

Centro de Enseñanza Técnica y Superior

Con reconocimiento de validez oficial de estudios del Gobierno del Estado de Baja California según Acuerdo de fecha 10 de octubre de 1983



Diseño y análisis de rutas de abastecimiento de materia prima para prevenir desabastos

Tesis

para cubrir parcialmente los requisitos necesarios para obtener el grado de Maestro en Ingeniería e Innovación

Presenta:

Hugo Cesar Guerrero Soto

Director:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda.
Centro de Enseñanza Técnica y Superior (CETYS Universidad)

Tijuana, Baja California, México
17 de marzo de 2020

**Diseño y análisis de rutas de abastecimiento de materia prima para
prevenir desabastos**

Tesis/Proyecto de aplicación que para obtener el grado de Maestro en
Ingeniería e Innovación

Presenta:

Hugo Cesar Guerrero Soto

y aprobada por el siguiente Comité

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

Dr. Ricardo Martínez Soto
Coordinador del Posgrado MII

Resumen de la tesis que presenta **Hugo Cesar Guerrero Soto** como requisito parcial para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería e Innovación.

Diseño y análisis de rutas de abastecimiento de materia prima para prevenir desabastos

Resumen aprobado por:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

El diseño de cinco rutas de abastecimiento de materia prima desde Almacén hasta las células de manufactura de la empresa Schneider Electric fueron analizados y rediseñados aplicando la técnica SMED y la herramienta de planeación para cada parte con el objetivo de reducir el tiempo total de Ruta de 76.31 a 93.04 minutos inicial hasta 22.06 a 29.73 minutos con un intervalo de confianza del 95%.

Un Análisis ANOVA de los recorridos iniciales durante 30 días previos y los rediseñados durante 30 días posteriores mostró una diferencia estadística entre 66.09% y 73.80% en la reducción del tiempo de ruta.

Palabras Claves: SMED, Ruta, gestión de abastecimiento, ANOVA.

Abstract of the thesis presented by **Hugo Cesar Guerrero Soto** as a partial requirement to obtain the Master degree in Engineering and Innovation with orientation in Systems and Industrial Process.

Design and analysis of raw material supply routes to prevent stockouts

Abstract approved by:

Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda

The design of five raw material supply routes from the Warehouse to the manufacturing cells of the Schneider Electric company were analyzed and redesigned applying the SMED technique and the planning tool for every part with the aim of reducing the total route time from 76.31 at 93.04 minutes initial until 22.06 at 29.73 minutes with a 95% confidence interval.

An ANOVA analysis of the initial routes for the previous 30 days and the redesigned ones for the following 30 days showed a statistical difference between 66.09% and 73.80% in the reduction of the route time.

Keywords: SMED, Route, supply management, ANOVA.

Dedicatorias

A mi esposa Lupita Franco y mis hijos Emiliano y Sebastián, con mucho amor y cariño les dedico todo mi esfuerzo y trabajo para la realización de esta tesis.

Los amo,

Hugo Cesar Guerrero Soto.

Agradecimientos

A Conacyt, Cety's Universidad y Schneider Electric, por brindarme la oportunidad y el apoyo económico para continuar con mi preparación profesional.

Al Dr. Alejandro Guzmán Ocegueda, por sembrar la semilla de la búsqueda de la perfección en todo lo que hagamos y compartir sus conocimientos y pasión por lo que hace.

Gracias infinitas.

Tabla de contenido

	Página
Resumen español	iii
Resumen inglés	iv
Dedicatorias	v
Agradecimientos	vi
Lista de figuras	viii
Lista de tablas	x
Capítulo 1. Introducción	
1.1 Generalidades.....	1
Capítulo 2. Antecedentes	
2.1 Línea base.....	2
2.2 Estado del arte.....	3
Capítulo 3. Definición del problema	
3.1 Justificación.....	14
3.2 Pregunta de investigación.....	14
3.3 Hipótesis.....	14
3.4 Objetivos.....	144
Capítulo 4. Metodología	
4.1 Diagnóstico inicial.....	16
4.2 Plan para cada parte.....	16
4.3 Definición de señal de abastecimiento.....	16
4.4 Diseño de ruta de abastecimiento.....	16
4.5 Medición de tiempo de ciclo.....	17
4.6 Validación de resultados.....	17
Capítulo 5. Resultados	18
Capítulo 6. Discusión de Resultados	43
Capítulo 7. Conclusiones	48
Lista de referencias bibliográficas	49

Lista de figuras

Figura		Página
1	Eventos de desabastos de material de enero 2019 a febrero 2020.....	2
2	Tiempos promedios de las rutas actuales.....	3
3	Mapa optimizado de la cadena de valor de la empresa.....	5
4	Reducción de capacidad de contenedores.....	5
5	Implementación de Supermercado (Zonas de Carga y Descarga).....	6
6	Diseño, calculo e implementación de rutas de vehículos.....	6
7	Modelo para Estimar Tiempos de Entrega (METDE).....	11
8	Porcentajes de contribución de las principales barreras de enero 2019 a febrero 2020.....	13
9	Grafica de tiempos experimentales de Ruta GFI's.....	15
10	Mapa de cadena de valor VSM Ruta 1.....	18
11	Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 1 – Condición inicial.....	18
12	Señal de abastecimiento en todas las rutas (Contenedor vacío en posición invertida).....	19
13	Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 1.....	20
14	Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 1 (30 días posteriores al rediseño de ruta).....	22
15	Mapa de cadena de valor VSM Ruta 2.....	23
16	Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 2 – Condición inicial.....	23
17	Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 2.....	24
18	Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 2 (30 días posteriores al rediseño de ruta).....	27
19	Mapa de cadena de valor VSM Ruta 3.....	28
20	Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 3 – Condición inicial.....	28

21	Diagrama Espaguete del recorrido de Ruta 3.....	29
22	Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 3 (30 días posteriores al rediseño de ruta).....	32
23	Mapa de cadena de valor VSM Ruta 3.....	33
24	Diagrama Espaguete del recorrido Ruta 4 – Condición inicial.....	33
25	Diagrama Espaguete del recorrido de Ruta 4.....	34
26	Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 4 (30 días posteriores al rediseño de ruta).....	37
27	Mapa de cadena de valor VSM Ruta 5.....	38
28	Diagrama Espaguete del recorrido Ruta 5 – Condición inicial.....	38
29	Diagrama Espaguete del recorrido de Ruta 5.....	39
30	Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 5 (30 días posteriores al rediseño de ruta).....	42
31	ANOVA comparación de medias tiempos de recorrido Ruta 1.....	44
32	Comparación de medias de tiempos de recorrido Ruta 1.....	44
33	Intervalos de confianza de tiempos de recorrido antes y después.....	45

Lista de tablas

Tabla		Página
1	Ejemplo de tabla de datos PFEP.....	7
2	Medición de Tiempos desde CEDI a Destinos.....	10
3	Ordenamiento de las entregas por Rutas.....	10
4	Tabla de tiempos experimentales de Ruta GFI's.....	15
5	Tabla de datos de PFEP Ruta 1.....	19
6	Distancias y tiempos de recorrido Ruta 1.....	20
7	Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 1.....	21
8	Tabla de datos de PFEP Ruta 2.....	24
9	Distancias y tiempos de recorrido Ruta 2.....	25
10	Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 2.....	26
11	Tabla de datos de PFEP Ruta 3.....	29
12	Distancias y tiempos de recorrido Ruta 3.....	30
13	Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 3.....	31
14	Tabla de datos de PFEP Ruta 4.....	34
15	Distancias y tiempos de recorrido Ruta 4.....	35
16	Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 4.....	36
17	Tabla de datos de PFEP Ruta 5.....	39
18	Distancias y tiempos de recorrido Ruta 5.....	40
19	Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 5.....	41
20	Tiempos de recorrido antes y después de cada una de las Rutas.....	43
21	Sumario de tiempos de recorrido antes y después de todas las rutas con un Intervalo de confianza del 95%.....	45

22	Tiempos de ciclo promedios antes y después de cada una de la Rutas.....	46
23	Distancias recorridas antes y después de cada una de la Rutas.....	46

Capítulo 1. Introducción

1.1 Generalidades.

Un sistema productivo para asegurar su funcionamiento necesita obtener una serie de insumos y materiales para realizar los procesos de transformación. La función de abastecimiento es la encargada de suministrar estos recursos y adquiere una importancia fundamental en el desempeño de una organización, condicionando los costos productivos y la capacidad de respuesta al consumidor.

La presente investigación está relacionada con la importancia de la gestión de abastecimiento de materiales. En este caso particular, analizaremos la gestión interna del suministro de materias primas a las células de manufactura en la empresa Schneider Electric cuyo ramo es la producción de interruptores eléctricos y termomagnéticos. La metodología propuesta está basada en una investigación documental y de campo donde fue identificada la técnica SMED en combinación con el uso de herramientas de un sistema de manejo de materiales esbelto. Durante la investigación de campo uno de los obstáculos fue la resistencia al cambio de los surtidores, ellos pensaban sobre la medición de tiempos de recorrido implicaría un incremento en las actividades diarias del proceso de reabastecimiento. El interés al ejecutar esta investigación es minimizar los tiempos de suministro y los desabastos actuales presentados en las diferentes células de manufactura, así como determinar el diseño de ruta adecuado realizando comparaciones entre el método tradicional y el nuevo método propuesto a través de un análisis de varianza (ANOVA) apoyándose en el uso del software Minitab.

El análisis de varianza identificó los tiempos de ciclo promedio de las cinco rutas de surtimiento con un intervalo de confianza del 95% entre 22.06 a 29.73 minutos, demostrando un tiempo menor a 45 minutos.

El objetivo de reducción del 30% fue cumplido con una confianza del 95% al lograr un porcentaje de reducción mínimo del 65.05% y un máximo del 73.56%.

Una investigación futura debería identificar las tecnologías para minimizar los tiempos de carga y descarga durante los procesos de abastecimiento de materiales.

Capítulo 2. Antecedentes

Schneider Electric es una compañía del ramo electrónico y su especialidad es la manufactura de interruptores eléctricos y termomagnéticos, maneja una alta gama de productos con más de 1,000 números de parte requeridos para abastecer a los diferentes procesos de producción.

La compañía ha experimentado problemas de desabasto de materiales en las diferentes células de manufactura. En la operación normal, son generados movimientos excesivos de material entre las diferentes áreas, el proceso de surtimiento de componentes no está estandarizado, originando retrasos en las células de ensamble, generando además tiempos muertos por falta de material y por ende rezagos en el programa de producción, ocasionando bajas eficiencias y el pago recurrente de tiempo extra. Todo lo anterior provoca el incremento de los costos de operación.

2.1 Línea base

La logística para surtir las estaciones de trabajo está compuesta por cinco rutas de abastecimiento a través de un plan de surtimiento. En la Figura 1 son mostradas las áreas con la mayor cantidad de desabastos de enero 2019 a febrero 2020. En Figura 2 son presentados los tiempos promedio de cada una de las rutas actuales: Ruta 1 87.94 minutos, Ruta 2 91.70 minutos, Ruta 3 87.96 minutos, Ruta 4 76.31 minutos, Ruta 5 77.95 minutos y serán considerados como línea base para la ejecución de esta investigación.

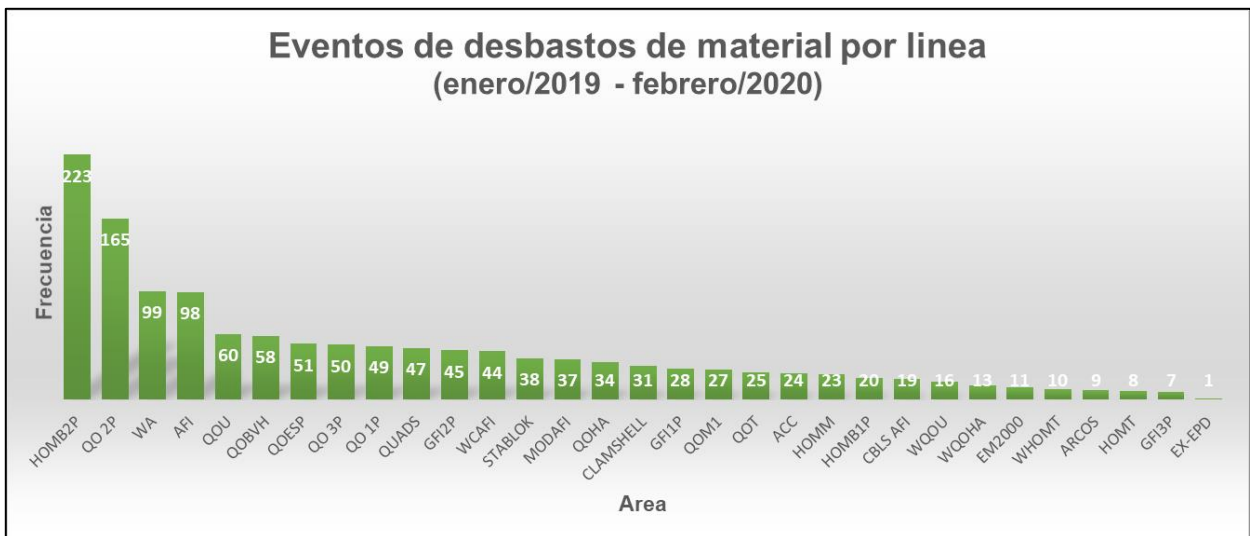


Figura 1: Eventos de desabastos de material de enero 2019 a febrero 2020. Fuente: Elaboración propia.

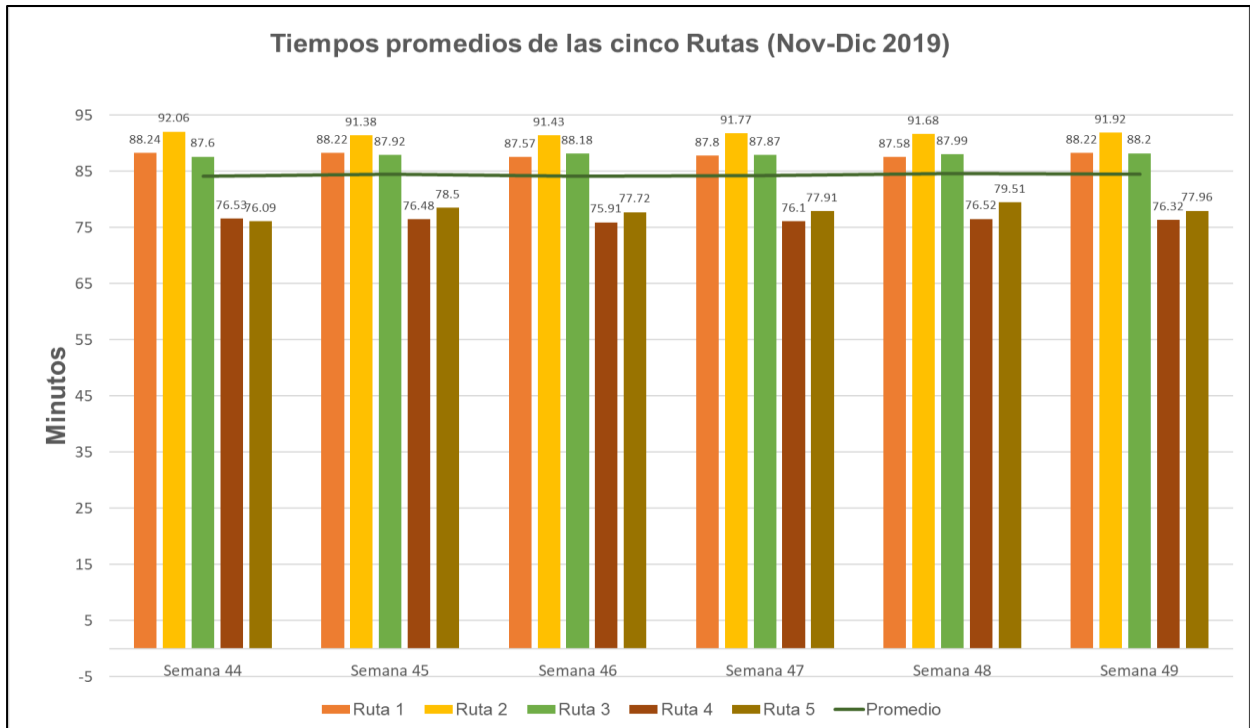


Figura 2: Tiempos promedios de las rutas actuales. Fuente: Elaboración propia.

2.2 Estado del arte

Una de las tecnologías implementadas para optimizar el proceso de reabastecimiento de materiales en los procesos industriales, es el uso de los AGV (Auto Guide Vehicle – Vehículos de guiado autónomo). De acuerdo con el artículo Vehículos de guiado autónomo (AGV) en aplicaciones industriales: Una revisión (Madrigal Moreno, 2019) hace una recopilación de diferentes autores donde son analizados los diferentes aspectos a considerar antes de implementar este tipo de tecnología, como por ejemplo: el número de vehículos comprendidos en el sistema, diseño de trayectorias, adaptabilidad al entorno de trabajo, tipo y cantidad de material a transportar teniendo en cuenta el cómo, cuándo y dónde realizará la carga y descarga de este, manejo de las baterías de los vehículos y cuáles serán los sistemas de seguridad preventivos contra posibles colisiones ayudando a salvaguardar la integridad del equipo y por ende a él o los usuarios con quienes va a interactuar.

El diseño de las instalaciones es considerado como uno de los aspectos principales a tratar para un funcionamiento eficiente y económico de un sistema automatizado de vehículos guiados. Si no es diseñada correctamente la infraestructura desde un inicio

como la distribución de la maquinaria, rutas de acceso, iluminación del recinto, entre otros, puede impactar considerablemente en el rendimiento del flujo de producción. Siguiendo con la línea anterior, ciertos autores identifican el diseño de las instalaciones industriales como uno de los principales cuellos de botella en el tiempo de implementación de este tipo de vehículos (Beinschob P, 2017), tal es el caso de la planta Schneider Electric, su crecimiento ha sido rápido y no ha permitido la preparación de su infraestructura como nivelación de pisos, alineación de pasillos, preparación de rampas, etc., esto ha dificultado la implementación de AGV para el abastecimiento de materiales a lo largo de sus cinco edificios constituidos.

El libro “Vehículos Inteligentes y la transportación de materiales en el sector manufacturero” (Bandyopadhyay, 2017) menciona los diferentes tipos de vehículos inteligentes (AGV), las guías y aspectos a considerar en la selección de los equipos de manejo de materiales como: Tipo de material a transportar, la tasa del flujo de material, la programación y rutas de abastecimiento, distribución de la planta, etc.

La investigación relacionada con técnicas de abastecimiento de materias primas a líneas de producción es el trabajo de investigación de (Jimenez-Garcia, 2014), quien realizó el análisis de la “Reducción del desperdicio «espera» en líneas de ensamble mediante el uso de heurísticas y escenarios de simulación”. En este trabajo es propuesta una metodología basada en clústeres, simulación y una heurística de asignación con la finalidad de identificar carretilleros encargados de entregar materiales desde los distintos almacenes hacia las células de producción y con esto reducir los tiempos de espera por falta de suministro en plantas manufactureras funcionando bajo la filosofía de manufactura esbelta. Fueron comparados varios clústeres obtenidos mediante métodos empíricos, el método de análisis clúster jerárquico y el método húngaro.

La implementación y validación de la metodología propuesta utilizó un modelo de simulación, representativo de un sistema de fabricación de transmisiones homocinéticas para vehículos, el cual consta de almacenes, células de producción y carretilleros encargados del suministro materiales. En el modelo de simulación fue puesto a prueba el funcionamiento de cada uno de los clústeres y fueron calculados los porcentajes de espera por falta de suministro en cada célula.

La Investigación realizada por (Carranza, 2015), denominada “Propuesta de Mejora a Sistema de Surtimiento de Materiales en líneas de Ensamble, mediante la aplicación de herramientas de manufactura esbelta” expone un modelo desarrollado para explicar la metodología de surtimiento de materiales de almacenes a células de producción. El Modelo inicia tomando herramientas del sistema de Producción Toyota y fue aplicado en una planta automotriz de ensamble, montaje y armado.

