre estaciones o retrasos en la comunicación del personal operativo. La alta dispersión en los tiempos indica la necesidad de mejorar la estandarización de procedimientos ya existentes, optimizar la asignación de recursos, con el fin de reducir los tiempos ociosos y alcanzar un mayor nivel de productividad y estabilidad operativa.

En consecuencia, se resalta la importancia de implementar un balanceo de líneas, con el propósito de que el proceso de carga sea más eficiente y lograr una distribución más equitativa del trabajo entre las estaciones involucradas.

3. Identificar los factores que afectan la variabilidad

Con el propósito de abordar con mayor detalle las posibles causas que generan la variabilidad observada, y considerando tanto los factores tangibles como intangibles del proceso, se elaboró un diagrama de Ishikawa (o causa-efecto). Este análisis se complementó con la aplicación de la filosofía de las 6M (Mano de obra, Método, Maquinaria, Materiales, Medio ambiente y Medición), con el fin de identificar de manera

estructurada las causas raíz que inciden en las desviaciones del tiempo de carga y en la eficiencia general del proceso.

Para iniciar la elaboración del diagrama causa-efecto, se parte de la pregunta central del problema:

¿Por qué se incrementa el tiempo promedio por camión?

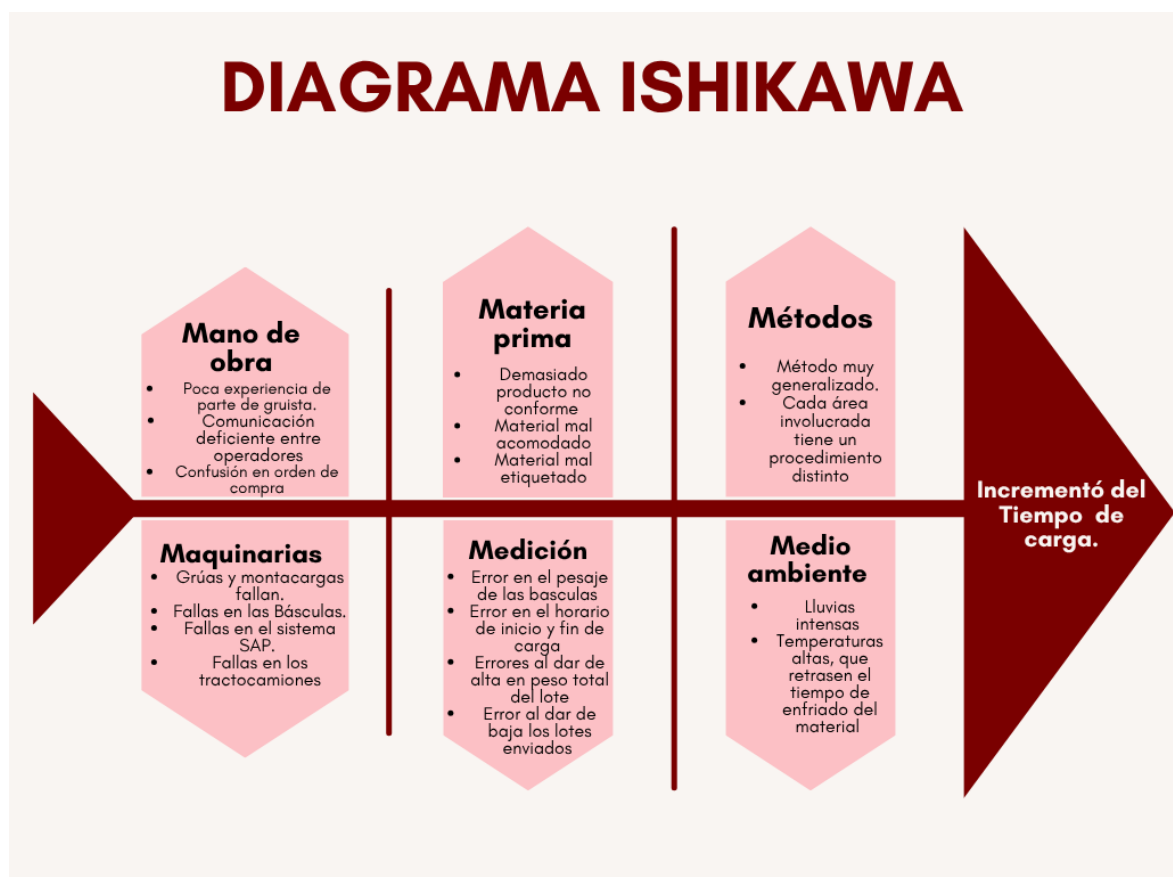


Figura 2.4 Diagrama causa-efecto de tiempo promedio por camión.

