



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Mejoramiento del tiempo de operación en procesos de ensamble bimanual basado en técnicas de optimización computacional

María Juliana Cardona Márquez

Universidad Nacional de Colombia
Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Industrial
Manizales, Colombia

2016

Mejoramiento del tiempo de operación en procesos de ensamble bimanual basado en técnicas de optimización computacional

**Time operation improvement in bimanual assembly
processes based on computational optimization
techniques**

María Juliana Cardona Márquez

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería Industrial

Director:

PhD. Omar Danilo Castrillón Gómez

Codirector:

M.Sc. Héctor Andrés Tinoco

Línea de Investigación:

Desarrollo Tecnológico y Competitividad

Grupo de Investigación:

Innovación y Desarrollo Tecnológico

Universidad Nacional de Colombia

Ingeniería y Arquitectura, Ingeniería Industrial

Manizales, Colombia

2016

A mi familia y a mis amigos.

Agradecimientos

Quiero agradecer a todas las personas que hicieron posible esta apuesta investigativa. En primer lugar, a mi director de tesis Omar Danilo Castrillón Gómez y co-director de tesis, Héctor Andrés Tinoco Navarro, quienes me permitieron aprender aún más del mundo de la ingeniería industrial, particularmente de la ingeniería de métodos y la ciencia de la computación.

Agradezco también a mis colegas de la Universidad Autónoma de Manizales, quienes en numerosas ocasiones fueron fuente de inspiración y retroalimentación de mis avances investigativos.

Finalmente, agradecer a mi familia, son mi sustento esencial en vida, en especial, mi hijo Samuel, con quien disfruto aquello que llamo ser madre. Gracias Daniel.

Resumen

Aumentar la productividad es una de las principales tareas de los directivos de las organizaciones. El estudio del trabajo, es una herramienta importante de la ingeniería industrial, que tiene como principal objetivo el aumento de la productividad. Uno de los factores que afecta el indicador es el método que se utiliza en las operaciones, cuando estos métodos son inadecuados, se producen bajos rendimientos, incrementando el tiempo total de las operaciones y por consiguiente el costo.

El presente trabajo tuvo como objetivo, el diseño de una metodología computacional que optimizara el tiempo de ensamble de una operación bimanual en un puesto de trabajo, mediante la identificación del método óptimo de la operación. Inicialmente se realizó una revisión bibliográfica de las técnicas empleadas en el estudio del trabajo, posterior a esto se diseñó la metodología aplicando el algoritmo de optimización de Dijkstra al problema planteado y se realizó una prueba piloto en un puesto de trabajo caso de estudio, con la simulación del proceso de ensamble del método óptimo y los métodos de las demás posibilidades, para analizar las variables de tiempo y distancia.

Los resultados del proyecto arrojaron diferencias estadísticamente significativas entre el método óptimo y los demás métodos, por lo que se concluyó que el método seleccionado por el algoritmo de optimización, sí correspondía con el mejor método a utilizar en la operación. Adicionalmente se encontró que la variación entre los métodos y el óptimo, en la variables de distancias o recorridos realizados no eran muy grandes, por el contrario las variaciones con respecto al tiempo si fueron significativas.

Palabras clave:

Optimización, ingeniería de métodos de trabajo, algoritmo de optimización de Dijkstra, ensamble bimanual.

Abstract

Improve productivity is one of the main tasks of management in the organizations. Work study is an important tool of industrial engineering, whose main objective is increasing productivity. One of the factors that affect the indicator is the method used in operations, when these methods are inadequate, low yields are produced, increasing the total operation time and therefore the cost.

This study aimed the design of a computational methodology to optimize assembly time a bimanual operation on a job, by identifying the optimal method of operation. First, a literature review of the techniques was performed in work study. Second, the methodology was designed using the optimization algorithm Dijkstra the problem planted, and a pilot test was performed on a job case study, with the simulation of assembly process optimal method and methods of other possibilities to analyze the variables of time and distance.

The project results had statistically significant differences between the optimal method and other methods, so it is concluded that, the method selected by the optimization algorithm, matched the best method to use in the operation. Additionally it was found that the variation between methods and optimal method in the variables of distances or route made were not very big, conversely time variations were significant.

Keywords:

Optimization, Working methods engineering, Dijkstra algorithm optimization, Bimanual assembly.