Los pasos para seguir la ejecución del modelo descrito fueron los siguientes:

1) Diagnóstico-Análisis: Elaboración de mapa de la cadena de valor (VSM). Ver Figura 3.

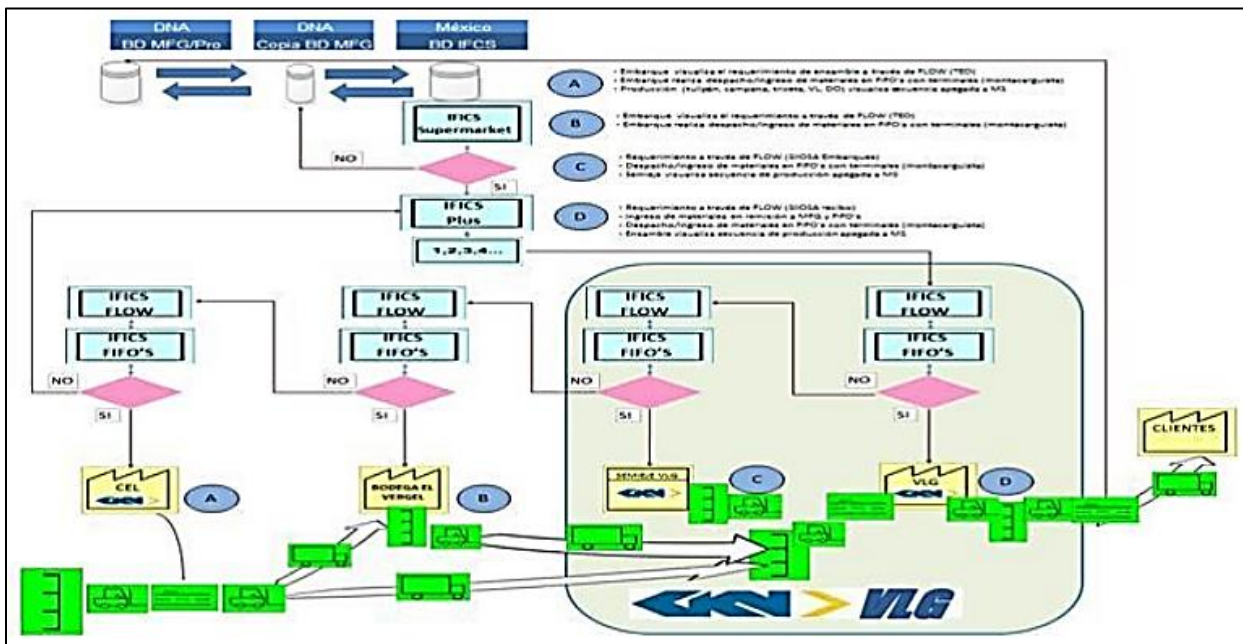


Figura. 3: Mapa optimizado de la cadena de valor de la empresa. Fuente: (Carranza, 2015)

2) Trabajar con normas de empaque y proveedores. Ver Figura 4.

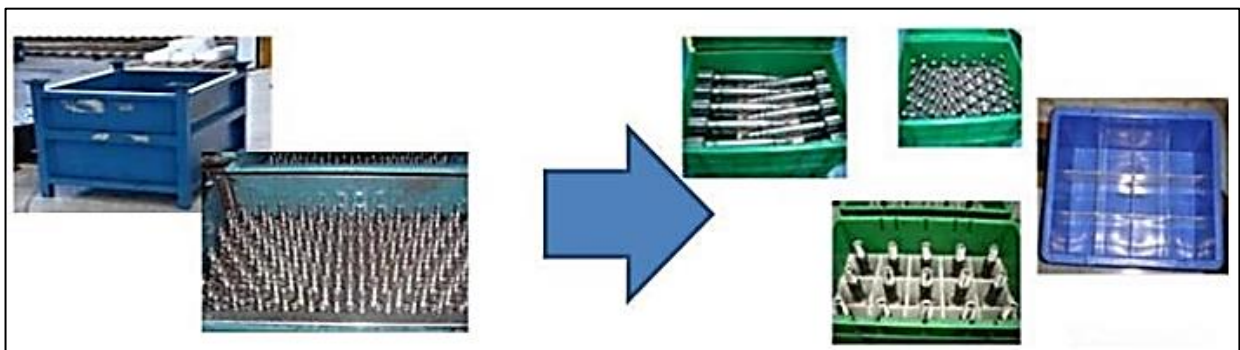


Figura 4: Reducción de capacidad de contenedores. Fuente: (Carranza, 2015)

3) Implementar supermercado (FIFO). Ver Figura 5.



Figura 5: Implementación de Supermercado (Zonas de carga y descarga). Fuente: (Carranza, 2015).

4) Definir rutas de Surtimiento – Entrega. Ver Figura 6.

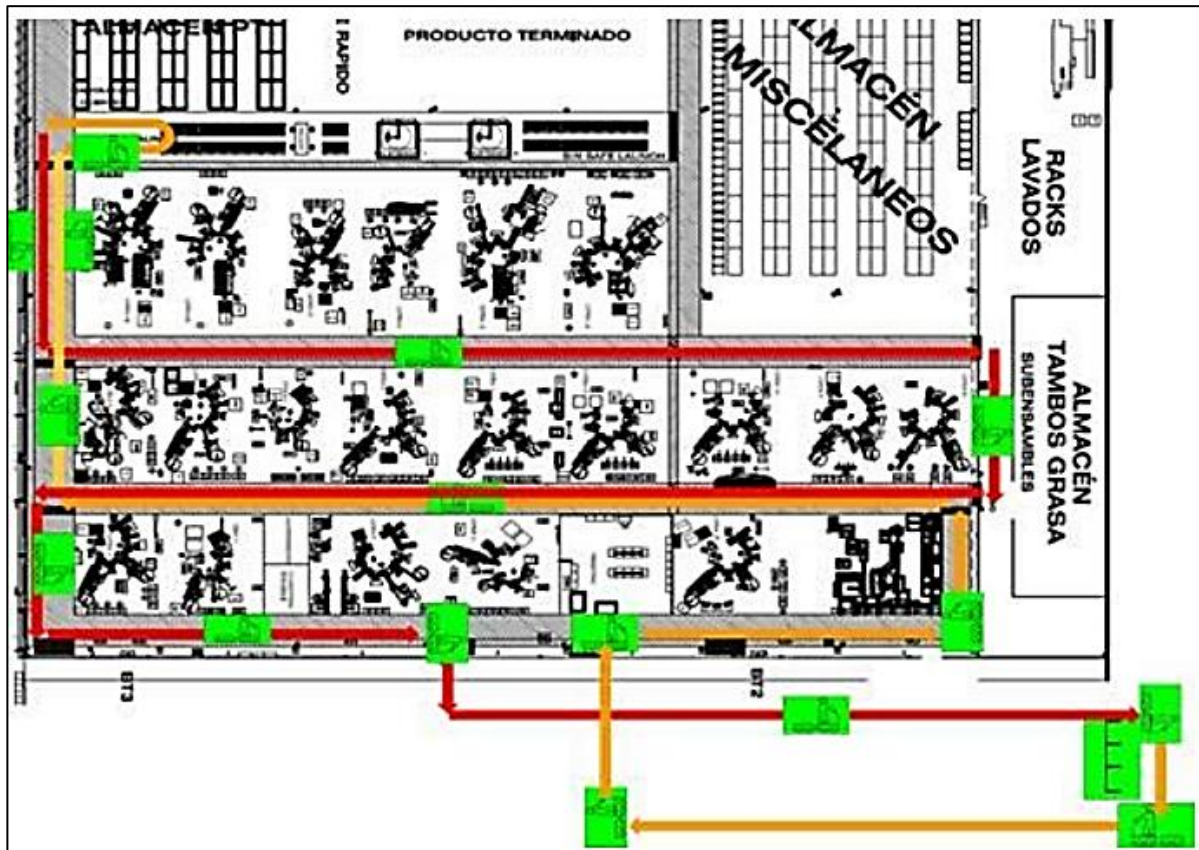


Figura 6: Diseño, calculo e implementación de rutas de vehículos. Fuente: (Carranza, 2015).

5) Definir señales de jalón y adecuar líneas.

6) Monitoreo - Auditorías.

7) Kaizen o mejora del sistema.

La investigación realizada en la compañía estadounidense ABC Refrigerator (Liu, 2015), expone la implementación del sistema “Manejo de materiales esbelto” para mejorar el proceso existente de abastecimiento de materiales. La implementación consistió en la aplicación de cinco pasos esenciales descritos a continuación:

1. Desarrollo de plan para cada parte (PFEP).

El PFEP es una tabla de datos donde es definida y sostenida información sobre cada número de parte en el proceso: De donde viene, como es entregado, cuando es entregado y con qué frecuencia, como debe almacenarse y empaquetarse, cuál es el punto de uso, cuando reabastecer. Ver ejemplo en Tabla 1.

Tabla 1: Ejemplo de tabla de datos PFEP. Fuente: (Tim Conrad, 2011).

PFEP													
6116103 Owner: Jim Black													
Part #	Description	Daily Usage	Usage Location	Storage Location	Order Frequency	Supplier	Supplier City	Supplier State	Supplier Country	Container Type	Container Weight (lbs.)	1 Part Weight (lbs.)	Total Package Weight (lbs.)
13598	Ferrule	690	Cell 14	Market	Daily	The Cabby	Dayton	OH	US	EXP.	5	0.05	10
13224	Connector	2760	Cell 14	Market	2x Week	S&E Corp.	Sadieville	KY	US	RET.	1	0.2	7
13997	T Hose	690	Cell 14	Market	Daily	Molding Ideas	Stamping Ground	KY	US	EXP.	5	1	105
13448	Valve	690	Cell 14	Market	1x Week	Comfy Beds	Cincinnati	OH	US	EXP.	3	2	33
13215	Tube	1380	Cell 14	Market	3x Week	Pipes R Us	Owenton	KY	US	EXP.	1	1	101
13456	Hose	690	Cell 14	Market	1x Week	Sun Mfg.	Anderson	IN	US	EXP.	1	0.001	5

Part #	Length (in.)	Width (in.)	Height (in.)	Usage Per Assembly	Hourly Usage	Standard Container Qty.	Containers Used Per Hour	Shipment Size	Carrier	Transit Time	# of Cards in Loop	Supplier Performance
13598	12	6	6	1	90	100	0.9	5 Days	Vitran	3 Days	3	2 Excellent = 1
13224	4	4	4	4	360	30	12.0	5 Days	UPS	2 Days	36	3 Good = 2
13997	6	12	6	1	90	100	0.9	20 Days	USF	2 Days	3	1 Fair = 3
13448	24	12	12	1	90	15	6.0	20 Days	Vitran	3 Days	18	1 Bad = 4
13215	12	12	6	2	180	100	1.8	5 Days	UPS	2 Days	5	5 Really Bad = 5
13456	6	6	6	1	90	30	3.0	5 Days	Ryder	1 Day	9	1

La tabla de datos contiene información de cada parte indicando lo siguiente:

- Número de parte.
- Uso por hora.
- Uso diario promedio.
- Ubicación de almacenamiento y uso.
- Tamaño de envío.
- Ubicación del proveedor.
- Peso de la caja.
- Peso parcial.
- Dimensiones de caja y parte.
- Cantidad de piezas necesarias.
- Transportista.
- Tiempo de tránsito.

2. Construir los mercados de partes compradas.

Los mercados de partes implican establecer una ubicación central de almacenamiento para las piezas compradas en lugar de tenerlas dispersas por todas sus instalaciones. La ubicación de almacenamiento debe estar cerca del área de recibos para permitir una transferencia más rápida de las piezas a los bastidores de almacenamiento. Las consideraciones para las partes compradas incluyen niveles de inventario para cada parte, establecer los niveles máximos y mínimos, espacio para tarimas y bastidores. También debe establecer reglas para operar el mercado, procedimientos para reaccionar a los envíos excesivos de los proveedores, así como cuando es alcanzado el nivel mínimo de inventario y un método para cargar y descargar piezas a fin de mantener una secuencia FIFO (primeras entradas – primeras salidas).

3. Diseñar las rutas de Entrega.

El diseño consiste en identificar los pasillos de entrega, seleccionar un método de transporte, determinar las paradas y puntos de entrega de la ruta, crear bastidores de gravedad del tamaño correcto en los puntos de entrega. Los bastidores de gravedad permiten a los surtidores de material deslizar nuevos contenedores de piezas hacia el punto de uso de los operarios sin crear interrupciones dentro de las células de manufactura.

4. Implementar señales de jalón.

Las señales, como la conocida tarjeta Kanban (Tim Conrad, 2011) o un contenedor vacío, controlan los tiempos precisos y las cantidades de piezas entregadas a las celdas. El primer paso es determinar con qué frecuencia entregar material a las celdas y si la ruta está "acoplada" o "desacoplada". En una ruta acoplada, el conductor del remolcador carga los carros en el mercado, los lleva a las celdas y los entrega al punto de uso. En una ruta desacoplada, el trabajo es dividido entre un encargado de cargar piezas del mercado y el conductor encargado de repartirlas. Las rutas desacopladas requieren dos juegos de carros, pero mejoran la utilización de mano de obra, ocasionado el alargamiento de las rutas y el incremento del número de carros. El tipo de ruta afecta la cantidad de Kanban necesaria para cada parte. Las rutas acopladas requieren Kanban igual a tres veces la frecuencia de entrega. Las rutas desacopladas necesitan señales

equivalentes a cuatro veces la frecuencia de entrega. La fórmula para calcular el número total de Kanban para una ruta desacoplada es observada de la siguiente manera:

(Uso por hora x 4 x frecuencia de ruta) Cantidad de contenedor estándar (Tim Conrad, 2011).

Ejemplo: Para la Parte # 12345, el uso es de 90 por hora, hay un ciclo de la ruta y un contenedor contiene 30 partes. (Siempre redondee al siguiente número entero).

$$(90 \times 4 \times 1) / 30 = 12 \text{ Kanban}$$

El número de Kanban necesarios depende del tipo de ruta utilizada.

5. Mejora continua del sistema.

El sistema deberá monitorearlo diariamente y realizar auditorías periódicas para verificar el funcionamiento correcto. El gerente de control de producción debe pasar al menos una hora todos los días para observar el comportamiento del mercado de piezas compradas y las rutas. El personal responsable del manejo de materiales debe reunirse regularmente, al menos una vez al día, para informar los problemas del sistema y recomendar soluciones.

La medición de rutas de abastecimiento es un aspecto importante mencionado en el artículo “Medición de tiempos en un sistema de distribución bajo un estudio de métodos y tiempos” (Gustavo R. Henríquez-Fuentes, 2018), donde es expuesto como objetivo el diseño de una herramienta para medir tiempos en el sistema de distribución de una comercializadora.

La investigación fue desarrollada por espacio de 15 días permitiendo identificar prácticas inadecuadas en las rutas de distribución, además fueron registrados los tiempos del recorrido entre el punto Y los diferentes destinos tomando como origen de las rutas el punto Y (CEDI o empresa), ver Tabla 2.

Tabla 2: Medición de Tiempos desde CEDI a Destinos. Fuente: (Gustavo R. Henríquez-Fuentes, 2018).

Origen /Destino	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	Minutos
Y-A	11	12	9			11		10		9	8	10			9	9,89
Y-B				45			48						53			48,67
Y-C	68	65	69						62			67		63		65,67
Y-D					90			88	89		77			83		85,40
Y-E						95	98			100			105		106	100,80
A-B			43		42									37		40,67
A-C						54		59		51			58			55,50
A-D	74		79						78	68		75			75	74,83
A-E		89			88						91					89,33
B-C			13										14	17	15	14,75
B-D	34			36												35,00
B-E	50						49									49,50
C-D		22				19						18				19,67
C-E							31	33	36						39	34,75
D-E					18				15	14				12		14,75

En la Tabla 3 es observado el orden de las entregas por rutas de manera resumida.

Tabla 3: Ordenamiento de las Entregas por Rutas. Fuente: (Gustavo R. Henríquez-Fuentes, 2018).

Días	Ruta 1	Entregas	Ruta 2	Entregas
D-1	[Y-A][A-D][D-B][B-E]	4	[Y-C]	1
D-2	[Y-C][C-D]	2	[Y-A][A-E]	2
D-3	[Y-C][C-B][B-A]	3	[Y-A][A-D]	2
D-4	[Y-B][B-D]	2		0
D-5	[Y-D][D-E][E-A][A-B]	4		0
D-6	[Y-A][A-C][C-D]	3	[Y-E]	1
D-7	[Y-B][B-E][E-C]	3	[Y-E]	1
D-8	[Y-A][A-C][C-E]	3	[Y-D]	1
D-9	[Y-C][C-E][E-D]	3	[Y-D][D-A]	2
D-10	[Y-E][E-D][D-A]	3	[Y-A][A-C]	2
D-11	[Y-A][A-E]	2	[Y-D]	1
D-12	[Y-A][A-D][D-C]	3	[Y-C]	1
D-13	[Y-E][E-D]	2	[Y-B][B-C][C-A]	3
D-14	[Y-C][C-B][B-A]	3	[Y-D]	1
D-15	[Y-E][E-C][C-B]	3	[Y-A][A-D]	2
Total Entregas R1		43	Total Entregas R2	20

El resultado propone un modelo gráfico para la distribución de mercancías denominado METDE (Modelo para Estimar Tiempos de Entrega), ver Figura 7.

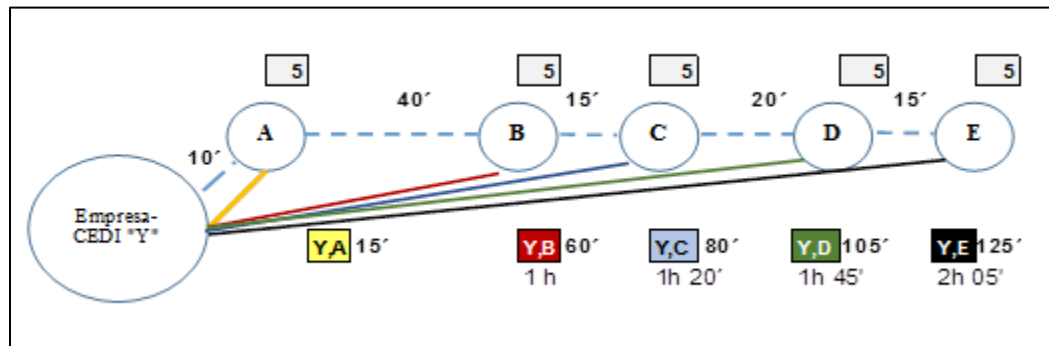


Figura 7: Modelo para Estimar Tiempos de Entrega (METDE). Fuente: (Gustavo R. Henríquez-Fuentes, 2018).

El modelo para la planificación de rutas óptimas de distribución es basado en el estudio de métodos y tiempos de las rutas entre la empresa y sus clientes. Fueron detectadas las variables relevantes del contexto logístico ofensoras de los tiempos y el cumplimiento en los horarios de entregas de los pedidos.

El modelo METDE empleó estadística descriptiva para analizar la gestión de las rutas de la empresa y conocer su situación actual. Para el caso de análisis de Schneider Electric serán comparados los tiempos promedios de las rutas actuales con los tiempos promedios de las rutas futuras a través de un Análisis de Varianza (ANOVA) apoyándose en el uso del software Minitab.

“La técnica de análisis de varianza (ANOVA) también conocida como análisis factorial y desarrollada por Fisher en 1930, constituye la herramienta básica para el estudio del efecto de uno o más factores (cada uno con dos o más niveles) sobre la media de una variable continua. Es por lo tanto la prueba estadística por emplear cuando se desea comparar las medias de dos o más grupos. Esta técnica puede generalizarse también para estudiar los posibles efectos de los factores sobre la varianza de una variable” (Spiegel, 2012).