A partir de este esquema (Figura II.IV), se identificaron y clasificaron las posibles causas que influyen en el aumento del tiempo de carga, utilizando la metodología de las 6M.

Este análisis permitió visualizar de forma estructurada los factores que inciden directa o indirectamente en la variabilidad del proceso, facilitando la detección de causas raíz y el planteamiento de acciones de mejora orientadas a la reducción de tiempos improductivos y al incremento de la eficiencia operativa.

Tal como lo establece la filosofía del diagrama de Ishikawa, la identificación de la causa raíz conduce de manera natural hacia una mejora metodológica. Con base en esta premisa, se toma dicha consonancia como punto de partida para iniciar el proceso de balanceo de línea, orientado a optimizar la distribución de actividades y reducir los tiempos improductivos dentro del proceso de carga.

4. Proponer mejoras para reducir el tiempo de carga y optimizar el proceso

El balanceo de línea tiene como objetivo principal distribuir equitativamente las cargas de trabajo entre las diferentes estaciones del proceso, buscando minimizar los tiempos de espera y eliminar los cuellos de botella identificados en el análisis previo. Esta metodología permite alcanzar un flujo continuo de operaciones, incrementando la eficiencia global y aprovechando de manera óptima los recursos disponibles (Niebel & Freivalds, 2009).

Para su desarrollo, Se comenzó por realizar el número de observaciones que de acuerdo a la tabla 3.4 contenida en el marco teórico, si la actividad rebasa los 40 min el número de observaciones recomendado es de 3. Los datos se obtuvieron mediante observación directa, los cuales fueron ajustados con los respectivos factores de

velocidad, determinados mediante el sistema Westinghouse, tomando en cuenta los factores de habilidad, esfuerzo y condiciones y consistencia.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los valores obtenidos para el factor de velocidad del operador, por cada actividad:

Tabla 3.4 Factores de velocidad.

Sub. Actividades	Factor de velocidad
Revisar plan de carga	1
Sacar disponibles	1
Ubicar estibas	1
Dar instrucciones a grúa	0.98
tender material	0.98
Solicitar apoyo a calidad	0.97
revisar el material	1
Pintar el material	0.98
solicitar etiquetas faltantes	1
Colocar etiquetas	1
Segregar material	0.98
Colocar cambio de semáforo	1
Solicitar unidades	1
Levantar la pluma y alcoholimetría	1
Se posiciona la unidad en el cajón	1
Inspección del camión	0.98
Se perfila en la bahía	1
Bajar a entregar documentos	0.97
Registro	0.97
Regreso a la unidad	0.97
Esperar Turno	0.86
Avisar	1
Pesaje	1
movimientos en calle para cargar	0.98
Posiciona en rectángulo de carga	1
Se coloca en zona de espera	0.97
Colocar traba ruedas	1
Acomodar polines	1
Recibir orden	1
Carga	0.98
Llenar picking	0.98
Hacer check de inspección	0.98
quitar traba ruedas	0.97
Arranca y avanza	1
pesaje	1
Posición en patio	0.97
Se posiciona en la Bahía de salida	1
se baja de la unidad	0.97
Regresa a la unidad	0.97
Procesa documentos y entrega	0.98
indicación de salida	1
salida	0.97

Se considera que este apartado corresponde al resumen de los cálculos obtenidos a partir de la sumatoria de los cuatro factores del sistema. Posteriormente, a dicho resultado se le añade una unidad, tal como lo establece la metodología.

Una vez obtenido este dato, se procede al cálculo del tiempo normal. Tal como lo establece la metodología del estudio del trabajo, este puede determinarse por ciclos o por conjunto de actividades. En este caso, el tiempo normal se calculó individualmente para cada actividad y, posteriormente, se agruparon los tiempos por estación. Esto permite facilitar el cálculo del tiempo estándar, mantener una estructura ordenada del proceso y alinearlos adecuadamente con el procedimiento de balanceo de líneas. En este sentido los resultados obtenidos se observan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4 Tiempo normal por estación.