Contenido

AGRADECIMIENTOS.....	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT	IX
CONTENIDO	X
LISTA DE FIGURAS.....	XII
LISTA DE TABLAS	XIII
INTRODUCCIÓN	15
1. MARCO TEÓRICO – REFERENCIAL	20
1.1 RESEÑA HISTÓRICA	21
1.2 EL ESTUDIO DEL TRABAJO	22
1.3 ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS	25
1.3.1 <i>Estudio de métodos</i>	25
1.3.2 <i>Estudio de tiempos</i>	26
1.4 DISEÑO DEL TRABAJO	27
1.4.1 <i>Principios de economía de movimientos</i>	30
1.5 ALGORITMO DE OPTIMIZACIÓN DE DIJKSTRA	34
1.5.1 <i>Teoría de grafos</i>	35
1.6 MARCO REFERENCIAL	36
1.6.1 <i>Panorama del estudio del trabajo y los estudios de tiempos y movimientos</i> 37	
1.6.2 <i>Un vistazo a las aplicaciones del algoritmo de optimización de Dijkstra</i>	42
2. MARCO METODOLÓGICO.....	44
2.1 ETAPA I.....	44
2.2 ETAPA II.....	45
2.3 ETAPA III.....	47
2.4 ETAPA IV	47
3. RESULTADOS	50
3.1 ETAPA I.....	50
3.2 ETAPA II.....	58
3.3 ETAPA III.....	64
3.4 ETAPA IV	67
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	72
4.1 CONCLUSIÓN PRIMER OBJETIVO.....	72
4.2 CONCLUSIÓN SEGUNDO OBJETIVO	72
4.3 CONCLUSIÓN TERCER OBJETIVO	73

4.4	FUTURAS LÍNEAS.....	73
5.	ANEXOS.....	74
5.1	ANEXO 1: MATRIZ D. NODOS, PUNTOS RECORRIDOS, PESOS (Pi) ENSAMBLE TREN DE JUGUETE.....	74
5.2	ANEXO 2: DIAGRAMAS DE FLUJO - CÓDIGOS EN MATLAB.....	93
5.3	ANEXO 3: PLANO DE DISEÑO DEL PUESTO DE TRABAJO ENSAMBLE TREN DE JUGUETE 98	
5.4	ANEXO 4: PLANO TREN DE JUGUETE.....	99
6.	TRABAJOS CITADOS.....	104

Lista de figuras

Figura 1: Estructura del marco teórico y referencial	20
Figura 2: Técnicas de la medición del trabajo	24
Figura 3: Objetivos del estudio de métodos	25
Figura 4: Composición del tiempo tipo	27
Figura 5: Área normal de trabajo – movimiento de dedos, muñeca y codo	33
Figura 6: Escenario de una red	34
Figura 7: Tipos de grafos	35
Figura 8: Árbol de la ciencia – <i>Tree of science</i>	37
Figura 9: Esquema metodológico.....	44
Figura 10: Diseño del área de trabajo	51
Figura 11: Diseño puesto de trabajo ensamble tren de juguete.....	52
Figura 12: Posición del cuerpo al realizar la operación	57
Figura 13: Dispositivo de sujeción.....	58
Figura 14: Representación grafo dirigido.....	59
Figura 15: Grado dirigido ensamble tren de juguete.....	61
Figura 16: Área de trabajo con puntos espaciales.....	62
Figura 17: Coordenadas de puntos de las piezas en el espacio (x,y).....	64
Figura 18: Método óptimo de ensamble de tren de juguete.....	66
Figura 19: Comparación de los métodos.....	69
Figura 20: Variación porcentual entre el tiempo y la distancia.....	69
Figura 21: correlación tiempo-distancia.....	70

Lista de tablas

Tabla 1: Clasificación de los Therbligs	28
Tabla 2: Clasificación de movimientos.....	33
Tabla 3: Muestra de métodos o rutas de ensamble del tren de juguete	48
Tabla 4: Método Dijkstra para el ensamble del tren de juguete	49
Tabla 5: Descripción de la operación – ensamble tren de juguete	50
Tabla 6: Ficha técnica del producto para una unidad	51
Tabla 7: Principio de economía de movimientos o guía para el diseño de operaciones manuales.....	52
Tabla 8: Clasificación de movimientos.....	56
Tabla 9: Áreas máximas y normales.....	56
Tabla 10: Directrices ergonómicas	57
Tabla 11: Posibilidades de ensamble	59
Tabla 12: Cálculo de las distancias entre puntos.....	62
Tabla 13: Coordenadas piezas y herramientas de trabajo – P (área mano izquierda) P' (área mano derecha)	63
Tabla 14: Matriz de entrada MDM para algoritmo de Dijkstra ensamble tren de juguete	64
Tabla 15: Método o ruta óptima según algoritmo de Dijkstra para el ensamble del tren de juguete	65
Tabla 16: Tiempos totales de ensamble en segundos por método y Análisis de productividad y eficiencia de los método aleatorios con respecto al método óptimo	67
Tabla 17: Distancias totales en centímetros por método y análisis de eficiencia de los métodos aleatorios con respecto al método óptimo	68
Tabla 18: Parámetros del modelo.....	71

Introducción

El principal motivo para estudiar la productividad en la empresa, es encontrar las causas que la deterioran y una vez conocidas, establecer las bases para incrementarla (Criollo, 2005). Aumento en el indicador puede lograrse empleando eficientemente los recursos primarios de la producción como materiales, hombres y máquinas, alcanzando la disminución de los costos de fabricación.