La técnica SMED (Single Minute Exchange of Die) es un método de reducción de desperdicios en un sistema productivo. En sus inicios fue desarrollada para mejorar los cambios de troquel de las prensas y actualmente sus principios son aplicados en diferentes procesos donde se busque la reducción de tiempos (Monden, 2012).

La investigación realizada por (Gonzalez, 2017) utilizó la técnica SMED para la reducción de tiempos de surtimiento a una línea de empaque de botanas. Al realizar su análisis fue propuesta la siguiente secuencia de pasos:

1. Observar y medir el tiempo total de cambio.
2. Separar actividades internas de las externas.
3. Convertir actividades internas en externas y mover actividades externas fuera del paro.
4. Eliminar desperdicios de las actividades internas.
5. Eliminar desperdicios de las actividades externas.
6. Estandarizar y mantener el nuevo procedimiento.

El resultado obtenido de la presente investigación fue un 56.2% de reducción de los tiempos de ciclo del proceso de abastecimiento.

Capítulo 3. Definición del problema

La gestión de abastecimiento de materias primas a líneas de manufactura es un área muy poco atendida en las distintas maquiladoras de la región de Baja California y presenta un gran potencial de mejora.

En la empresa Schneider Electric, existen varias áreas de oportunidad y pocas veces los administradores de las distintas áreas encausan dichas oportunidades al tema de reabastecimiento de materiales, como por ejemplo el incumplimiento de metas de producción, baja eficiencia en células de manufactura, tiempos de espera, etc. mostrando una relación directa con las entregas a tiempo de materias primas a los procesos de producción. Ver Figura 8.

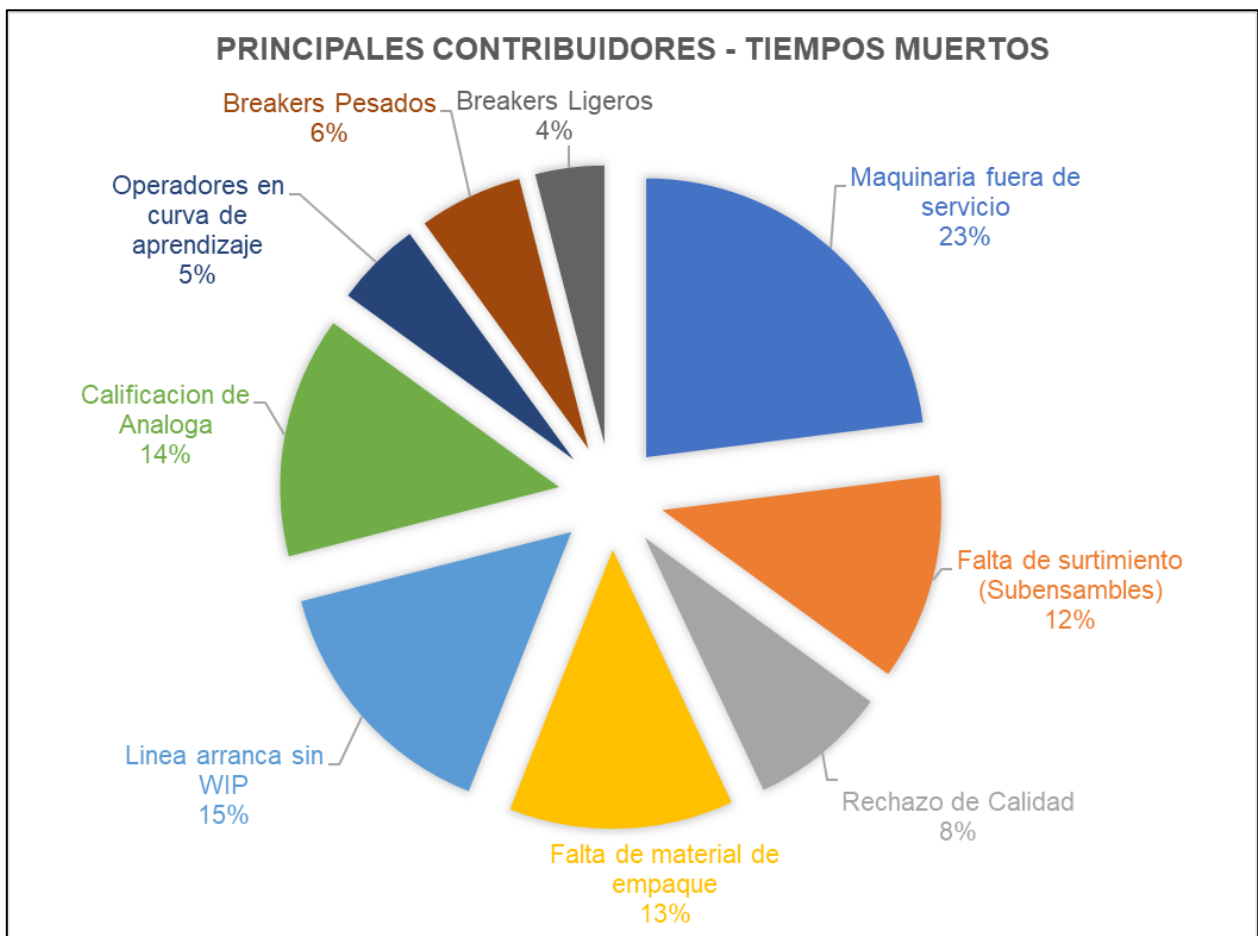


Figura 8: Porcentajes de contribución de las principales barreras de enero 2019 a febrero 2020. Fuente: Elaboración propia.

3.1 Justificación

Las cinco rutas de surtimiento en promedio tardan 90 minutos en completar su tiempo de ciclo. El 26% de los tiempos muertos por paro de línea durante el periodo de enero 2019 a febrero 2020 estuvieron atribuidos a la falta de material en células de manufactura.

El comportamiento de eficiencias observado de enero 2019 a febrero 2020 de la mayoría de las células de manufactura no rebasa el 85%.

Las órdenes vencidas hasta marzo 2020 superan los \$ 479,000 USD.

3.2 Pregunta de investigación

¿Qué diseño de ruta reduce el tiempo máximo para surtir las líneas de producción?

3.3 Hipótesis

H₀: El tiempo de ciclo promedio de una ruta de surtimiento diseñada utilizando como base la herramienta de PFEP (Plan para cada parte) y siguiendo las directrices de SMED es igual o mayor a 45 minutos.

H_a: El tiempo de ciclo promedio de una ruta de surtimiento diseñada utilizando como base la herramienta de PFEP (Plan para cada parte) y siguiendo las directrices de SMED es menor a 45 minutos.

3.4 Objetivos

3.4.1 Objetivo general

- ✓ Reducir el tiempo de ciclo de rutas de abastecimiento en un 30%.

3.4.2 Objetivos específicos

- ✓ Determinar el diseño de ruta adecuado.
- ✓ Determinar frecuencias de abastecimiento en el 100% de las líneas de producción.

Capítulo 4. Metodología

La metodología planteada para solucionar el problema de rutas de abastecimiento está basada en una investigación documental y de campo. La investigación documental identifico el uso de vehículos inteligentes AGV, Análisis del uso de heurísticas y escenarios de simulación, uso de herramientas de manufactura esbelta (VSM, Kanban, PFEP) y la técnica de reducción de tiempos SMED. La investigación de campo fue realizada para establecer el diseño de las rutas iniciando con el desarrollo de tiempos experimentales, un ejemplo es mostrado en la tabla 4 y la Figura 9.

Tabla 4: Tabla de tiempos experimentales de Ruta GFI's. Fuente: Elaboración propia.

Monitoreo - Ruta de Prueba		Puntos de Entrega				Celulas						
WS	# Recorrido	A	E1	E2	E3	GFI2P	GFI1P	GFI3P	A	Tiempo Total	Tiempo (min)	Meta (min)
Jose Luis	Recorrido 1	7:16:23	7:20:03	7:22:37	7:26:11	7:40:50	7:59:10	8:16:12	8:26:43	1:10:20	70	60
Jose Luis	Recorrido 2	8:39:02	8:43:22	8:45:56	8:48:04	9:04:14	9:17:01	9:33:21	9:42:03	1:03:01	63	60
Jose Luis	Recorrido 3	9:47:40	9:50:09	9:53:33	9:57:01	10:10:19	10:27:28	10:43:12	10:56:12	1:08:32	68	60
Jose Luis	Recorrido 4	10:56:09	10:59:55	11:03:59	11:05:34	11:21:14	11:39:04	11:53:56	12:04:07	1:07:58	67	60
Jose Luis	Recorrido 5	12:50:09	12:55:21	12:57:47	12:59:58	13:13:44	13:27:01	13:41:32	13:53:08	1:02:59	62	60
Jose Luis	Recorrido 6	14:02:22	14:08:04	14:10:31	14:14:07	14:27:11	14:39:11	14:52:02	15:07:03	1:04:41	64	60
Jose Luis	Recorrido 7	15:15:22	15:21:22	15:24:04	15:27:02	15:41:51	15:56:44	16:12:04	16:22:57	1:07:35	67	60

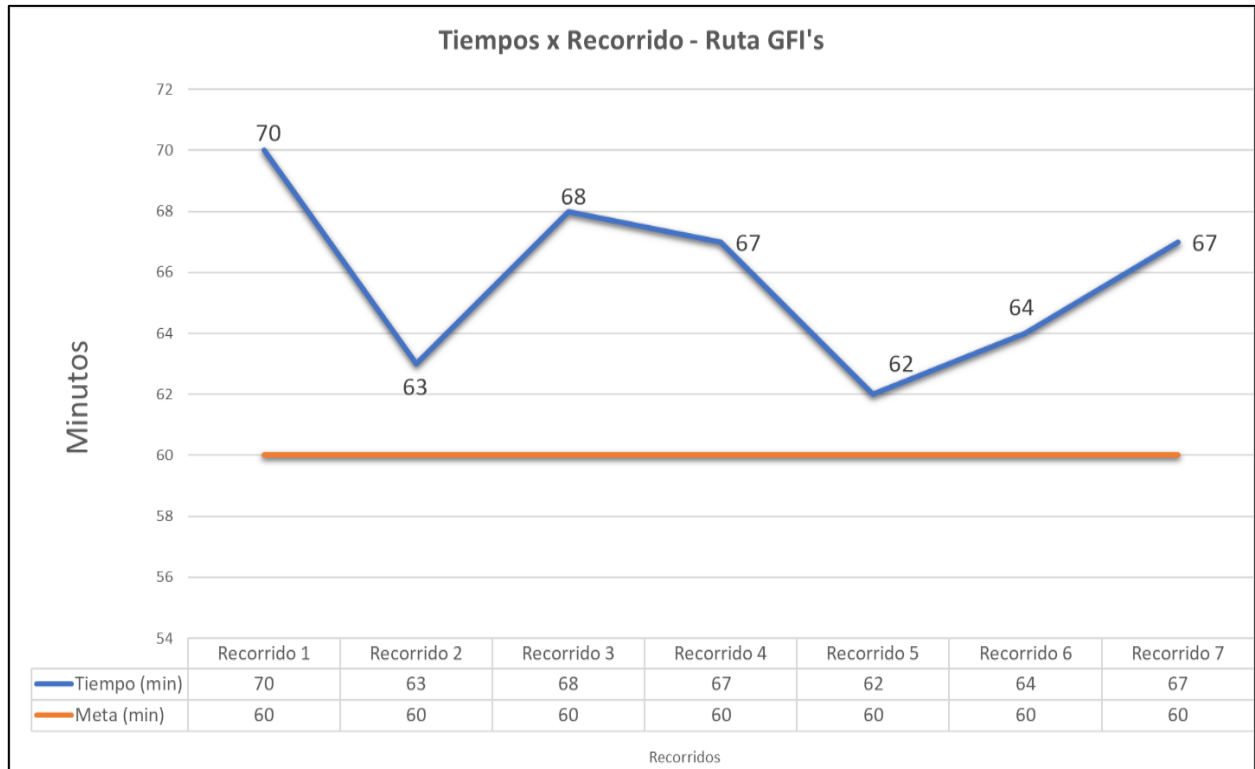


Figura 9: Tiempos experimentales de Ruta GFI's. Fuente: Elaboración propia.

La metodología consistió en la ejecución de seis etapas descritas a continuación:

4.1 Diagnóstico de situación inicial.

El diagnóstico consistió en realizar el mapa de la cadena de valor y diagramas espagueti determinando la situación inicial con respecto a tiempos y distancias recorridas de los surtidores e identificados los excesos de inventario del total de números de parte requeridos por zona en los diferentes supermercados de las áreas de producción.

4.2. Elaboración de plan para cada parte (PFEP).

El plan para cada parte consistió en crear una tabla de datos determinando las cantidades requeridas considerando el consumo, el tipo y tamaño de contenedor, las cantidades mínimas para evitar faltantes, las consistencias entre el tamaño de contenedor y el área disponible en la estación de trabajo.

4.3 Definición de señal de abastecimiento.

La señal de abastecimiento utilizó el concepto Kanban con dos contenedores por componente en la estación de trabajo (contenedor lleno, contenedor vacío). Un nuevo contenedor fue suministrado antes de terminarse el material de la estación de trabajo durante cada recorrido efectuado y la señal de suministro fue la existencia de un contenedor vacío colocado de manera invertida.

4.4 Diseño de rutas de abastecimiento (Aplicación SMED).

Las rutas de abastecimiento fueron diseñadas tomando como base la fórmula de velocidad igual a distancia sobre tiempo ($v=d/t$) (Resnick, 2004). Al realizar el despeje de la fórmula fue determinado el tiempo ($t=d/v$) y conociendo los datos de velocidad del vehículo de entrega y las distancias recorridas pudo determinarse el tiempo de recorrido esperado de cada una de las rutas. En esta etapa fue aplicada la metodología SMED, donde fueron identificadas las operaciones internas y externas logrando cambiar actividades consideradas como internas a externas permitiendo la reducción significativa de los tiempos de recorrido.

4.5 Medición de tiempo de ciclo por ruta de abastecimiento.

La medición fue realizada utilizando tecnología RFID¹ con lectores de alta frecuencia UHF² instalados a lo largo de la planta en puntos estratégicos. El monitoreo del desempeño de las rutas permitió realizar comparaciones contra los objetivos planteados, graficar resultados y medir tendencias en tiempo real a fin de determinar acciones para mejorar el actual desempeño del proceso de abastecimiento.

4.6 Validación de resultados.

La validación de resultados fue realizada utilizando la herramienta estadística ANOVA apoyado con el software Minitab para la valoración de los cálculos.

Capítulo 5. Resultados

El diagnóstico inicial identificó en Ruta 1 14.9 días de inventario en proceso con una distancia recorrida de 2,422 pies en un lapso de 87.94 minutos en cada una de las siete vueltas por turno. En Figura 10 es mostrado a detalle el mapa de la cadena de valor y en Figura 11 el detalle de los recorridos efectuados.

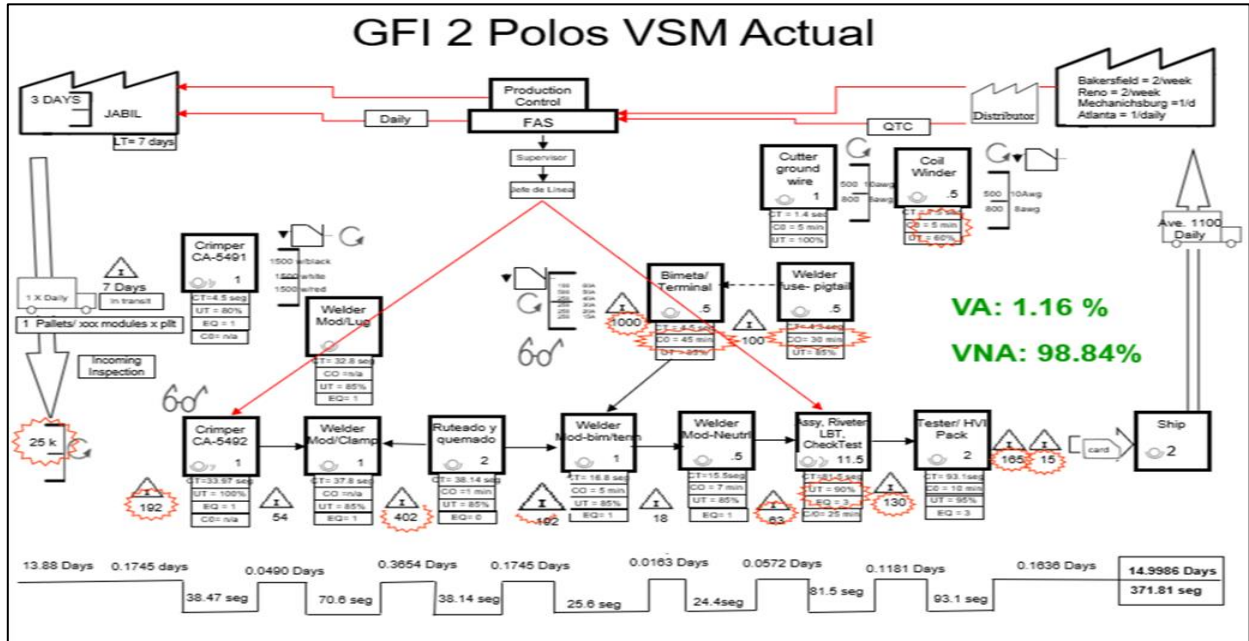


Figura 10: Mapa de cadena de valor VSM Ruta 1. Fuente: Elaboración propia.

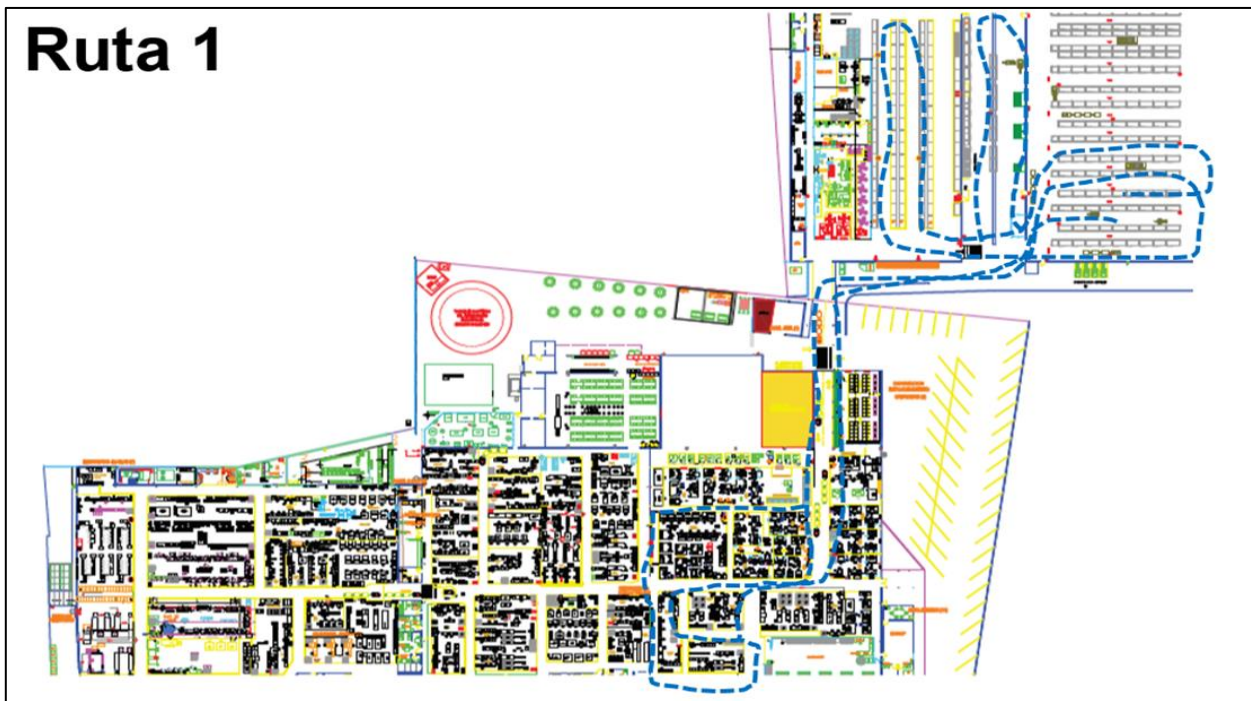


Figura 11: Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 1 – Condición inicial. Fuente: Elaboración propia.