Sub. Actividades	Tiempo observado	Factor de velocidad	Tiempo normal	Tiempo normal
Revisar plan de carga	1.02	1.00	1.02	82.53
Sacar disponibles	1.48	1.00	1.48	
Ubicar estibas	2.87	1.00	2.87	
Dar instrucciones a grúa	18.33	0.98	17.97	
tender material	11.17	0.98	10.94	
Solicitar apoyo a calidad	0.29	0.97	0.28	
revisar el material	2.67	1.00	2.67	
Pintar el material	8.33	0.98	8.17	
solicitar etiquetas faltantes	22.93	1.00	22.93	
Colocar etiquetas	3.50	1.00	3.50	
Segregar material	9.67	0.98	9.47	
Colocar cambio de semáforo	0.74	1.00	0.74	
Solicitar unidades	0.48	1.00	0.48	
Levantar la pluma y alcoholimetría	0.40	1.00	0.40	51.51
Se posiciona la unidad en el cajón	0.65	1.00	0.65	
Inspección del camión	4.02	0.98	3.94	
Se perfila en la bahía	1.43	1.00	1.43	
Bajar a entregar documentos	1.14	0.97	1.10	
Registro	1.40	0.97	1.35	
Regreso a la unidad	0.81	0.97	0.79	
Esperar Turno	42.60	0.86	36.63	
Avisar	3.08	1.00	3.08	
Pesaje	2.14	1.00	2.14	
movimientos en calle para cargar	6.37	0.98	6.25	59.38
Posiciona en rectángulo de carga	0.65	1.00	0.65	
Se coloca en zona de espera	0.79	0.97	0.76	
Colocar traba ruedas	0.26	1.00	0.26	
Acomodar polines	0.97	1.00	0.97	
Recibir orden	6.63	1.00	6.63	
Carga	23.79	0.98	23.32	
Llenar picking	14.54	0.98	14.25	
Hacer check de inspección	5.41	0.98	5.30	
quitar traba ruedas	0.16	0.97	0.15	
Arranca y avanza	0.85	1.00	0.85	
pesaje	1.87	1.00	1.87	58.33
Posición en patio	0.15	0.97	0.15	
Se posiciona en la Bahía de salida	2.93	1.00	2.93	
se baja de la unidad	0.28	0.97	0.27	
Regresa a la unidad	1.75	0.97	1.70	
Procesa documentos y entrega	49.05	0.98	48.07	
indicación de salida	2.01	1.00	2.01	
salida	1.38	0.97	1.34	

Una vez obtenido el tiempo normal (TN), es necesario calcular el porcentaje de suplementos básicos e inevitables, como pausas para ir al baño, estiramientos o necesidades fisiológicas. Que se le va a proporcionar a cada actividad.

Este análisis se complementará con el **apoyo de la Tabla 11.2**, ubicada en el **marco teórico**, la cual proporciona los datos estándar para el cálculo correspondiente. **En resumen**, los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla 5.4**, donde se sintetizan

los valores relevantes derivados del cálculo de Holguras y suplementos, por estación de trabajo.

Tabla 5.4 Holguras por estación

Suplementos	Estación 1	Estación 2	Estación 3	Estación 4
Holgura personal	5	5	5	5
Holgura por fatiga básica	4	4	4	4
Holgura por estar parado	2	0	2	0
Holgura por posición anormal	0	0	0	0
Uso de esfuerzo	0	0	1	0
Mala iluminación	0	0	0	0
Condiciones atmosféricas	0	0	0	0
Atención cercana	0	0	0	0
Nivel de ruido	2	2	2	2
Esfuerzo mental	1	1	1	1
Monotonía	1	1	0	1
Tedio	0	2	0	2
SUMA	15	15	15	15

se procede a calcular el tiempo estándar (TE), incorporando un 15% de suplementos básicos e inevitables.

La fórmula utilizada para calcular el TE es:

$$TE = TN \times (1 + S)$$

Y en la tabla 6.4 se pueden observar los resultados

Tabla 6.4 Tiempo estándar por estación de trabajo

Estación	Tiempo normal	Suplementos	Tiempo estándar
1	82.53	0.15	94.91
2	51.51	0.15	59.24
3	59.38	0.15	68.29
4	58.33	0.15	67.08

Antes de calcular el número de operarios requeridos, es importante considerar las siguientes condiciones del proceso:

La producción diaria corresponde a 28 unidades, en este caso, cargas de camiones. El tiempo disponible por día es de 1260 minutos, considerando una jornada laboral de 8 horas por turno menos una hora destinada a la comida, lo que equivale a 7 horas efectivas de trabajo por turno.

La suma de los tiempos estándar de todas las operaciones involucradas en el proceso es de 289.51 minutos, lo cual representa el tiempo estándar total necesario para cumplir con la producción diaria.

Dado que el proceso aún se encuentra en una etapa de madurez temprana, y cuenta con personal mayormente nuevo y con poca experiencia, se propone considerar una eficiencia esperada del 93% para el sistema productivo. Esta eficiencia se aplicará al momento de realizar el balanceo de líneas de producción, empleando el método de asignación proporcional de operarios. Esta información se encuentra resumida en la tabla 7.4.

Tabla 7.4 Datos para el cálculo del balanceo

Datos	Valor
Producción	28
Tiempo Disponible	1260
Tiempo estándar	289.52
Eficiencia planeada	0.93

Para calcular el número adecuado de operarios requeridos en el proceso, se emplea el método de asignación proporcional de operarios, utilizando la siguiente fórmula:

$$NO = (TE \cdot IP) / E$$

Es importante destacar que, al aplicar este método, el resultado obtenido para el número de operarios debe **redondearse hacia arriba**, incluso si sólo presenta una fracción decimal. Esto se debe a que se trata de personas, y no es posible asignar fracciones de un operario. Por tanto, siempre se considera la siguiente unidad entera inmediata.

Una vez determinado el número de operarios, se procede a calcular el **tiempo de ciclo (TC)**, que representa el tiempo disponible por unidad en cada estación de trabajo para cumplir con la producción diaria. La fórmula es la siguiente:

$$TC = TE / NO$$

Este procedimiento arroja los resultados (Tabla 8.4).

Tabla 8.4 Tiempo ciclo y número de operarios

Estación	T.E (min)	N. O Calculado	N.O Reales	T.C
1	94.91	2.27	3	31.64
2	59.24	1.42	2	29.62
3	68.29	1.63	2	34.15
4	67.08	1.60	2	33.54

En este punto, se detecta que la estación cuello de botella es el número tres, ya que presenta el mayor tiempo ciclo. Por lo tanto, para comprobar si el balanceo resulta beneficioso, se debe calcular la eficiencia y las unidades por día, considerando los operarios distribuidos proporcionalmente en cada estación.

En este caso la fórmula para calcular los camiones por día es:

$$\text{Camiones por día} = ((\text{NO de la estación cuello de botella} * \text{tiempo disponible}) / \text{TE de la estación cuello de botella})$$

Dando como resultado lo siguiente:

- Camiones por día = $\frac{(2*1260)}{68.29} = 36.90$

Recordando que la carga normal era de 28 camiones por día, aplicando el balanceo se observa un incremento que representa 8.90 camiones más de lo normal, lo que evidencia un incremento en la productividad.

La eficiencia se calculó con la fórmula:

$$\text{Eficiencia} = (\text{minutos estándar por operación} / (\text{Minutos estándar asignados} * (\text{Número de operarios total})) * 100$$

- Eficiencia = $\frac{289.52}{(34.15 \times 9)} * 100 = 94.21$

Con el propósito de ofrecer una propuesta de mejora más efectiva y basándose en la información recopilada, se elaboró un diagrama de precedencias de cada estación, con el fin de representar de manera más clara la distribución del trabajo.

En las estaciones se identificaron las tareas a realizar las cuales están resumidas en la tabla 9.4 para la estación 1, 10.4 para estación 2, 11.4 para la estación 3 y 12.4 para la estación 4.

Según la lógica del diagrama, algunas actividades pueden ejecutarse de manera paralela, lo que contribuye a reducir los tiempos del proceso, por lo tanto, las redistribuciones implican que una actividad se puede hacer junto con otra y la representación de los diagramas está ejemplificado en las figuras 3.4 para la estación 1, 4.4 para la estación 2, 5.4 para la estación 3, 6.4 para la estación 4

ESTACIÓN 1

Tabla 9.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 1

Sub. Actividades	Elementos de trabajo	Tiempo
Revisar plan de carga	0	1.02
Sacar disponibles	1	1.48
Ubicar estibas	2	2.87
Dar instrucciones a grúa	3	18.33
tender material	4	11.17
Solicitar apoyo a calidad	5	0.29
revisar el material	6	2.67
Pintar el material	7	8.33

solicitar etiquetas faltantes	8	22.93
Colocar etiquetas	9	3.50
Segregar material	10	9.67
Colocar cambio de semáforo	11	0.74
Solicitar unidades	12	0.48