El plan para cada parte (PFEP) es mostrado en la Tabla 5 donde el requerimiento hora por hora de 460 piezas fue establecido conforme a la meta diaria y fueron definidas las cantidades a suministrar de los diferentes números de parte con sus respectivos tipos de contenedor, cantidad y peso para las células de la familia GFI2P de Ruta 1.

Tabla 5: Tabla de datos de PFEP Ruta 1. Fuente: Elaboración propia.

Célula: GFI2P		PFEP - Ruta 1							
Meta diaria:	4.000								
Requerimiento hrxtr: 10% FS	460 506								
Número	Célula	Número de parte	Descripción	Uso	Cantidad por Contenedor	Contenedor #	Cantidad de Contenedores	Peso x Contenedor (Kg)	
1	GFI2P	48852-012-57	Jaw-spring assembly	1	506	3	2	6.11	
2	GFI2P	48830-001-02	Hom jaw spring	1	506	3	2	5.10	
3	GFI2P	48852-011-51	Jaw cont assy	1	506	3	2	8.83	
4	GFI2P	48852-006-01	hom jaw	1	506	3	2	9.49	
5	GFI2P	48118-459-01	slide	2	1011	2	4	8.21	
6	GFI2P	48030-023-01	spring, toggle	1	506	2	2	7.62	
7	GFI2P	48118-009-02	handle, 15 amp	2	1011	7	4	4.91	
8	GFI2P	48030-026-01	spring, armature	1	506	3	2	5.04	
9	GFI2P	48118-120-01	armature	1	506	3	2	5.71	
10	GFI2P	48118-125-01	compensator	1	506	3	2	9.78	
11	GFI2P	48118-136-01	latch plate	1	506	3	2	7.25	
12	GFI2P	48118-686-02	button, test	1	506	3	2	4.35	
13	GFI2P	48118-839-61	module/ground wire assy	1	506	3	2	11.88	
14	GFI2P	48808-003-01	insulator tube	1	506	3	2	4.77	
15	GFI2P	48100-117-03	ground wire	1	506	2	2	5.39	
16	GFI2P	48118-404-66	yoke/blade assembly	1	506	2	2	4.76	
17	GFI2P	48118-118-52	blade assembly	2	1011	3	4	3.76	
18	GFI2P	48000-003-06	bimetal (15a)	1	506	3	2	2.44	
19	GFI2P	48118-123-01	magnetic yoke	1	506	3	2	3.69	
20	GFI2P	48118-744-50	coil assy	1	506	3	2	12.76	
21	GFI2P	48118-684-01	connector	2	1011	3	4	9.32	

La señal de abastecimiento establecida para todas las rutas es mostrada en la Figura 12 donde es observada el uso de contenedores colocados en posición invertida como señal de requerimiento de materiales.



Figura 12: Señal de abastecimiento en todas las rutas (Contenedor vacío en posición invertida). Fuente: Elaboración propia.

El recorrido completo de Ruta 1 mostrado en Figura 13 quedó diseñado con 9 puntos de entrega y un tiempo total de 22.99 minutos, 11.99 minutos consumidos en la

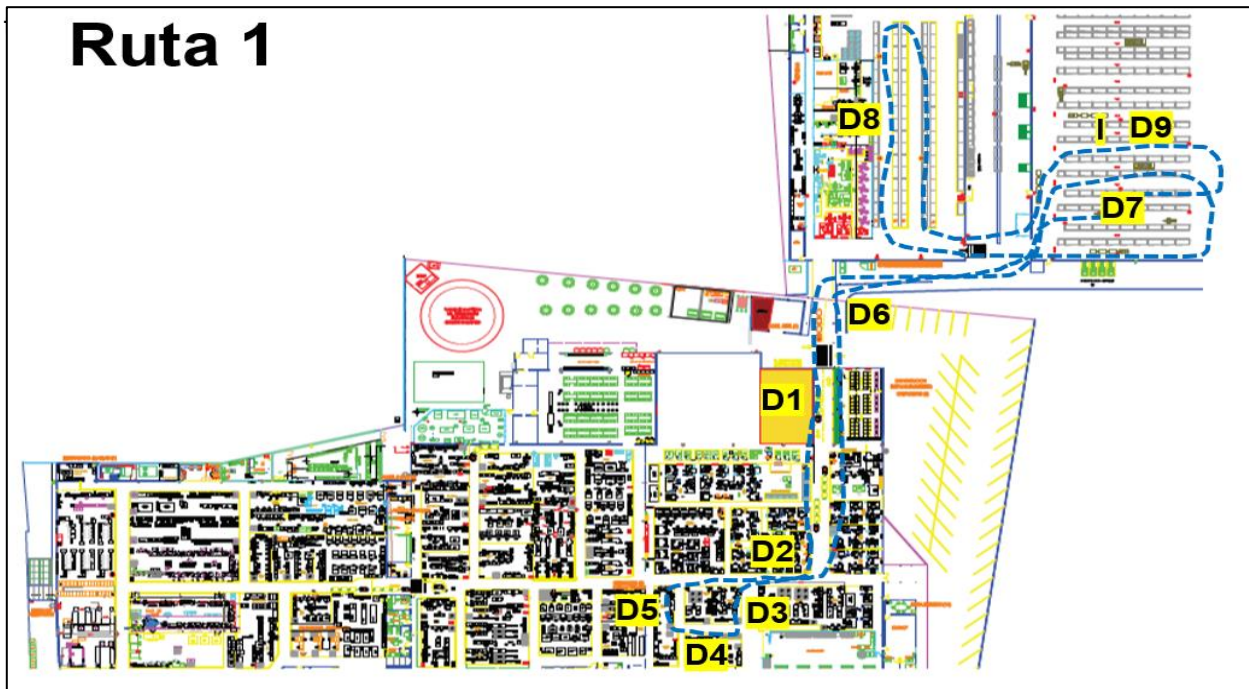


Figura 13: Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 1. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias recorridas de los diferentes puntos de entrega son mostradas en Tabla 6 donde es observado el segmento entre D7 - D8 con la mayor distancia de 399 pies y un tiempo consumido de 2.43 minutos. La distancia total recorrida fue de 1,971 pies.

Tabla 6: Distancias y tiempos de recorrido Ruta 1. Fuente: Elaboración propia.

Distancias recorridas Ruta 1			
Origen	Destino	Distancia (Pies)	Tiempo (Minutos)
I	D1	325	1.98
D1	D2	135	0.82
D2	D3	41	0.25
D3	D4	39	0.237
D4	D5	35	0.213
D5	D6	321	1.95
D6	D7	322	1.96
D7	D8	399	2.43
D8	D9	354	2.15
Total		1,971	11.99

El detalle de las actividades ejecutadas con sus respectivos tiempos antes y después de realizar el diseño de la Ruta 1 aplicando la herramienta SMED son observados en Tabla 7. Los tiempos marcados en color amarillo fueron de transportación y la diferencia entre los totales fue de 64.95 minutos.

Tabla 7: Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 1. Fuente: Elaboración propia.

No.	Actividad	Total de Actividades	Removiendo Actividades convertidas a Externas
		Tiempo (min)	Tiempo (min)
1	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
2	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
3	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
4	Llenado de contenedores	20	
5	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
6	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
7	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
8	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	6	
9	Transportación de Almacén a Producción - D1	1.98	1.98
10	Recolección de subensambles	2	2
11	Transportación de Almacén a Producción - D2	0.82	0.82
12	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
13	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
14	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
15	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
16	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
17	Transportación de Almacén a Producción - D3	0.25	0.25
18	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
19	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
20	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
21	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
22	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
23	Transportación de Almacén a Producción - D4	0.237	0.237
24	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
25	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
26	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
27	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
28	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
29	Transportación de Almacén a Producción - D5	0.213	0.213
30	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
31	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
32	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
33	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
34	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
35	Transportación de Producción a compactadora de cartón - D6	1.95	1.95
36	Bajar cartones y colocar en cartonera.	1	1
37	Transportación de compactadora de cartón a Almacén - D7	1.96	1.96
38	Bajar contenedores (Totes, charolas de plástico)	1	1
39	Bajar retornos	1	1
40	Transportación de Almacén a Baquelita - D8	2.43	2.43
41	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
42	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
43	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
44	Llenado de contenedores	6.95	
45	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
46	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
47	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
48	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	3	
49	Transportación de Baquelita a Almacén - D9	2.15	2.15
Tiempo Total (min)		87.94	22.99

El monitoreo del desempeño de Ruta 1 es mostrado en Figura 14 donde los resultados obtenidos reflejaron una tendencia por debajo de los 25 minutos durante un periodo de 30 días consecutivos.

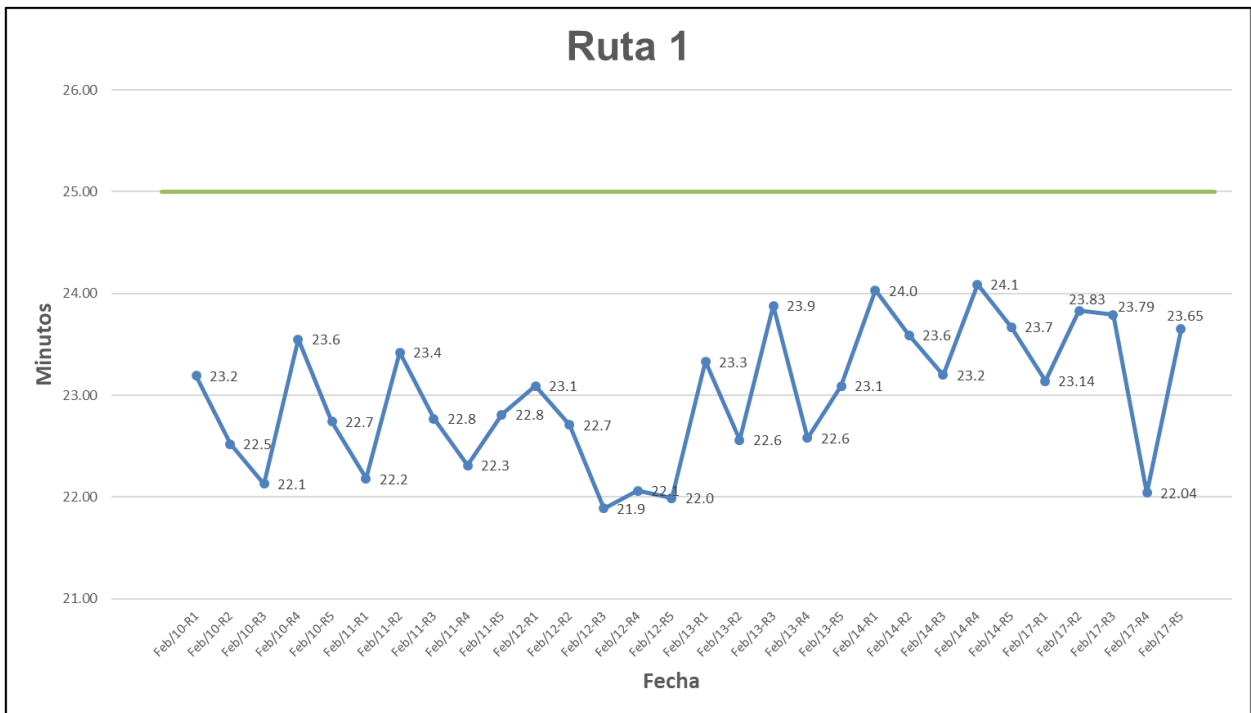


Figura 14: Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 1 (30 días posteriores al rediseño de ruta). Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico inicial identificó en Ruta 2 10.32 días de inventario en proceso con una distancia recorrida de 3,012 pies en un lapso de 91.70 minutos en cada una de las siete vueltas por turno. En Figura 15 es mostrado a detalle el mapa de la cadena de valor y en Figura 16 el detalle de los recorridos efectuados.

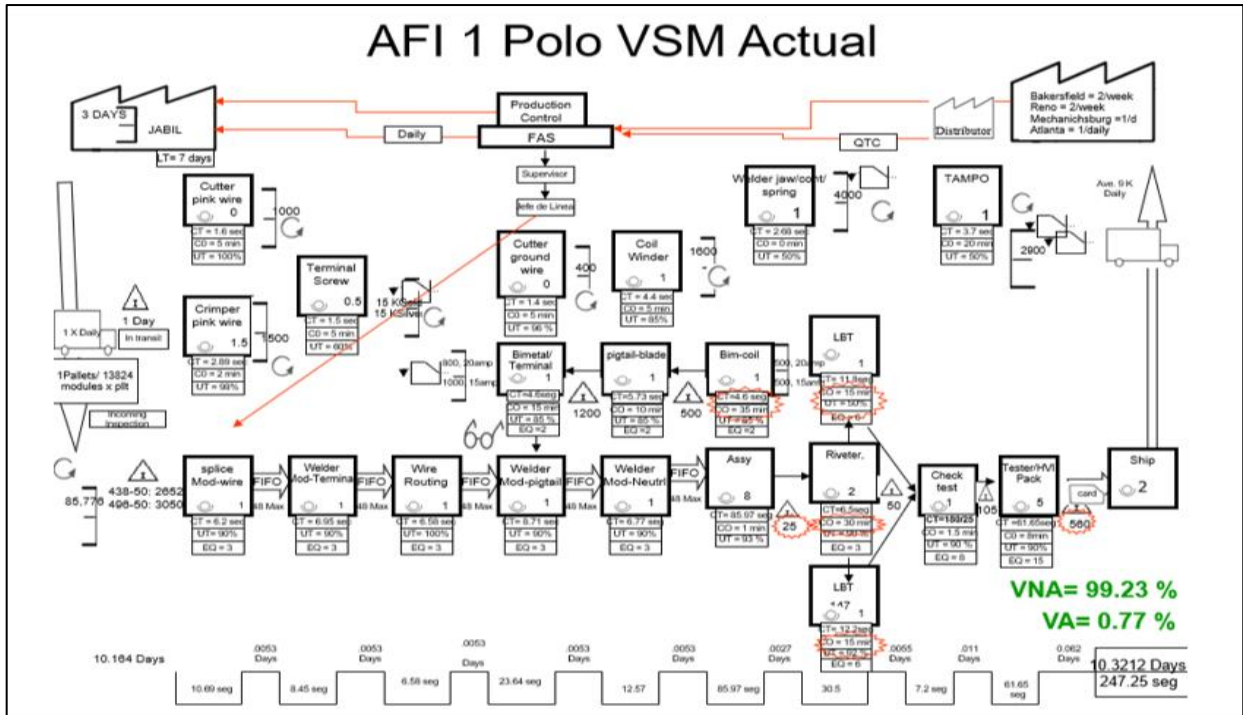


Figura 15: Mapa de cadena de valor VSM Ruta 2. Fuente: Elaboración propia.

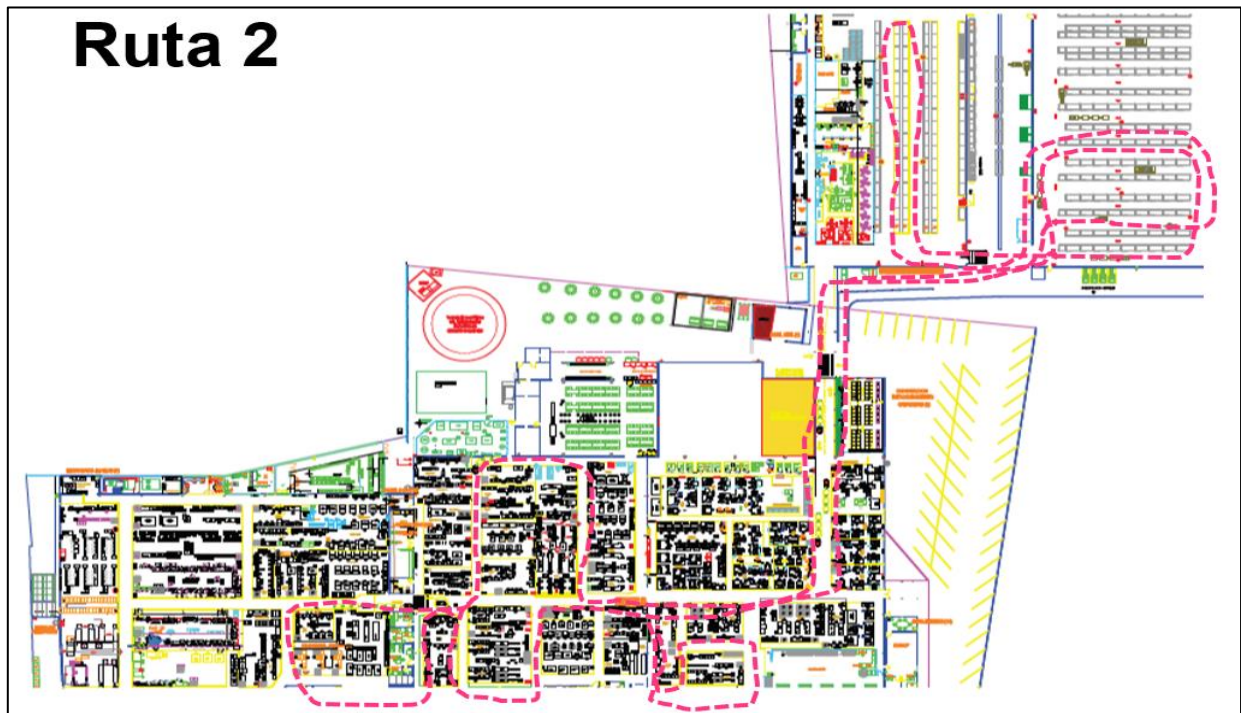


Figura 16: Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 2 – Condición inicial. Fuente: Elaboración propia.

El plan para cada parte (PFEP) es mostrado en la Tabla 8 donde el requerimiento hora por hora de 805 piezas fue establecido conforme a la meta diaria y fueron definidas las cantidades a suministrar de los diferentes números de parte con sus respectivos tipos de contenedor, cantidad y peso para las células de la familia AFI de ruta 2.

Tabla 8: Tabla de datos de PFEP Ruta 2. Fuente: Elaboración propia.

Célula:		AFI		PFEP - Ruta 2					
Meta diaria:		7,000							
Requerimiento hrxhr:		805							
10% FS		885							
Número	Célula	Número de parte	Descripción	Uso	Cantidad por Contenedor	Contenedor #	Cantidad de Contenedores	Peso x Contenedor (Kg)	
1	AFI	48030-026-01	spring, armature	1	885	3	2	6.20	
2	AFI	48820-016-01	screw, calibration	1	885	3	2	10.57	
3	AFI	48118-335-02	plunger	1	885	3	2	7.06	
4	AFI	48830-020-02	spring, ptt	1	885	3	2	16.79	
5	AFI	48015-022-01	reset pin	1	885	2	2	4.97	
6	AFI	48118-059-01	trip lever	1	885	2	2	12.23	
7	AFI	48118-093-50	armature assy	1	885	7	2	3.72	
8	AFI	48118-733-01	trip link	2	1770	3	4	13.34	
9	AFI	HRB20345	button, test	1	885	3	2	6.48	
10	AFI	48030-023-01	spring, toggle	1	885	3	2	8.92	
11	AFI	48118-459-01	slide	1	885	3	2	5.85	
12	AFI	48118-009-02	handle, 15 amp	1	885	3	2	10.74	
13	AFI	48808-003-01	insulator tube	1	885	3	2	6.86	
14	AFI	48118-118-51	blade assembly	2	1770	3	4	5.17	
15	AFI	48118-265-51	bim&yoke ay 15a	1	885	2	2	3.56	
16	AFI	48118-744-50	coil assy	1	885	2	2	15.33	
17	AFI	24101-08201	rivet semi-tubular riv oval hd 0.125in x	1	885	3	2	13.96	
18	AFI	48030-026-01	spring, armature	1	885	3	2	12.70	
19	AFI	48118-009-02	handle, 15 amp	1	885	3	2	7.91	
20	AFI	48118-093-50	armature assy	2	1770	3	4	5.11	
21	AFI	48830-020-02	spring, ptt	1	885	3	2	7.46	

El recorrido completo de Ruta 2 mostrado en Figura 17 quedó diseñado con 10 puntos de entrega y un tiempo total de 26.75 minutos, 15.75 minutos consumidos en la transportación y 11 minutos repartidos en las actividades de abastecimiento a células.

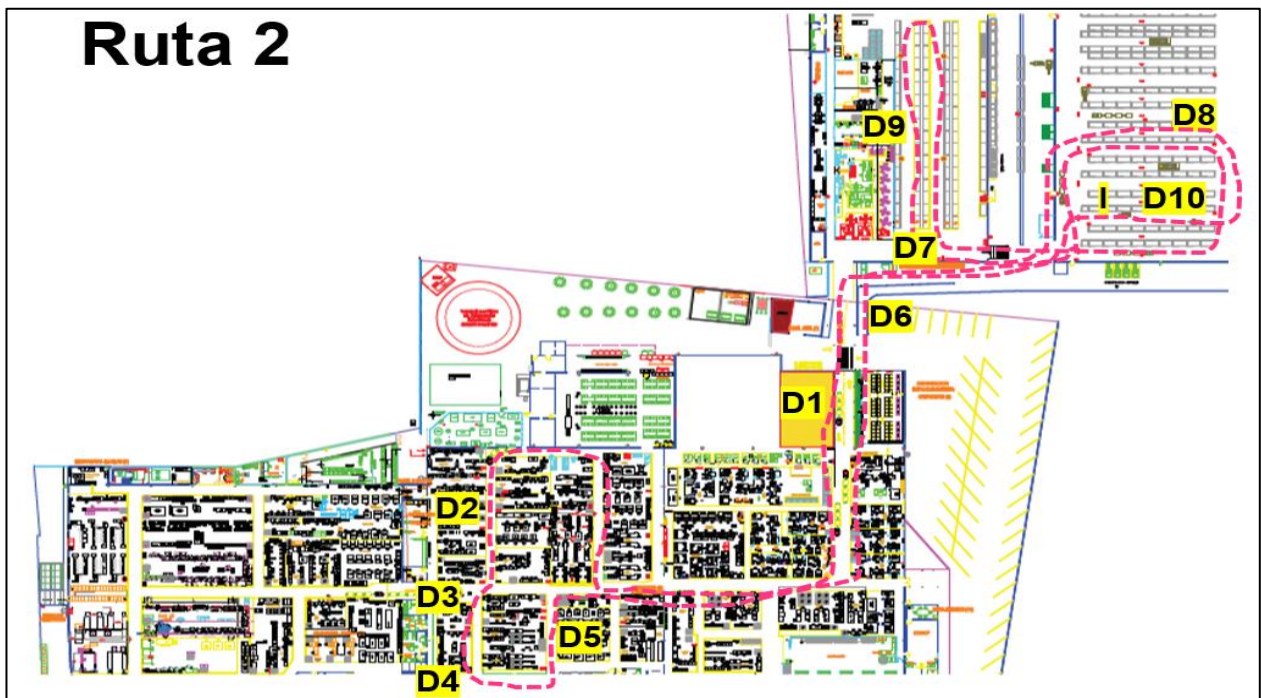


Figura 17: Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 2. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias recorridas de los diferentes puntos de entrega son mostradas en Tabla 9 donde es observado el segmento entre D1 – D2 con la mayor distancia de 452 pies y un tiempo consumido de 2.75 minutos. La distancia total recorrida fue de 2,585 pies.

Tabla 9: Distancias y tiempos de recorrido Ruta 2. Fuente: Elaboración propia.

Distancias recorridas Ruta 2			
Origen	Destino	Distancia (Pies)	Tiempo (Minutos)
I	D1	325	1.98
D1	D2	452	2.75
D2	D3	75	0.457
D3	D4	27	0.164
D4	D5	86	0.524
D5	D6	412	2.512
D6	D7	51	0.31
D7	D8	336	2.048
D8	D9	399	2.43
D9	D10	422	2.57
	Total	2,585	15.75

El detalle de las actividades ejecutadas con sus respectivos tiempos antes y después de realizar el diseño de la Ruta 2 aplicando la herramienta SMED son observados en Tabla 10. Los tiempos marcados en color amarillo fueron de transportación y la diferencia entre los totales fue de 64.95 minutos

Tabla 10: Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 2. Fuente: Elaboración propia.

No.	Actividad	Total de Actividades	Removiendo Actividades convertidas a Externas
		Tiempo (min)	Tiempo (min)
1	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
2	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
3	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
4	Llenado de contenedores	20	
5	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
6	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
7	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
8	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	6	
9	Transportación de Almacén a Producción - D1	1.98	1.98
10	Recolección de subensambles	2	2
11	Transportación de Almacén a Producción - D2	2.75	2.75
12	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
13	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
14	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
15	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
16	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
17	Transportación de Almacén a Producción - D3	0.457	0.457
18	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
19	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
20	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
21	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
22	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
23	Transportación de Almacén a Producción - D4	0.164	0.164
24	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
25	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
26	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
27	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
28	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
29	Transportación de Almacén a Producción - D5	0.524	0.524
30	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
31	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
32	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
33	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
34	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
35	Transportación de Producción a compactadora de cartón - D6	2.512	2.512
50	Bajar cartones y colocar en cartonera.	1	1
41	Transportación de compactadora de cartón a Almacén - D7	0.31	0.31
47	Bajar contenedores (Totes, charolas de plástico)	1	1
49	Transportación de Almacén a Área de retornos - D8	2.048	2.048
48	Bajar retornos	1	1
51	Transportación de Área de retornos a Baquelita - D9	2.43	2.43
41	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
42	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
43	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
44	Llenado de contenedores	6.95	
45	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
46	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
47	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
48	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	3	
49	Transportación de Baquelita a Almacén - D10	2.57	2.57
	Tiempo Total (min)	91.70	26.75

El monitoreo del desempeño de Ruta 2 es mostrado en Figura 18 donde los resultados obtenidos reflejaron una tendencia por debajo de los 30 minutos durante un periodo de 30 días consecutivos.

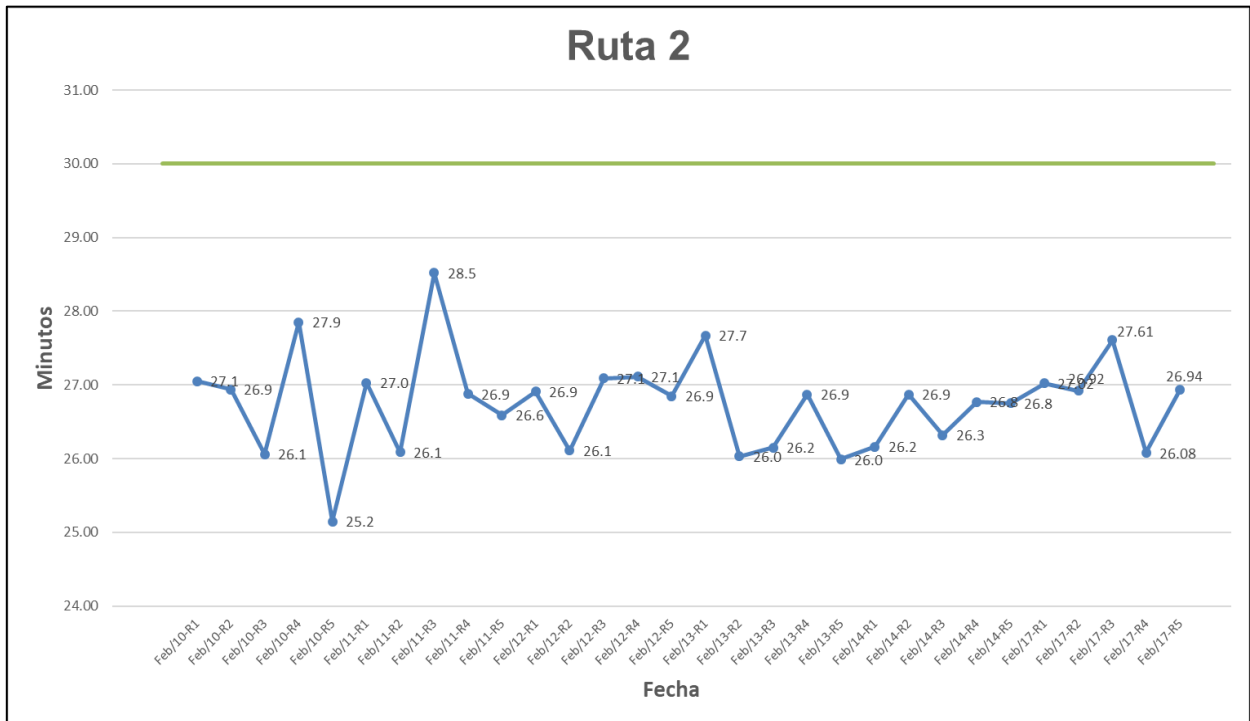


Figura 18: Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 2 (30 días posteriores al rediseño de ruta). Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico inicial identificó en Ruta 3 7.5 días de inventario en proceso con una distancia recorrida de 2,576 pies en un lapso de 87.96 minutos en cada una de las siete vueltas por turno. En Figura 19 es mostrado a detalle el mapa de la cadena de valor y en Figura 20 el detalle de los recorridos efectuados.

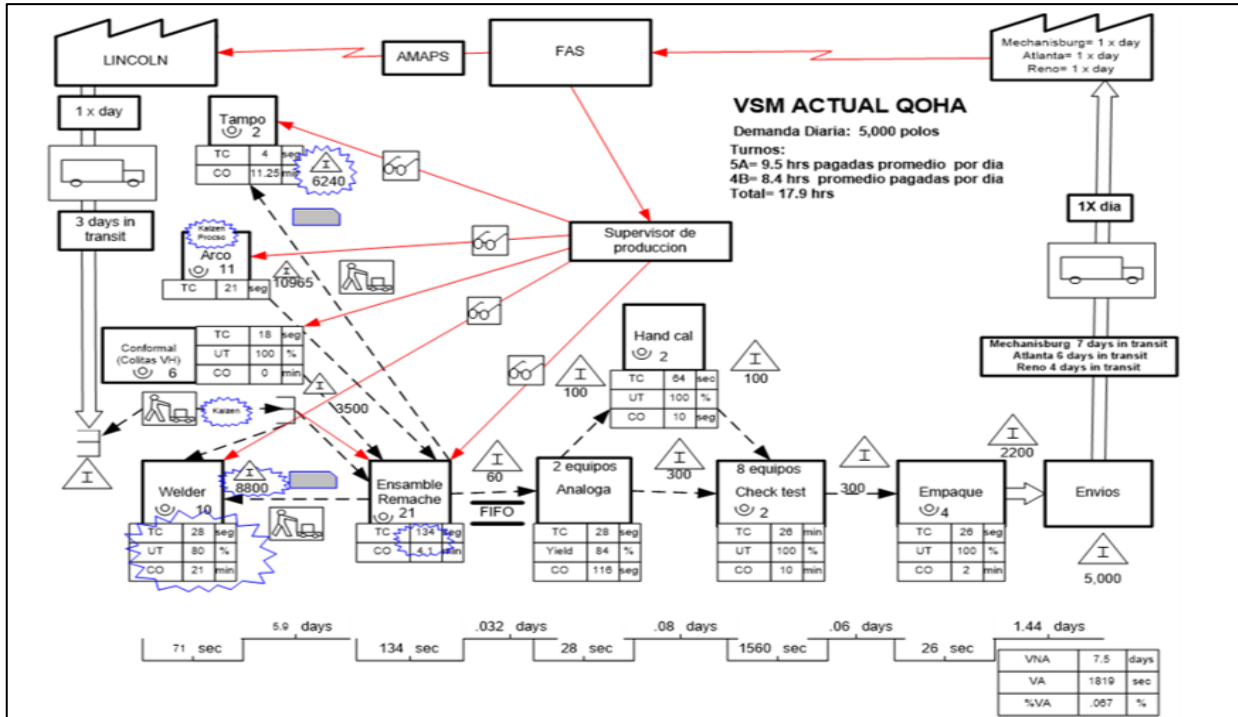


Figura 19: Mapa de cadena de valor VSM Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

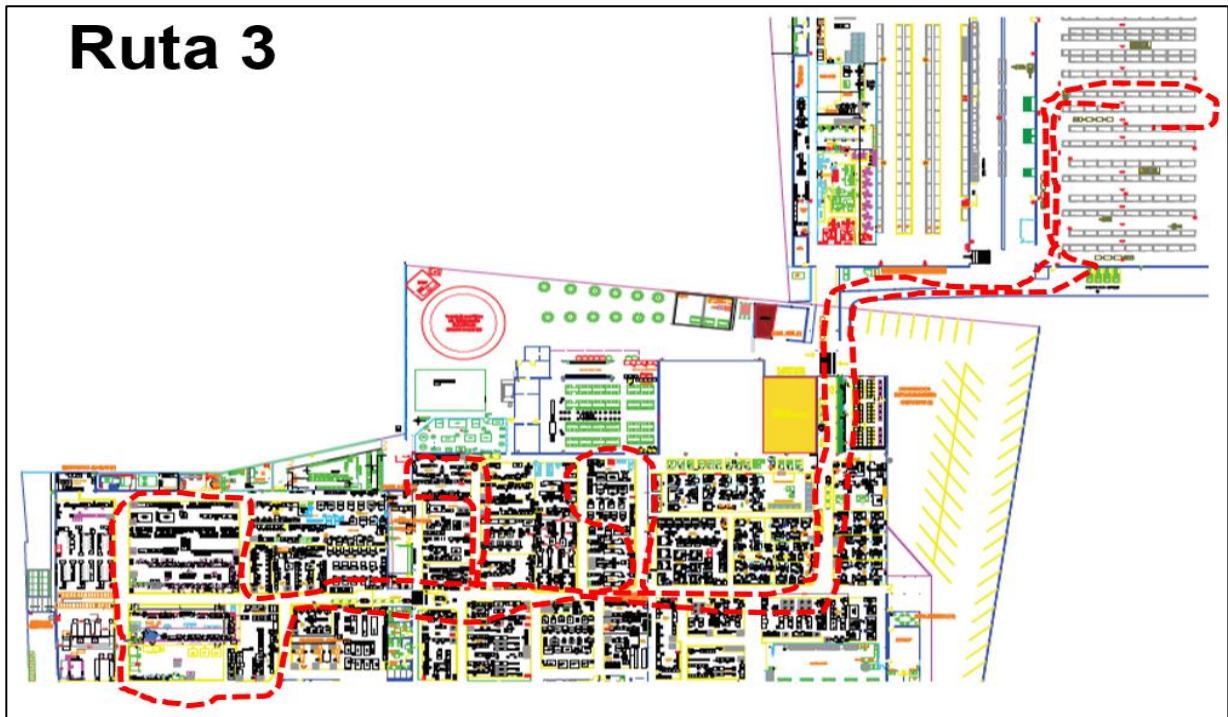


Figura 20: Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 3 – Condición inicial. Fuente: Elaboración propia.

El plan para cada parte (PFEP) es mostrado en la Tabla 11 donde el requerimiento hora por hora de 747 piezas fue establecido conforme a la meta diaria y fueron definidas las cantidades a suministrar de los diferentes números de parte con sus respectivos tipos de contenedor, cantidad y peso para las células de la familia QOHA de Ruta 3.

Tabla 11: Tabla de datos de PFEP Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

Célula: QOHA		PFEP - Ruta 3						
Meta diaria: 6,500								
Requerimiento hrxhr: 747								
10% FS: 822								
Número	Célula	Número de parte	Descripción	Uso	Cantidad por Contenedor	Contenedor #	Cantidad de Contenedores	Peso x Contenedor (Kg)
1	QOHA	29512-15490	90 x 90 mm packaging label,paper.pa	1	822	3	2	14.19
2	QOHA	48840-087-01	inst.sheet	1	822	3	2	3.85
3	QOHA	48118-121-01	armature	2	1644	3	4	13.99
4	QOHA	48118-126-01	compensator	1	822	3	2	4.95
5	QOHA	48118-136-01	latch plate	2	1644	2	4	10.25
6	QOHA	48810-005-01	gou lug	1	822	2	2	16.16
7	QOHA	48865-020-01	terminal	1	822	7	2	8.12
8	QOHA	48865-001-04	base	1	822	3	2	7.25
9	QOHA	48865-003-04	base	1	822	3	2	12.46
10	QOHA	48865-004-03	cover	1	822	3	2	15.28
11	QOHA	48865-006-03	cover	1	822	3	2	8.02
12	QOHA	48118-051-01	blade	1	822	3	2	7.87
13	QOHA	48000-004-01	60a bimetal	2	1644	3	4	16.76
14	QOHA	48118-122-02	yoke	1	822	3	2	14.04
15	QOHA	48865-026-02	terminal	1	822	2	2	6.34
16	QOHA	48865-013-01	fast-on conn.	1	822	2	2	11.52
17	QOHA	48118-149-01	dummy handle	1	822	3	2	8.52
18	QOHA	1615-100460	white paste,(-29 to 260deg c)	1	822	3	2	12.58
19	QOHA	48118-121-01	armature	1	822	3	2	6.55
20	QOHA	48118-125-01	compensator	1	822	3	2	15.47
21	QOHA	48118-136-01	latch plate	1	822	3	2	9.78

El recorrido completo de Ruta 3 mostrado en Figura 21 quedó diseñado con 10 puntos de entrega y un tiempo total de 30.46 minutos, 13.46 minutos consumidos en la transportación y 17 minutos repartidos en las actividades de abastecimiento a células.

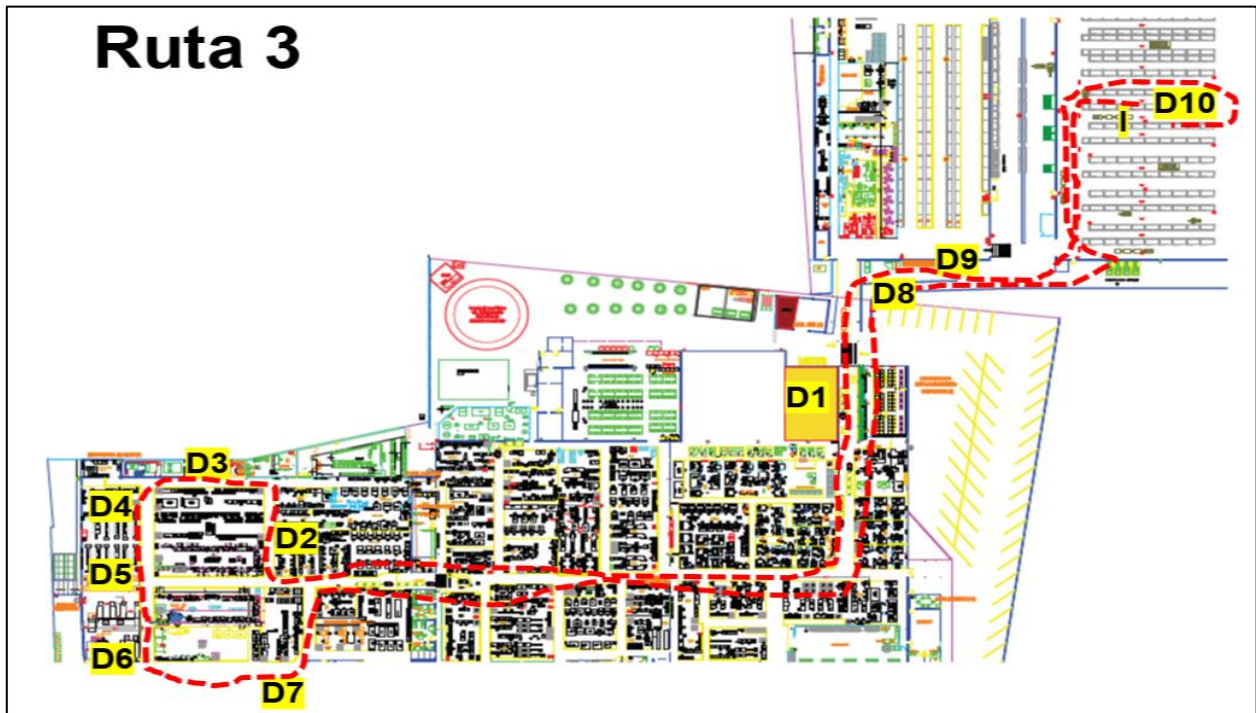


Figura 21: Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias recorridas de los diferentes puntos de entrega son mostradas en Tabla 12 donde es observado el segmento entre D1 – D2 con la mayor distancia de 487 pies y un tiempo consumido de 2.96 minutos. La distancia total recorrida fue de 2,212 pies.