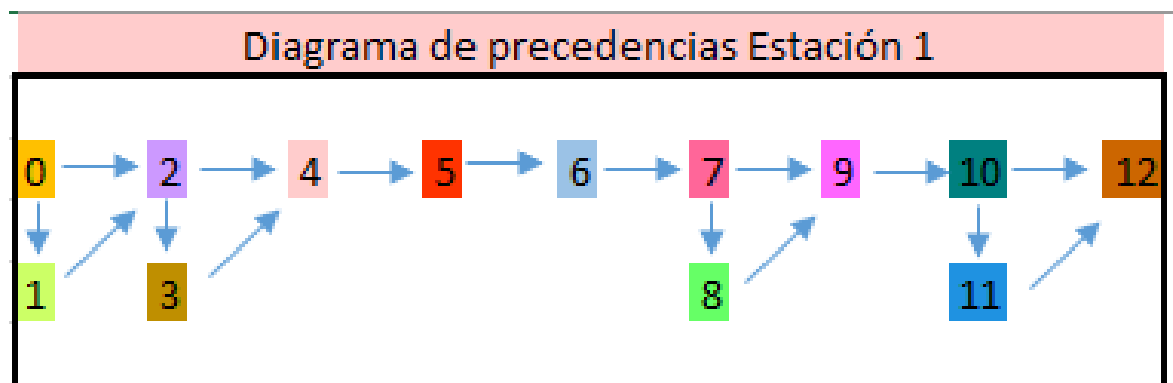


Figura 3.4 Distribución de actividades para la estación 1

ESTACIÓN 2

Tabla 10.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 2

Sub. Actividades	Elementos de trabajo	Tiempo
Levantar la pluma y alcoholimetría	0	0.40
Se posiciona la unidad en el cajón	1	0.65
Inspección del camión	2	4.02
Se perfila en la bahía	3	1.43
Bajar a entregar documentos	4	1.14
Registro	5	1.40
Regreso a la unidad	6	0.81
Esperar Turno	7	42.60
Avisar	8	3.08
Pesaje	9	2.14

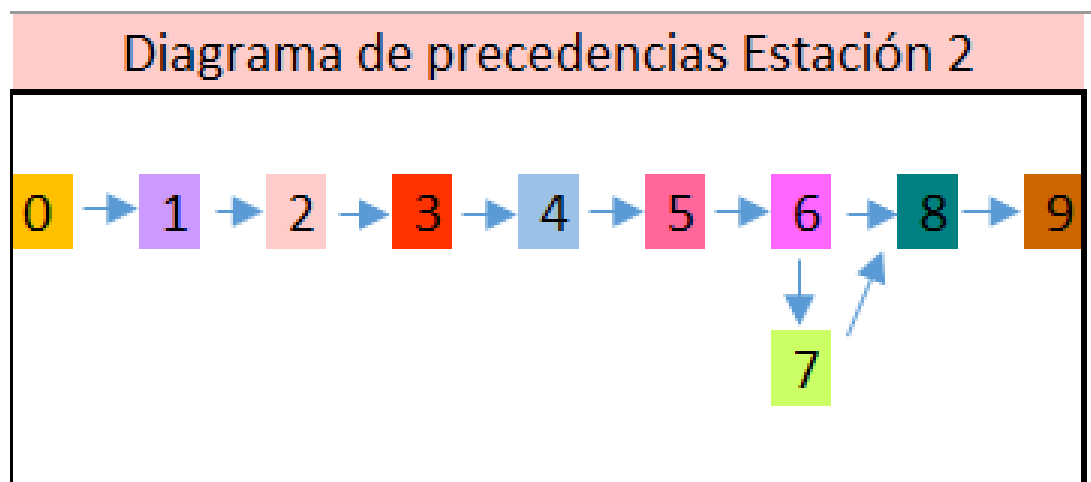


Figura 4.4 Distribución de actividades para la estación 2

ESTACIÓN 3

Tabla 11.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 3

Sub. Actividades	Elementos de trabajo	Tiempo
Movimientos en calle para cargar	0	6.37
Posiciona en rectángulo de carga	1	0.65
Se coloca en zona de espera	2	0.79
Colocar traba ruedas	3	0.26
Acomodar polines	4	0.97
Recibir orden	5	6.63
Carga	6	23.79
Llenar picking	7	14.54
Hacer check de inspección	8	5.41
Quitar traba ruedas	9	0.16
Arranca y avanza	10	0.85