Tabla 12: Distancias y tiempos de recorrido Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

Distancias recorridas Ruta 3			
Origen	Destino	Distancia (Pies)	Tiempo (Minutos)
I	D1	386	2.35
D1	D2	487	2.96
D2	D3	73	0.445
D3	D4	56	0.341
D4	D5	50	0.304
D5	D6	44	0.268
D6	D7	104	0.634
D7	D8	591	3.6
D8	D9	51	0.31
D9	D10	370	2.25
	Total	2,212	13.46

El detalle de las actividades ejecutadas con sus respectivos tiempos antes y después de realizar el diseño de la Ruta 3 aplicando la herramienta SMED son observados en Tabla 13. Los tiempos marcados en color amarillo fueron de transportación y la diferencia entre los totales fue de 57.5 minutos.

Tabla 13: Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

	Total de Actividades	Removiendo Actividades convertidas a Externas
Actividad	Tiempo (min)	Tiempo (min)
Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
Llenado de contenedores	20	
Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	6	
Transportación de Almacén a Producción - D1	2.35	2.35
Recolección de subensambles	2	2
Transportación de Almacén a Producción - D2	2.96	2.96
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Almacén a Producción - D3	0.445	0.445
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Almacén a Producción - D4	0.341	0.341
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Almacén a Producción - D5	0.304	0.304
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Recoger totes vacíos.	1.5	1.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Almacén a Producción - D6	0.268	0.268
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Almacén a Producción - D7	0.634	0.634
Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
Recoger totes vacíos	1.5	1.5
Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
Transportación de Producción a compactadora de cartón - D8	3.6	3.6
Bajar cartones y colocar en cartonera.	1	1
Transportación de Almacén a Área de retornos - D9	0.31	0.31
Bajar contenedores (Totes, charolas de plástico)	1	1
Bajar retornos	1	1
Transportación de Área de retornos a Almacén - D10	2.25	2.25
Tiempo Total (min)	87.96	30.46

El monitoreo del desempeño de Ruta 3 es mostrado en Figura 22 donde los resultados obtenidos reflejaron una tendencia por debajo de los 33 minutos durante un periodo de 30 días consecutivos.

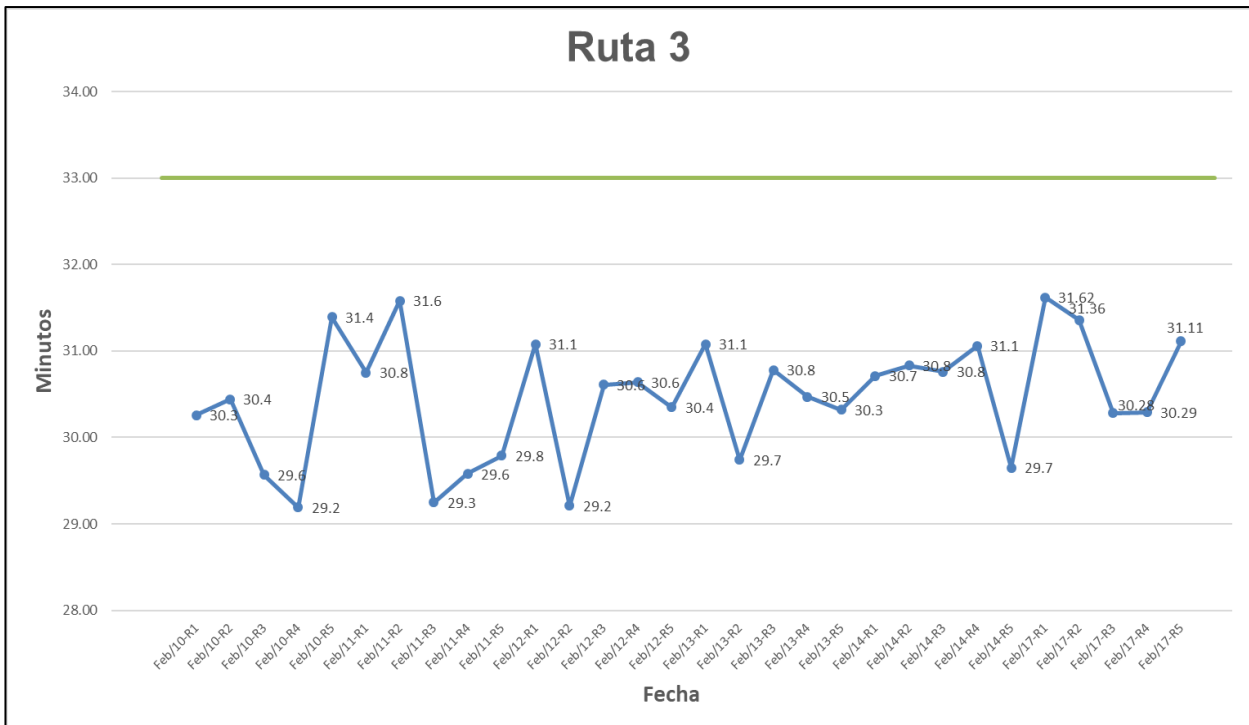


Figura 22: Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 3 (30 días posteriores al rediseño de ruta). Fuente: Elaboración propia.

El diagnóstico inicial identificó en Ruta 4 9.3 días de inventario en proceso con una distancia recorrida de 2,115 ft en un lapso de 76.31 minutos en cada una de las siete vueltas por turno. En Figura 23 es mostrado a detalle el mapa de la cadena de valor y en Figura 24 el detalle de los recorridos efectuados.

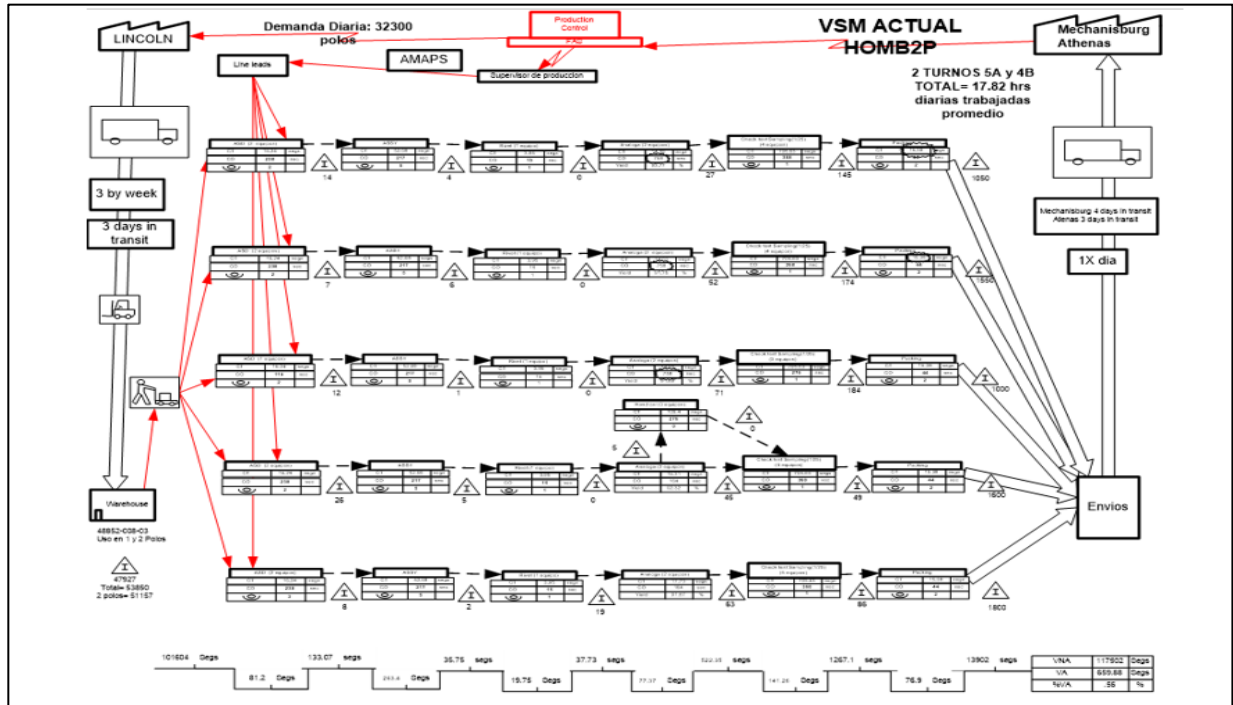


Figura 23: Mapa de cadena de valor VSM Ruta 3. Fuente: Elaboración propia.

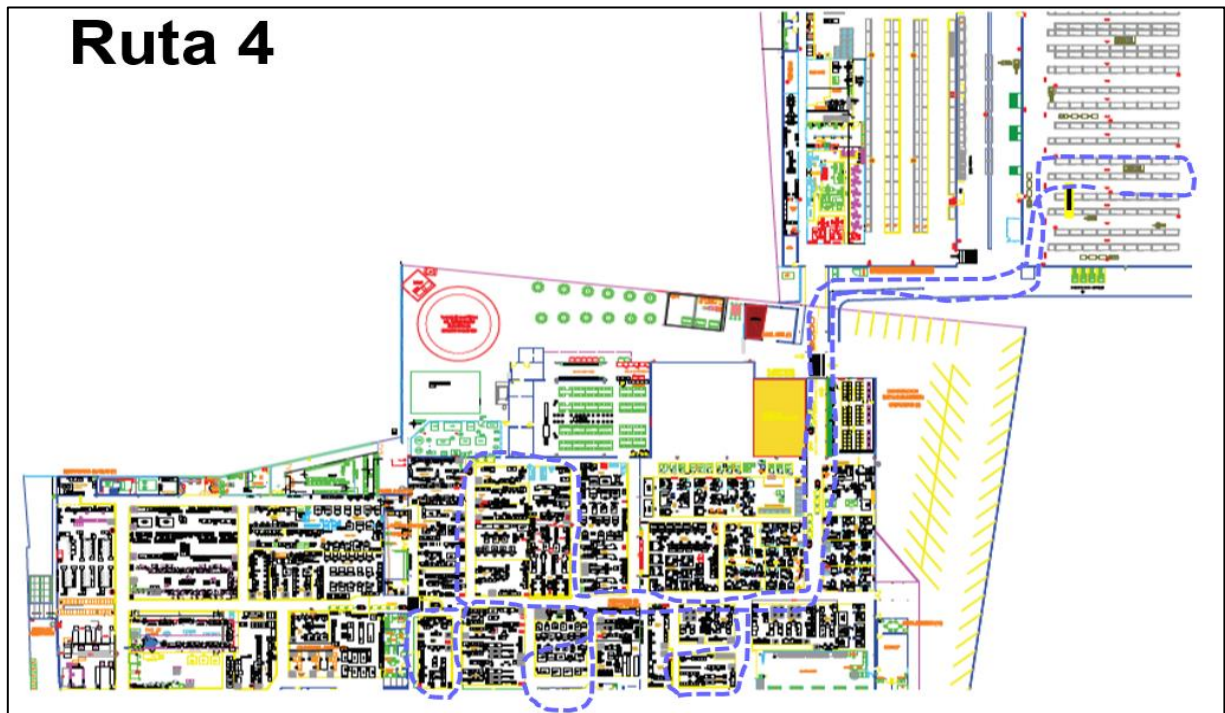


Figura 24: Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 4 – Condición inicial. Fuente: Elaboración propia.

El plan para cada parte (PFEP) es mostrado en la Tabla 14 donde el requerimiento hora por hora de 920 piezas fue establecido conforme a la meta diaria y fueron definidas las cantidades a suministrar de los diferentes números de parte con sus respectivos tipos de contenedor, cantidad y peso para las células de la familia HOMB2P de ruta 4.

Tabla 14: Tabla de datos de PFEP Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.

Célula: HOMB2P		PFEP - Ruta 4							
Meta diaria: 8,000									
Requerimiento hrxhr: 920									
10% FS 1011									
Número	Célula	Número de parte	Descripción	Uso	Cantidad por Contenedor	Contenedor #	Cantidad de Contenedores	Peso x Contenedor (Kg)	
1	HOMB2P	48118-009-09	handle, 70 amp	1	1011	3	2	5.46	
2	HOMB2P	48118-459-01	slide	1	1011	3	2	15.16	
3	HOMB2P	48852-012-53	jaw assy	1	1011	3	2	11.62	
4	HOMB2P	48930-004-01	tog spring blue	1	1011	3	2	15.08	
5	HOMB2P	EAV56840	blade-bimetal assembly 70 amp	1	1011	2	2	10.44	
6	HOMB2P	48810-062-01	lug, aluminum	1	1011	2	2	8.09	
7	HOMB2P	48118-139-01	yoke, arc chamber	1	1011	7	2	13.22	
8	HOMB2P	48118-083-04	crossbar key	2	2023	3	4	11.45	
9	HOMB2P	48015-022-01	reset pin	1	1011	3	2	8.46	
10	HOMB2P	48118-059-01	trip lever	1	1011	3	2	11.20	
11	HOMB2P	48820-016-01	screw, calibration	1	1011	3	2	16.49	
12	HOMB2P	24101-08201	rivet semi-tubular riv oval hd 0.125in x	1	1011	3	2	6.29	
13	HOMB2P	48118-459-01	slide	1	1011	3	2	9.40	
14	HOMB2P	48118-009-02	handle, 15 amp	1	1011	3	2	16.45	
15	HOMB2P	48118-118-51	blade assembly	1	1011	2	2	12.75	
16	HOMB2P	48118-265-51	bim&yoke ay 15a	1	1011	2	2	5.52	
17	HOMB2P	48852-012-51	jaw assy	1	1011	3	2	9.12	
18	HOMB2P	48030-026-02	spring, armature	1	1011	3	2	8.56	
19	HOMB2P	48118-088-50	armature assembly	1	1011	3	2	10.75	
20	HOMB2P	48030-023-01	spring, toggle	1	1011	3	2	4.39	
21	HOMB2P	48118-009-02	handle, 15 amp	1	1011	3	2	10.61	

El recorrido completo de Ruta 4 mostrado en Figura 25 quedó diseñado con 9 puntos de entrega y un tiempo total de 23.06 minutos, 10.56 minutos consumidos en la transportación y 12.5 minutos repartidos en las actividades de abastecimiento a células.

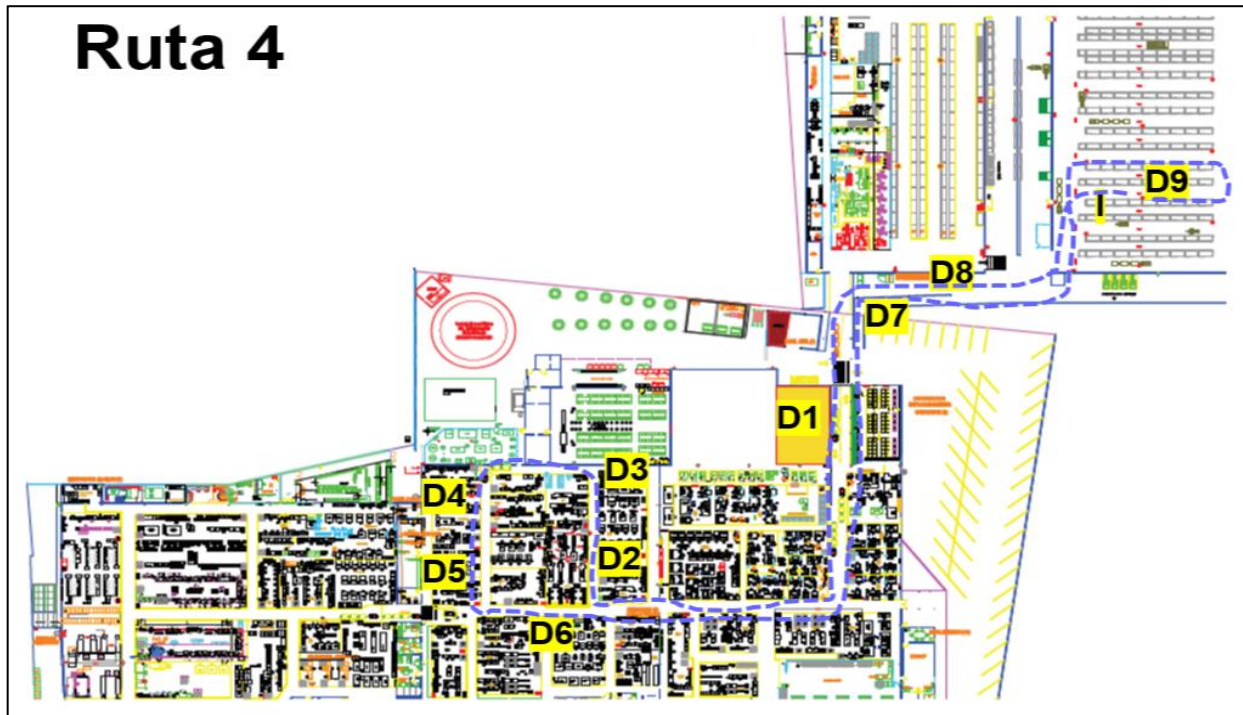


Figura 25: Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias recorridas de los diferentes puntos de entrega son mostradas en Tabla 15 donde es observado el segmento entre I – D1 con la mayor distancia de 386 pies y un tiempo consumido de 2.35 minutos. La distancia total recorrida fue de 1,736 pies.

Tabla 15: Distancias y tiempos de recorrido Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.

Distancias recorridas Ruta 4			
Origen	Destino	Distancia (Pies)	Tiempo (Minutos)
I	D1	386	2.35
D1	D2	278	1.69
D2	D3	53	0.323
D3	D4	98	0.597
D4	D5	55	0.335
D5	D6	68	0.414
D6	D7	377	2.29
D7	D8	51	0.31
D8	D9	370	2.25
	Total	1,736	10.56

El detalle de las actividades ejecutadas con sus respectivos tiempos antes y después de realizar el diseño de la Ruta 1 aplicando la herramienta SMED son observados en Tabla 16. Los tiempos marcados en color amarillo fueron de transportación y la diferencia entre los totales fue de 53.25 minutos.

Tabla 16: Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 4. Fuente: Elaboración propia.

		Total de Actividades	Removiendo Actividades convertidas a Externas
No.	Actividad	Tiempo (min)	Tiempo (min)
1	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
2	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
3	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
4	Llenado de contenedores	20	
5	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
6	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
7	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
8	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	6	
9	Transportación de Almacén a Producción - D1	2.35	2.35
10	Recolección de subensambles	2	2
11	Transportación de Almacén a Producción - D2	1.69	1.69
12	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
13	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
14	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
15	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
16	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
17	Transportación de Almacén a Producción - D3	0.323	0.323
18	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
19	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
20	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
21	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
22	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
23	Transportación de Almacén a Producción - D4	0.597	0.597
24	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
25	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
26	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
27	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
28	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
29	Transportación de Almacén a Producción - D5	0.335	0.335
30	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
31	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
32	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
33	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
34	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
35	Transportación de Almacén a Producción - D6	0.414	0.414
36	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
37	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
38	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
39	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
40	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
41	Transportación de Producción a compactadora de cartón - D7	2.29	2.29
42	Bajar cartones y colocar en cartonera.	1	1
43	Transportación de compactadora de cartón a Área de retornos - D8	0.31	0.31
44	Bajar contenedores (Totes, charolas de plástico)	1	1
45	Bajar retornos	1	1
46	Transportación de Área de retornos a Almacén - D9	2.25	2.25
Tiempo Total (min)		76.31	23.06

El monitoreo del desempeño de Ruta 4 es mostrado en Figura 26 donde los resultados obtenidos reflejaron una tendencia por debajo de los 25 minutos durante un periodo de 30 días consecutivos.

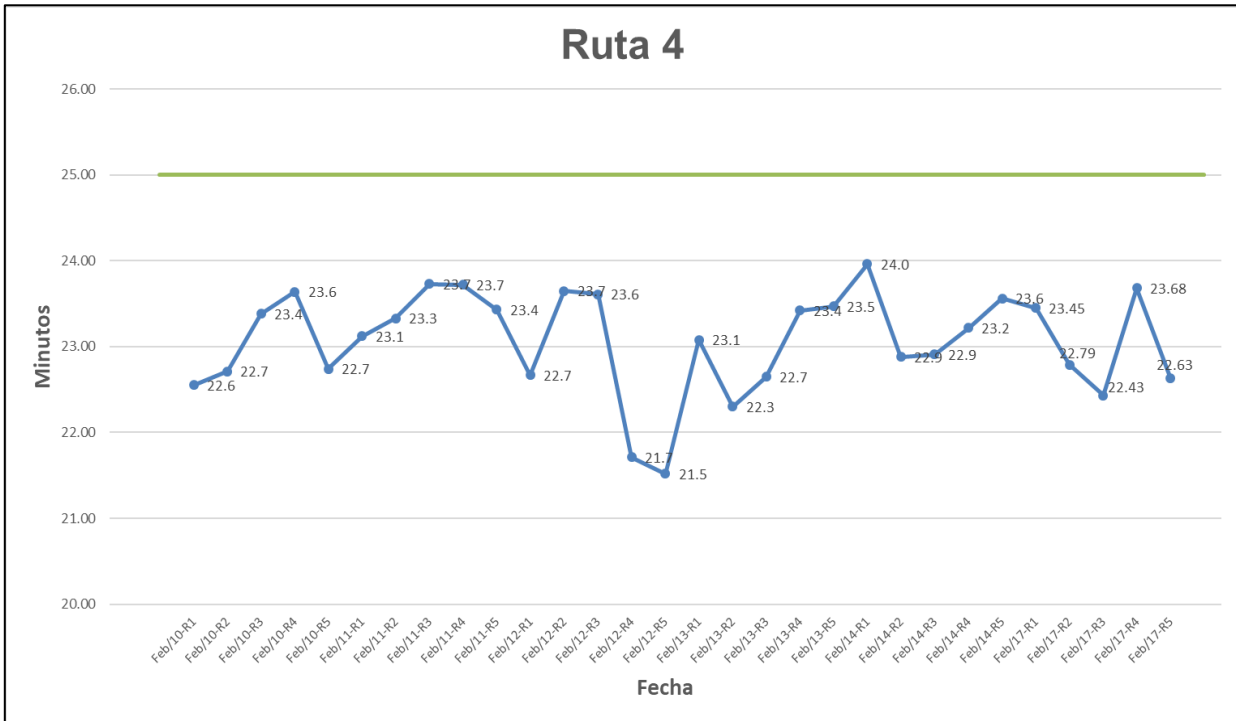


Figura 26: Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 4 (30 días posteriores al rediseño de ruta). Fuente: Elaboración propia

El diagnóstico inicial identificó en Ruta 5 16.3 días de inventario en proceso con una distancia recorrida de 2,377 ft en un lapso de 77.95 minutos en cada una de las siete vueltas por turno. En Figura 27 es mostrado a detalle el mapa de la cadena de valor y en Figura 28 el detalle de los recorridos efectuados.

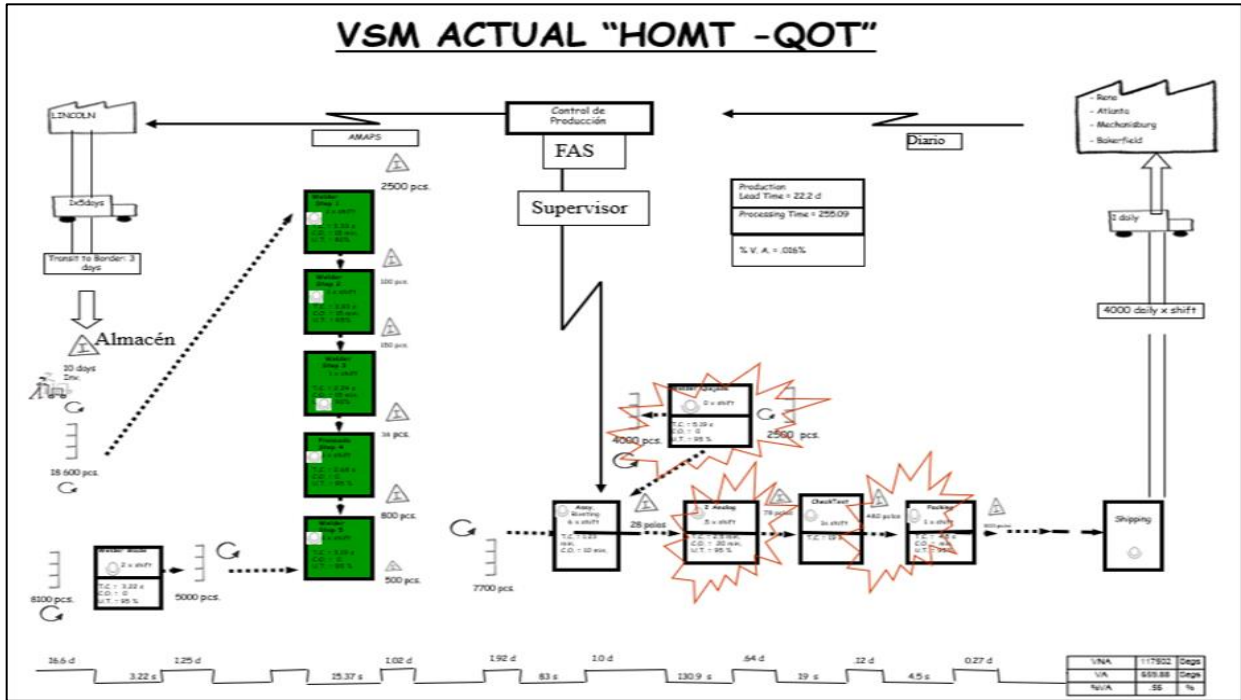


Figura 27: Mapa de cadena de valor VSM Ruta 5. Fuente: Elaboración propia.

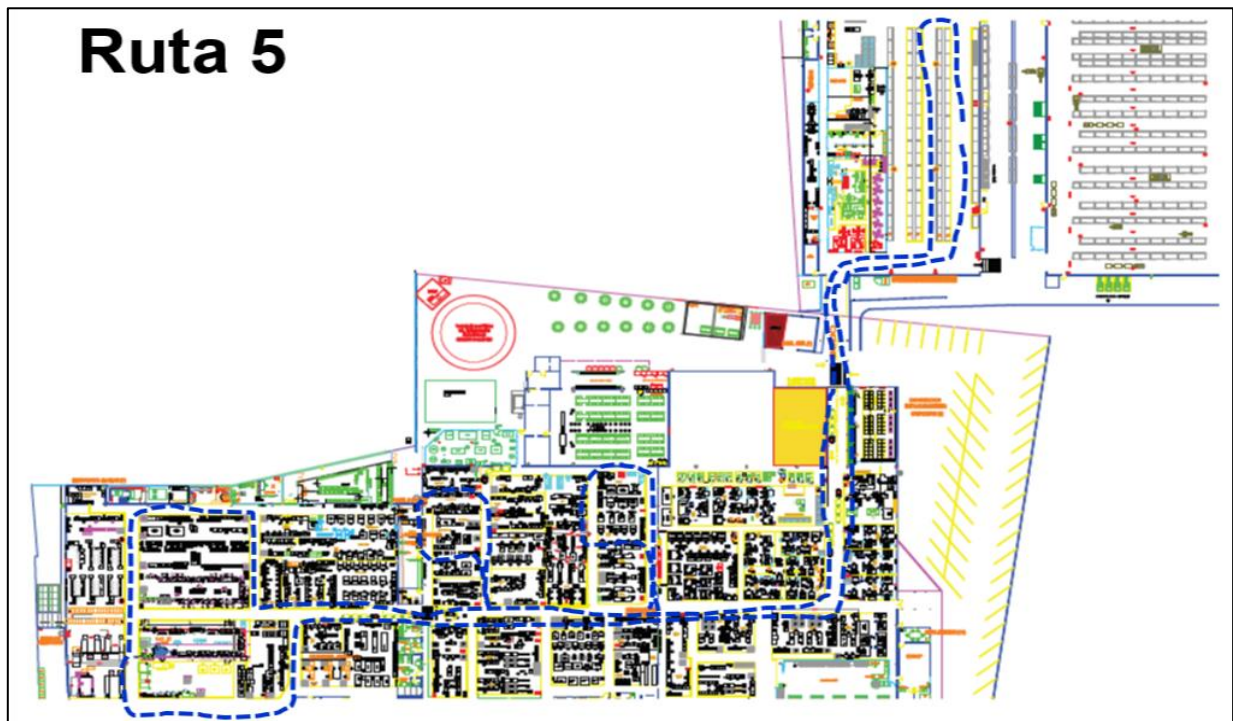


Figura 28: Diagrama Espagueti del recorrido Ruta 5 – Condición inicial. Fuente: Elaboración propia.

El plan para cada parte (PFEP) es mostrado en la Tabla 17 donde el requerimiento hora por hora de 632 piezas fue establecido conforme a la meta diaria y fueron definidas las cantidades a suministrar de los diferentes números de parte con sus respectivos tipos de contenedor, cantidad y peso para las células de la familia HOMT-QOT de Ruta 5.

Tabla 17: Tabla de datos de PFEP Ruta 5. Fuente: Elaboración propia.

Célula: HOMT-QOT		PFEP - Ruta 5						
Meta diaria: 5,500								
Requerimiento hrxhr: 632								
10% FS 695								
Número	Célula	Número de parte	Descripción	Uso	Cantidad por Contenedor	Contenedor #	Cantidad de Contenedores	Peso x Contenedor (Kg)
1	HOMT-QOT	48852-012-57	jaw-spring assembly	1	695	3	2	7.40
2	HOMT-QOT	48830-001-02	horn jaw spring	2	1391	3	4	8.52
3	HOMT-QOT	48852-011-51	jaw cont assy	1	695	3	2	13.01
4	HOMT-QOT	48852-006-01	horn jaw	2	1391	3	4	12.78
5	HOMT-QOT	48118-459-01	slide	1	695	2	2	6.54
6	HOMT-QOT	48030-023-01	spring, toggle	1	695	2	2	8.37
7	HOMT-QOT	48118-009-02	handle, 15 amp	1	695	7	2	11.11
8	HOMT-QOT	48030-026-01	spring, armature	1	695	3	2	15.12
9	HOMT-QOT	48118-120-01	armature	1	695	3	2	11.55
10	HOMT-QOT	48118-125-01	compensator	2	1391	3	4	16.11
11	HOMT-QOT	48118-136-01	latch plate	1	695	3	2	6.91
12	HOMT-QOT	48118-686-02	button, test	1	695	3	2	4.58
13	HOMT-QOT	48118-839-61	module/ground wire assy	1	695	3	2	13.18
14	HOMT-QOT	48808-003-01	insulator tube	1	695	3	2	7.62
15	HOMT-QOT	48100-117-03	ground wire	1	695	2	2	14.38
16	HOMT-QOT	48118-404-66	yoke/blade assembly	1	695	2	2	12.78
17	HOMT-QOT	48118-118-52	blade assembly	1	695	3	2	7.46
18	HOMT-QOT	48000-003-06	bimetal (15a)	1	695	3	2	5.37
19	HOMT-QOT	48118-123-01	magnetic yoke	1	695	3	2	6.03
20	HOMT-QOT	48118-744-50	coil assy	1	695	3	2	7.27
21	HOMT-QOT	48118-684-01	connector	2	1391	3	4	9.81

El recorrido completo de Ruta 5 mostrado en Figura 29 quedó diseñado con 9 puntos de entrega y un tiempo total de 24.70 minutos, 12.20 minutos consumidos en la transportación y 12.5 minutos repartidos en las actividades de abastecimiento a células.

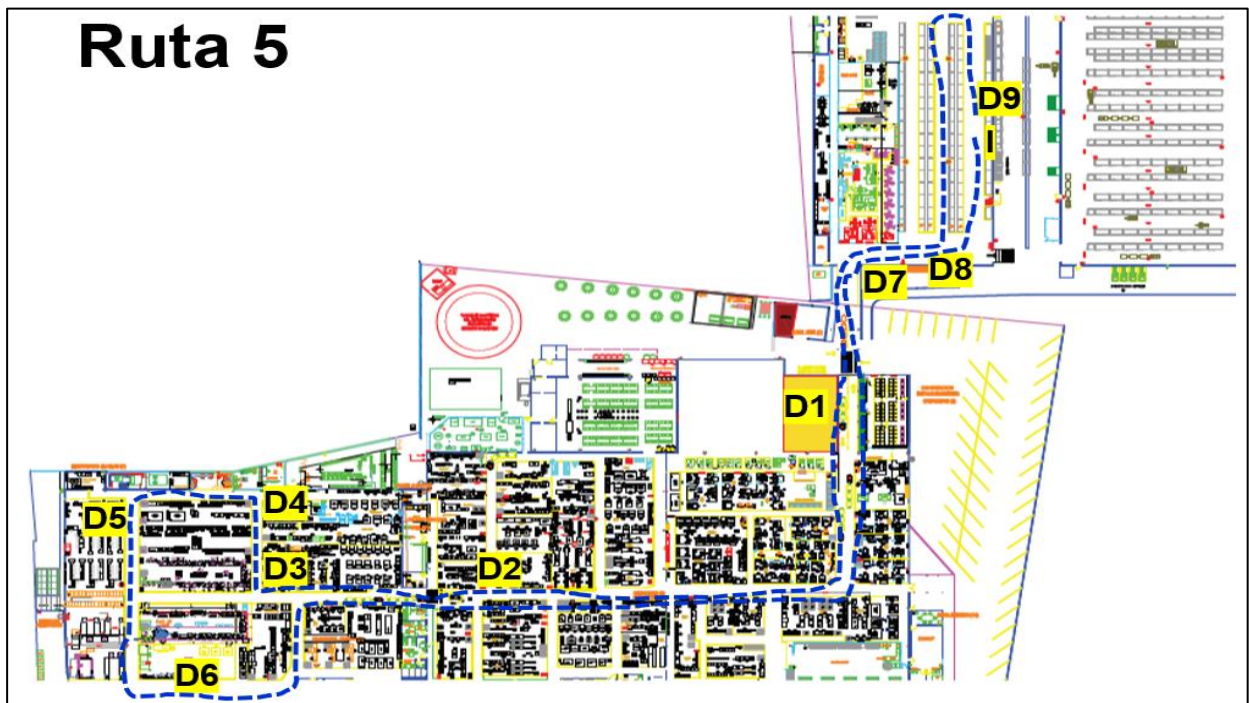


Figura 29: Diagrama Espagueti del recorrido de Ruta 5. Fuente: Elaboración propia.

Las distancias recorridas de los diferentes puntos de entrega son mostradas en Tabla 18 donde es observado el segmento entre D6 – D7 con la mayor distancia de 639 pies y un tiempo consumido de 3.89 minutos. La distancia total recorrida fue de 2,003 pies.

Tabla 18: Distancias y tiempos de recorrido Ruta 5. Fuente: Elaboración propia.

Distancias recorridas Ruta 5			
Origen	Destino	Distancia (Pies)	Tiempo (Minutos)
I	D1	267	1.628
D1	D2	394	2.4
D2	D3	71	0.4329
D3	D4	37	0.225
D4	D5	110	0.67
D5	D6	153	0.932
D6	D7	639	3.89
D7	D8	51	0.31
D8	D9	281	1.71
	Total	2,003	12.20

El detalle de las actividades ejecutadas con sus respectivos tiempos antes y después de realizar el diseño de la Ruta 5 aplicando la herramienta SMED son observados en Tabla 19. Los tiempos marcados en color amarillo fueron de transportación y la diferencia entre los totales fue de 53.25 minutos.

Tabla 19: Tiempos de diseño de las actividades del recorrido Ruta 5. Fuente: Elaboración propia.

		Total de Actividades	Removiendo Actividades convertidas a Externas
No.	Actividad	Tiempo (min)	Tiempo (min)
1	Bajar contenedores de los vagones a carrito	1.5	
2	Acomodo de contenedores por familia.	1.5	
3	Trasladar a área donde se encuentran los materiales	0.5	
4	Llenado de contenedores	20	
5	Abrir TO (Orden de Transferencia)	1	
6	Trasladar carro con materiales al Vehículo de entrega	0.5	
7	Cerrar TO (Orden de Transferencia)	1	
8	Acomodo de contenedores en Vagón de Vehículo de entrega	6	
9	Transportación de Almacén a Producción - D1	1.628	1.628
10	Recolección de subensambles	2	2
11	Transportación de Almacén a Producción - D2	2.4	2.4
12	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
13	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
14	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
15	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
16	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
17	Transportación de Almacén a Producción - D3	0.4329	0.4329
18	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
19	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
20	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
21	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
22	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
23	Transportación de Almacén a Producción - D4	0.225	0.225
24	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
25	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
26	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
27	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
28	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
29	Transportación de Almacén a Producción - D5	0.67	0.67
30	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
31	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
32	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
33	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
34	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
35	Transportación de Almacén a Producción - D6	0.932	0.932
36	Bajar contenedores de los vagones y colocar en línea	2	
37	Recoger contenedores vacíos y colocar en vagón.	2	
38	Recoger contenedores con material de retorno.	1	1
39	Recoger cartones en punto estratégico.	0.5	0.5
40	Revisión de Requisiciones Kanban	0.25	
41	Transportación de Producción a compactadora de cartón - D7	3.89	3.89
42	Bajar cartones y colocar en cartonera.	1	1
43	Transportación de compactadora de cartón a Área de retornos - D8	0.31	0.31
44	Bajar contenedores (Totes, charolas de plástico)	1	1
45	Bajar retornos	1	1
46	Transportación de Área de retornos a Almacén - D9	1.71	1.71
Tiempo Total (min)		77.95	24.70

El monitoreo del desempeño de Ruta 5 es mostrado en Figura 30 donde los resultados obtenidos reflejaron una tendencia por debajo de los 27 minutos durante un periodo de 30 días consecutivos.