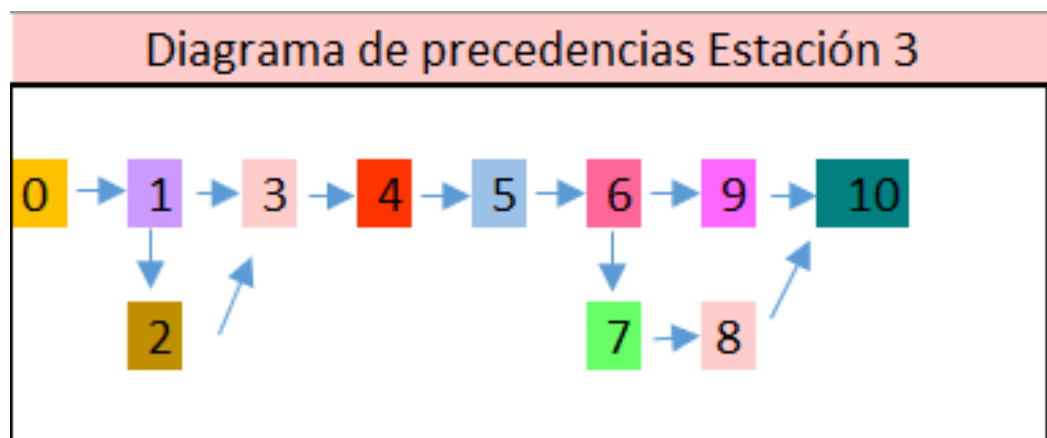


Figura 5.4 Distribución de actividades para la estación 3

ESTACIÓN 4

Tabla 12.4 Antecedente de diagrama de precedencias de la estación 4

Sub. Actividades	Elementos de trabajo	Tiempo
Pesaje	0	1.87
Posición en patio	1	0.15
Se posiciona en la Bahía de salida	2	2.93
se baja de la unidad	3	0.28
Regresa a la unidad	4	1.75
Procesa documentos y entrega	5	49.05
indicación de salida	6	2.01
salida		1.38

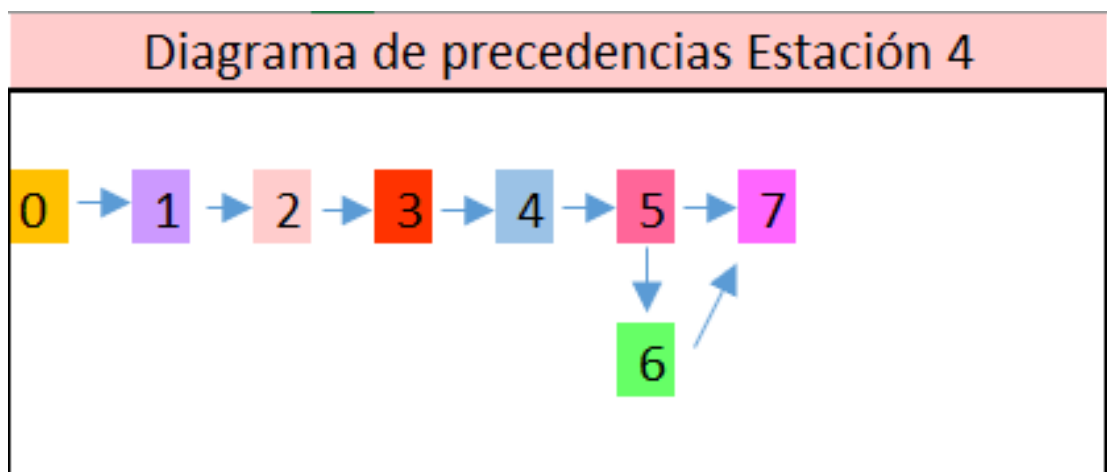


Figura 6.4 Distribución de actividades para la estación 4.

Conclusiones

Fueron analizados un total 42 actividades correspondientes al proceso del alcance de este estudio. En estas actividades, se observó una variabilidad que representa tiempos improductivos y cuellos de botella.

Para comprender el problema desde distintos enfoques, se utilizó el diagrama de causa efecto, en conjunto con la metodología 6M, en la que se observaron problemas relacionados a la **distribución del material, problemas con los equipos, mala comunicación, métodos muy generalizados**, por mencionar algunos. Esta metodología conduce de manera natural a la implementación de mejoras metodológicas. Para esto se empleó un estudio de tiempos, con el muestreo de los procesos, en donde mediante al sistema Westinghouse se determinaron los factores de desempeño de los operarios, derivado de esto se determinaron los tiempos normales por cada actividad y por estación, posteriormente con los suplementos que aplican en cada uno de los puestos de trabajo, se calcularon los tiempos estándar, con el conjunto de estos datos, se procedió a hacer el balanceo de línea, obteniendo que **la estación 3 es el cuello de botella** y esta estación se refiere a los movimientos de carga del material en el almacén, en este sentido se deduce que las actividades de preparación de material, ingreso y documentación, son procesos relativamente estables, y que el proceso de carga es el que marca el ritmo de trabajo por ser el cuello de botella. Con la propuesta de balanceo se obtiene **una reducción del tiempo de carga**, pues al inicio se tenía un **tiempo total de 289.5162**, posteriormente al aplicar las técnicas de ingeniería de métodos, explicadas a lo largo del presente trabajo, se observa una reducción de 152.93 minutos, dando como

resultado un **tiempo total de 136.58 minutos** por tractocamión. Tomando en cuenta este nuevo tiempo ciclo se hace el cálculo analítico de cuantas **unidades por día se lograrían cargar, dando un resultado de 36.90** contra las **28 unidades que se cargan actualmente**, es decir **8.90 unidades** más que el proceso actual. A simple vista podría parecer poco, pero tomando en cuenta el costo del producto, la venta de ocho camiones más representa una cantidad considerable de ganancia por día.

Cabe destacar que **se planteó obtener una eficiencia del 93%**, por lo que los resultados obtenidos superan la meta establecida, confirmando que el balanceo de línea y la asignación proporcional de operarios fue efectivo en un **1.21%**, dando una eficiencia total de **94.21%**

Como parte complementaria se aplicó el método heurístico con un diagrama de precedencias por cada estación de trabajo, para ejemplificar de mejor manera como podría llevarse a cabo la distribución de trabajo de los operadores necesarios para cada etapa, y que se obtuvo en el balanceo de líneas.

En conclusión, se demuestra que la implementación de técnicas de la ingeniería de métodos, reduce significativamente el tiempo de carga de tractocamiones con palanquillas de acero, mejorando significativamente la eficiencia operativa del área logística.

Referencias Bibliográficas

- Altamirano Abad, A. A. P., y Espinoza Huapaya, E. H. E. (2009). GUÍA PARA LA PRESENTACIÓN DE GRÁFICOS ESTADÍSTICOS (1.a ed., Vol. 1). Talleres de la Oficina Técnica de Administración (OTA) del Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/metodologias/libro.pdf>
- Araoz Baltazar, I., Guevara Ramírez, I., Medina, O. D. A., Cruz Manzo, J., & Martínez Zárate, I. (2024). Modelos y Métodos de Solución en el Balanceo de Líneas de Producción Aplicados en las Organizaciones: Análisis de Literatura Bibliométrica Enfocado al Método de Asignación. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(6), 3873-3907. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15132
- Ballod-Ronald H, Enrique-Quintanar D ed. (2004). LOGÍSTICA, ADMINISTRACIÓN DE LA CADENA DE SUMINISTROS (5° ed.) [Wordpress.com]. <https://share.google/5a86PQA08cFyKMu0Z>.
- Bowersox-Donald. J, Closs-David. J, y Cooper M. Bixby. (2016). Administración y logística en la cadena de suministros (2.a ed.) [Scalaped]. McGraw-Hill Interamericana. <https://share.google/nWwsKPNjiKK6h62Pn>.
- Cecilia-Cuevas, C. A., y Cadengo, C. M. (2023, 15 mayo). Clasificación oficial de carreteras en México. Gobierno de México. <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=523&IdBoletin=188>
- DAFANG CRANE (s. f.). Double Girder Overhead Cranes (Recuperado el 18 de junio de 2025), de <https://www.hndfcrane.com/es/double-girder-overhead-cranes/>
- García-Criollo, R. (2005). Estudio del trabajo: Ingeniería de métodos y medición del trabajo (2.ª ed.). McGraw-Hill education, Limusa. (Original publicado en 2001).
- Del Sistema de Información Dirección General de Crónica y Gaceta Parlamentaria Cámara de Diputados, D. (2015, 26 de mayo). Declaratoria de publicidad de dictámenes, número 4242-II, Dirección General de Crónica y Gaceta Parlamentaria, Cámara de Diputados. https://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/62/2015/mar/20150326-II.html?utm_source=chatgpt.com#DecDictamenes
- Garza-Reyes, J. A., Al-Balushi, M., Antony, J., & Kumar, V. (2016). A lean six sigma framework for the reduction of ship loading commercial time in the iron ore pelletising industry. *Production Planning & Control*, 27(13), 1092-1111. <https://doi.org/10.1080/09537287.2016.1185188>
- H. Bo, S. Chen, D. Xu, X. Liu, "Study on Manufacturing Resource Data Management Model for Steel and Iron Enterprise", *Applied Mechanics and*