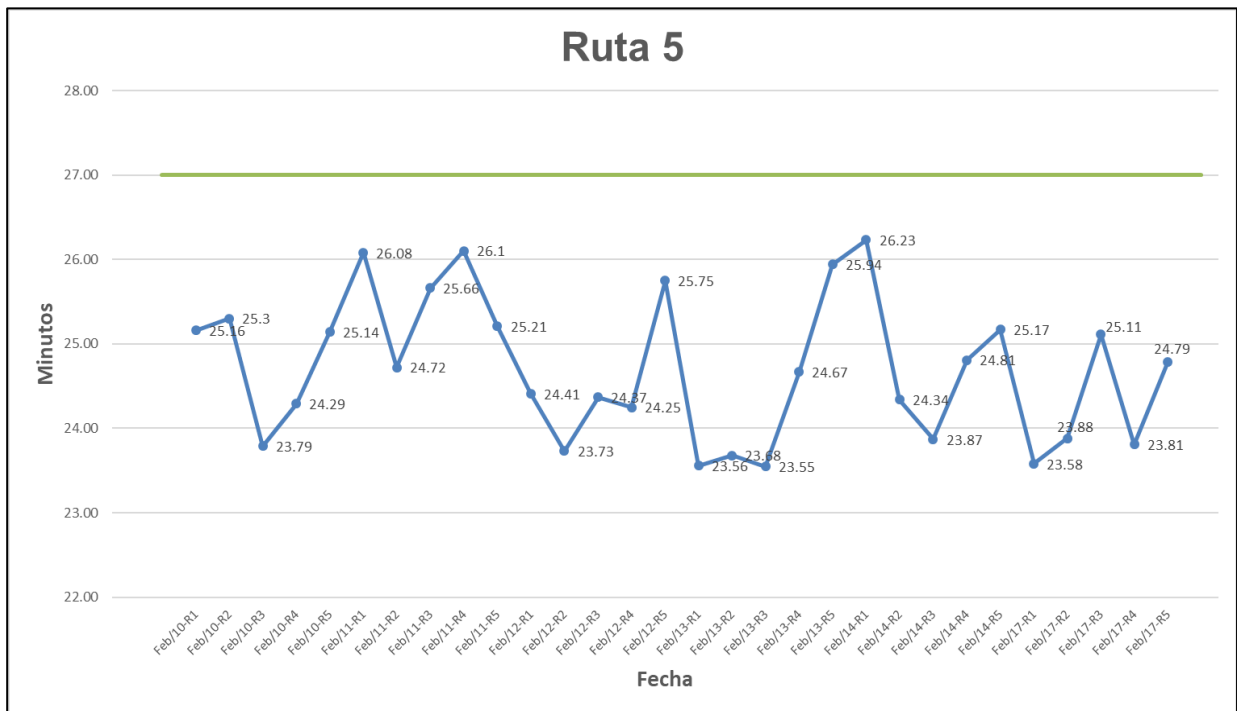


Figura 30: Tendencia en tiempos de recorrido Ruta 5 (30 días posteriores al rediseño de ruta). Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 6. Discusión de Resultados

El estudio de datos recolectados utilizó el software Minitab ejecutando un análisis de varianza (Anova) para conocer la existencia de variación entre las medias de los tiempos de recorrido observados en la Tabla 20.

Tabla 20: Tiempos de recorrido antes y después de cada una de las Rutas. Fuente: Elaboración propia.

Muestra	Rutas									
	1		2		3		4		5	
	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
1	89.00	23.19	91.32	27.05	87.02	30.26	76.90	22.55	77.79	25.16
2	88.40	22.52	91.90	26.94	88.33	30.44	75.60	22.71	74.10	25.3
3	87.30	22.13	92.77	26.06	87.11	29.57	76.27	23.38	75.30	23.79
4	89.00	23.55	92.33	27.85	88.45	29.19	77.11	23.64	74.57	24.29
5	87.50	22.74	92.00	25.15	87.07	31.39	76.78	22.74	78.67	25.14
6	88.00	22.18	91.00	27.03	87.42	30.75	76.54	23.12	76.90	26.08
7	89.00	23.42	91.44	26.09	88.23	31.58	77.02	23.33	79.27	24.72
8	87.12	22.77	91.25	28.52	87.70	29.25	76.12	23.73	78.13	25.66
9	89.00	22.31	91.19	26.88	88.20	29.58	76.52	23.72	79.88	26.1
10	88.00	22.81	92.00	26.59	88.04	29.79	76.22	23.43	78.32	25.21
11	87.86	23.09	92.06	26.91	87.80	31.08	76.07	22.67	73.78	24.41
12	89.00	22.71	91.12	26.11	87.92	29.21	75.21	23.65	76.05	23.73
13	88.00	21.89	91.39	27.09	88.60	30.61	76.17	23.61	80.29	24.37
14	87.00	22.06	91.44	27.11	88.70	30.64	76.93	21.71	78.04	24.25
15	86.00	21.99	91.12	26.85	87.88	30.35	75.16	21.52	80.42	25.75
16	88.00	23.33	91.55	27.67	87.08	31.08	76.07	23.08	76.08	23.56
17	87.00	22.56	91.79	26.03	87.77	29.74	76.18	22.30	77.46	23.68
18	89.00	23.88	91.80	26.15	88.65	30.78	75.90	22.65	77.74	23.55
19	87.00	22.58	92.40	26.87	87.93	30.47	76.88	23.42	80.44	24.67
20	88.00	23.09	91.30	25.99	87.90	30.32	75.47	23.47	77.83	25.94
21	87.09	24.03	92.04	26.16	87.21	30.71	76.18	23.96	78.35	26.23
22	87.00	23.59	91.66	26.87	87.64	30.83	76.54	22.88	81.10	24.34
23	89.00	23.2	91.32	26.32	87.91	30.76	76.27	22.91	77.28	23.87
24	88.00	24.09	92.16	26.77	88.43	31.06	76.89	23.22	79.96	24.81
25	86.79	23.67	91.21	26.75	88.76	29.65	76.72	23.56	80.86	25.17
26	89.00	23.14	92.90	27.02	87.84	31.62	77.00	23.45	77.48	23.58
27	87.00	23.83	92.02	26.92	87.92	31.36	76.21	22.79	80.91	23.88
28	88.00	23.79	92.11	27.61	88.09	30.28	76.34	22.43	78.67	25.11
29	89.00	22.04	91.40	26.08	88.51	30.29	76.00	23.68	78.88	23.81
30	88.12	23.65	91.15	26.94	88.66	31.11	76.03	22.63	73.87	24.79

Los resultados del análisis de muestras de Ruta 1 es mostrado en la Figura 31 en la sección de Medias, donde es observada una media menor con el método propuesto equivalente a 22.9 minutos en comparación del método tradicional con una media de 87.9 minutos. Al interpretar los resultados obtenidos es posible afirmar con un intervalo de confianza del 95% el nuevo tiempo de recorrido de Ruta 1 fluctuó entre 22.71 y 23.27

El análisis de muestras fue repetido para el resto de las rutas y los resultados obtenidos consolidados del antes y después son mostrados en la Figura 33.

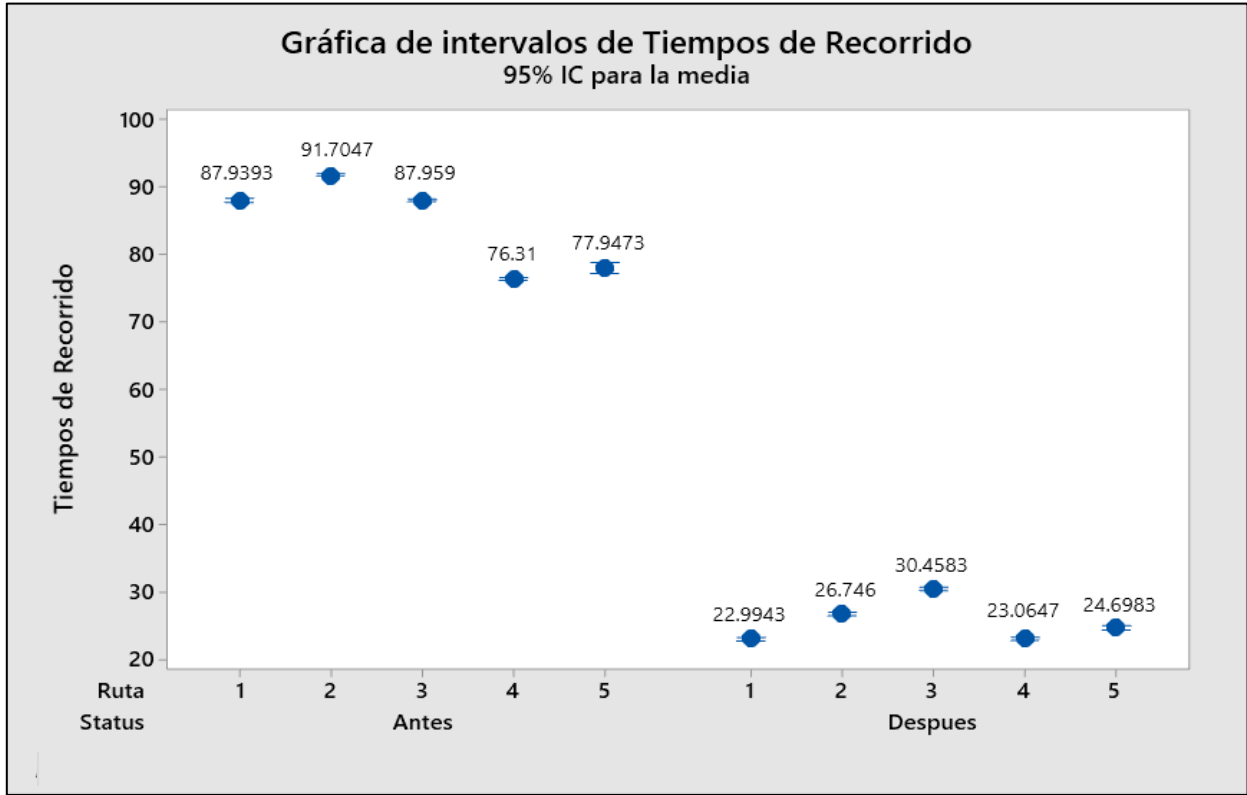


Figura 33: Intervalos de confianza de tiempos de recorrido antes y después. Fuente: Elaboración propia con Minitab 2019.

La Tabla 21 muestra las reducciones de tiempo de la Ruta 1 hasta la Ruta 5 donde es observado desde un porcentaje mínimo del 65.37% hasta un máximo del 73.86% excediendo el objetivo de reducción del 30% en el tiempo de recorrido de las Rutas.

Tabla 21: Sumario de tiempos de recorrido antes y después de todas las rutas con un Intervalo de confianza del 95%. Fuente: Elaboración propia con Minitab 2019.

Ruta	IC de 95%		
	Antes (Minutos)	Después (Minutos)	% de Reducción de tiempo
Ruta 1	(87.656, 88.223)	(22.711, 23.278)	73.86%
Ruta 2	(91.4882, 91.9211)	(26.530, 26.962)	70.83%
Ruta 3	(87.7328, 88.1852)	(30.232, 30.685)	65.37%
Ruta 4	(76.1050, 76.5150)	(22.860, 23.270)	69.78%
Ruta 5	(77.352, 78.543)	(24.103, 25.294)	68.31%

La Tabla 22 muestra los tiempos de ciclo promedio de cada una de las Rutas donde es observado un tiempo de ciclo mínimo de 22.99 minutos hasta un máximo de 30.46 minutos logrando la reducción por debajo de los 45 minutos como tiempo objetivo de la investigación.

Tabla 22: Tiempos de ciclo promedios antes y después de cada una de la Rutas. Fuente: Elaboración propia.

	Tiempos de Ciclo promedio en Minutos		
	Antes	Después	% de Reducción de tiempo
Ruta 1	87.94	22.99	73.86%
Ruta 2	91.70	26.75	70.83%
Ruta 3	87.96	30.46	65.37%
Ruta 4	76.31	23.06	69.78%
Ruta 5	77.95	24.90	68.31%

La Tabla 23 muestra las distancias recorridas desde la Ruta 1 hasta la Ruta 5 donde es observada una reducción mínima de 364 pies y una máxima de 451 pies derivada de los cambios efectuados en el nuevo diseño de las rutas.

Tabla 23: Distancias recorridas antes y después de cada una de la Rutas. Fuente: Elaboración propia.

	Distancia recorrida (Pies)			% de Reducción de distancia
	Antes	Después	Diferencia	
Ruta 1	2,422	1,971	451	18.62%
Ruta 2	3,012	2,585	427	14.18%
Ruta 3	2,576	2,212	364	14.13%
Ruta 4	2,115	1,736	379	17.92%
Ruta 5	2,377	2,003	374	15.73%

A partir de los resultados obtenidos y mostrados en las Tablas 21 y 22, con una confianza del 95%, el tiempo de ciclo promedio de Ruta 1 fue identificado en un intervalo entre 22.71 y 23.78 minutos, de Ruta 2 entre 26.53 y 26.96 minutos, de Ruta 3 entre 30.23 y 30.68 minutos, de Ruta 4 entre 22.86 y 23.27 minutos y Ruta 5 entre 24.10 y 25.29 minutos. Es información estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula y asumir la

alternativa validando el diseño de Rutas utilizando la herramienta PFEP y siguiendo las directrices SMED contribuye a obtener tiempos de ciclo promedio menores a 45 minutos.

El objetivo de reducción del 30% fue cumplido con una confianza del 95% al lograr un porcentaje de reducción para Ruta 1 encontrado en un intervalo entre 73.56% y 74.14%, para Ruta 2 entre 70.55% y 71.11%, para Ruta 3 entre 65.05% y 65.68%, para Ruta 4 entre 69.48% y 70.06% y para Ruta 5 entre 67.82% y 68.76%.

Los nuevos diseños de Rutas consideraron puntos de entrega específicos omitidos en las rutas establecidas con el método tradicional y los tiempos de diseño fueron calculados tomando como base las distancias recorridas y la velocidad del vehículo de entrega.

Las actividades ejecutadas durante los recorridos fueron clasificadas como internas y externas de acuerdo con las directrices SMED convirtiendo en la medida de lo posible las actividades internas a externas logrando disminuir los tiempos repartidos entre trasportación y las actividades propias del abastecimiento.

Capítulo 7. Conclusiones

El tiempo de ciclo promedio de una ruta de surtimiento con un intervalo de confianza del 95% fue reducido entre 22.06 a 29.73 minutos demostrando un tiempo menor a 45 minutos para las cinco Rutas.

El objetivo de reducción del 30% fue cumplido con una confianza del 95% al lograr un porcentaje de reducción mínimo del 65.05% y un máximo del 73.56%.

Una investigación futura debería identificar las tecnologías para minimizar los tiempos de carga y descarga durante los procesos de abastecimiento de materiales.

Referencias bibliográficas

- Butler, M. (2018). Porque los sistemas automatizados de almacenamiento y recuperacion son criticos para la operacion de su bodega. Revista: *Industria alimenticia*, p.30-31. Chile. Recuperado de Cetys:
<http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=134010683&site=ehost-live>
- Carranza, V. J. (2015). Propuesta de Mejora a Sistema de Surtimiento de Materiales en líneas de Ensamble, mediante la aplicación de herramientas Lean Manufacturing. *Academia Journals*, p.348-353. México, D.F. Recuperado de Cetys:
<http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=128830732&site=ehost-live>
- Castro Castell, O. (2015). Gestion de la cadena de abastecimiento para la competitividad empresarial. *Sinapsis: Revista de investigaciones de la escuela de administracion y mercadotecnia del Quindio EAM.*, p.149-157. Colombia. Recuperado de Cetys:
<http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=111597688&site=ehost-live>
- Egbelu, P. R. (1988). Material flow control in AGV/unit load based production lines. *International journal of production research*, 26(1), p.81. India. Recuperado de Cetys: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1080/00207548808947842>
- Emde, S. (2017). Scheduling the replenishment of just-in-time supermarkets in assembly plants. *Journal OR Spectrum*, p.321. Japan.
- Gelves-Tello, N. A (2016). Solucion del problema de ruteo de vehiculos con demandas estocasticas mediante la optimizacion por espiral. *Revista Facultad de Ingenieria - UPTC.*,p.7-19. Colombia. Recuperado de Cetys:
<https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.19053/01211129.4626>
- Gonzalez, B.(2017). SMED: Reducción de tiempos de cambio de la línea de producción maíz en el área de empaque de una empresa elaboradora de botanas en la Región Sur de Sonora. *Revista Administracion y Finanzas.* p.16-29. Cd. Obregón, Sonora.
- Icarte Ahumada, G. (2016). Aplicaciones de inteligencia artificial en procesos de cadenas de suministros: Una revision sistematica. *INGENIATE - Revista Chilena de ingenieria*, p.663-679. Chile. Recuperado de Cetys:
<http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=119800946&site=ehost-live>
- Jimenez Garcia, J. M. (2014, Febrero 14). Reduccion del desperdicio (espera) en lineas de ensamble mediante el uso de heurísticas y escenarios de simulacion. *DYNA - Ingenieria e industria.*, p.50-80. España.Recuperado de Cetys:
<http://ebiblio.cetys.mx:4083/10.6036/5833>

- Madrigal Moreno, S. A. (2019). Vehiculos de guiado autonomo (Agv) en aplicaciones industriales: Una revision. *Revista Politecnica*, p.117 - 137. México, D.F. Recuperado de Cetys: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.33571/rpolitec.v15n28a11>
- Mendoza Rivadeneira, M. &. (2016). El abastecimiento estrategico y su aplicacion en la empresas. *Revista Saber, ciencia y libertad*, p.129-140. México, D.F. Recuperado de Cetys: <http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=125341939&site=ehost-live>
- Mike Rother, J. S. (1999). *Learning to see*. (7th ed.) Brookline, Massachusetts: Lean Enterprise Institute. Boston.
- Monden, Y. (2012). *Toyota Production System* (4ta Ed. ed.). (T. a. Group, Ed.) Boca Raton,, Florida, USA: CRC Press.
- Namay, T. C. (2015). Modelo matematico de planificacion de rutas para minimizar los costos del reparto". *Revista Innovacion en Ingenieria*.p.167-179. Colombia.
- Ni, Y. C. (2017). Integrated optimization of multiple warehouse replenishment for semiconductor manufacturing. *Soc. Mech. Sci Eng.*, 4601. New York.
- Pulido, R. &.-S.-M. (2014). MILP for the Inventory and Routing for Replenishment Problem in the Car Assembly Line. *International Journal of Production Management and Engineering*.p.112-124.
- Qu, T. Y. (2012). A case of implementing RFID-based real-time shop-floor material. *Journal Intell Manuf*, p.23.
- Resnick, R. &. (2004). *Fisica*. (11^a ed.) CECSA, México, D.F.
- Rodriguez, D. B. (2014). Evolucion de los sistemas de almacenamiento automatico en sistemas de fabricacion flexible. *3C Tecnologia*, p.257-267. Recuperado de Cetys:<http://ebiblio.cetys.mx:2058/login.aspx?direct=true&db=fap&AN=100418068&site=ehost-live>
- Sargent, R. (1998). Verification and validation of simulation models. *Proceedings of the 30th conference on Winter simulation*, p.121-130.
- Solarte Martinez, G. C. (2015). Optimization of a vehicular routing using simple genetic chu-beasley algorithm. *Tecnura*, 19(44), p.93-108. Recuperado de Cetys: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.2.a07>
- Spiegel, M. L. (2012). *Estadistica*. (6ta ed.) Mexico, D.F.: McGraw Hill.
- Tim Conrad, R. R. (2011). *Turbo Flow: Using Plan for Every Part (PFEP) to Turbo Charge Your Supply Chain*. (2th ed.) New York: CRC Press.
- Volling, T. G. (2013). An integrated inventory-transportation system with periodic pick-ups and leveled replenishment. *International journal of performability engineering*, p.173.

Wan Xu, Q. W. (2017). Path planning for multi-AGV System based on two-stage scheduling. *International journal of performability engineering*, p.1347-1357. Recuperado de Cetys: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.23940/ijpe.17.08.p16.13471357>

Yao, M. -J.-C. (2018). An efficient search algorithm for obtaining the optimal replenishment strategies in assembly-type just-in-time supply chain systems. *Journal of industrial & Production Engineering*, p.118-128. Recuperado de Cetys: <https://ebiblio.cetys.mx:4083/10.1080/21681015.2017.1422041>