Harkhoe A. (2025, 8 de Octubre). 6M, Dmaic.com. Dmaic.com.
<https://www.dmaic.com/faq/6m/>

Li, K., & Tian, H. (2015). Integrated Optimization of Finished Product Logistics in Iron and Steel Industry Using a Multi-objective Variable Neighborhood Search. *ISIJ International*, 55(9), 1932-1941. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.isijint-2015-007>

Materials, Vol. 121-126, p. 1473, 2011 DOI:
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.121-126.1473>

Martin-Christopher, Pearson UK ed, (2016). Logistics and Supply Chain Management: Logistics & Supply Chain Management (5° ed.) [Google libros].
https://books.google.com.mx/books/about/Logistics_and_Supply_Chain_Management.html?id=NlfQCwAAQBAJ&redir_esc=y.

Martínez-Rodríguez, J., Flores-Sánchez, A., Gómez-Zepeda, P. I., Linares-Gil, M. V., & Portillo-Reyes, M. (2024). Optimización de procesos en una línea de producción en una empresa de Ciudad Juárez. *Revista NeyArt*, 2(2), 64–78.
<https://doi.org/10.61273/neyart.v2i2.50>

Mohd Yusoof, M.Y, Nik Mohamed, N.M.Z, Nelfiyanti y Md Yasir, ASH (2023). Evaluación del factor humano y del método para la mejora de la línea de ensamblaje en la fabricación de automóviles. *Journal of Modern Manufacturing Systems and Technology*, 7 (1), 7-14. <https://doi.org/10.15282/jmmst.v7i1.9017>

Niebel, B. W., Freivalds, A, , Cordero-Pedraza C.R trad., Murrieta-Murrieta, trad. (2020). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo* (12ª ed.), McGraw-Hill Education.I (Original traducido en 2009).

Peña Orozco, D. L. (2016). Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento. *Scientia Et Technica*, 21(3), 239–247.
<https://doi.org/10.22517/23447214.11251>

Peña, W. F. (2019). Optimización de procesos de producción aplicando metodología de balanceo de línea y AMEF para incrementar la productividad en la industria manufacturera (Trabajo de investigación). Repositorio de la Universidad Privada del Norte. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11537/23726>

Pham, C.V., Tra, T.T, Vu, H.M.C, Tu, H.C y Vo, TC (2023). Aumento de la eficiencia de la línea mediante el uso del equilibrio de línea en una empresa de fabricación de acero. *Tập San Khoa học Và kỹ thuật trường Đại học Bình Dương*, 6 (2).
<https://doi.org/10.56097/binhduonguniversityjournalofscienceandtechnology.v6i2.158>

Pranaditya, G. B., & Immawan, T. (2025). Integration of Lean Warehousing and Line Balancing Approaches in Optimizing Logistics Performance to Reduce Waste and Increase Efficiency of Inbound-Outbound Coil Processes in HRC Warehouse System. International Journal of Multidisciplinary Research and Literature, 4(3), 430-449. <https://doi.org/10.53067/ijomral.v4i3.322>

¿QUÉ ES BALANCEO DE LÍNEAS? (2018). Ingeniia. https://ingeniia.com/que-es-balanceo-de-lineas/?utm_source=chatgpt.com

Ran, L., & Liu, Y. (2023). Balancing Optimization of Motor Production Line Based on Industrial Engineering Approach. Chengdu, People's Republic Of China Copyright, EIA, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.4108/eai.24-2-2023.2330657>

Zhang, X. (2024). Optimización del balance de la línea de producción mediante el método IE. Frontiers in Business, Economics and Management, 15 (1), 293-297. <https://doi.org/10.54097/fx3dx176>