Uno de los factores que afecta la productividad del trabajo, son los métodos que se utilizan en la operación; cuando estos son ineficientes se produce lo que se llama tiempo suplementario lo cual incrementa el tiempo total de la operación en las condiciones existentes y por ende su costo.

La ingeniería de métodos o estudio del trabajo utiliza herramientas para aumentar la productividad en la operación analizada, las etapas incluyen, diseñar, crear y seleccionar los mejores métodos, procesos, herramientas, equipos, y habilidades de manufactura para fabricar un producto. Cuando el mejor método interactúa con las mejores habilidades disponibles surge una relación máquina-trabajador eficiente. Una vez establecido el método completo, surge la responsabilidad de determinar el tiempo estándar requerido para fabricar el producto y se logra por medio de la medición del trabajo (Niegel & Freivalds, 2004).

El estudio del trabajo tiene dos momentos muy importantes, el primero se refiere al diseño del trabajo y el segundo a la reingeniería de los métodos que van disminuyendo la eficiencia con el paso de tiempo a causa de los cambios de colaboradores, el deterioro de las herramientas, y aspectos propios imputables al trabajador o al sistema.

Realizar estudios de métodos conlleva un procedimiento que varía poco de autor en autor, básicamente debe emplearse el procedimiento general de resolución de problemas que consiste básicamente en: 1) seleccionar el proyecto, 2) obtener y presentar los

datos, 3) analizar los datos, 4) diseño del método ideal, 5) presentar y establecer el método, 6) desarrollar un análisis del trabajo, 7) establecer tiempos estándar, 8) y dar seguimiento al método. En el análisis de los datos se estudian todos los elementos productivos e improductivos de la operación y se debe realizar examinando los hechos registrados de manera crítica, cuestionando cada detalle. El diseño del método ideal trata de establecer la ruta más económica, y el establecimiento de los tiempos estándar de la operación, indica un tiempo permitido para realizar una tarea dada con base en la medición del contenido del trabajo del método prescrito (Niebel & Freivalds, 2004).

Los procesos de reingeniería para mejorar la productividad de una operación pueden ser infinitos, debido a: a) en la optimización no solo intervienen las mejoras internas, si no que se puede considerar el manejo más eficiente de los elementos que intervienen con el proceso, como el diseño del producto, el diseño de planta, el diseño del puesto de trabajo, el manejo de materiales entre otros; b) adicionalmente las técnicas y herramientas que los expertos consideran para diseñar métodos óptimos no generan un resultado único, pues este puede modificarse las veces que sea necesario y mientras que el tiempo de operación sea menor al inicial se aumenta la productividad; c) la selección de los mejores procedimientos, técnicas o prácticas a seguir en la solución de un problema en particular, requiere, ante todo, criterio, ya que los factores citados rara vez son claros, debido a lo cual suelen originarse serias controversias entre los especialistas (Krick, 1973).

Siempre se presenta la oportunidad de mejorar procesos y métodos, tanto al proyectar un método destinado a una actividad ya existente, como al proyectar una actividad nueva. Al buscar el método ideal, el analista no se dejará influenciar por el ya utilizado, sino que se estudiará imparcialmente todas las maneras posibles de alcanzar el objetivo fijado, sin limitarse a intentar una simple mejora del método existente (Barnes, 1963).

Como parte del desarrollo o mantenimiento de un nuevo método, deben usarse los principios del diseño del trabajo para ajustar la tarea y la estación de trabajo al operario humano, conforme a la ergonomía, por desgracia casi siempre se olvida el diseño del trabajo en la búsqueda de una mayor productividad. (Niebel & Freivalds, 2004)

Las herramientas que se tienen a disposición de los analistas de tiempos y movimientos son técnicas como la utilización de los principios de economía de movimientos, técnicas de interrogación, diligenciamiento de diagramas de procesos como los bimanuales, sinópticos, diagramas de recorrido, entre otros que permiten evidenciar la eficiencia de la operación. En la actualidad no hemos encontrado una metodología de cómputo que permita definir el método ideal o el que más se acerque al ideal, optimizando el tiempo de una operación manual, enfocado en el estudio de métodos y la distribución del puesto de trabajo.

Una de las estrategias de competitividad que refieren los autores en la industria globalizada, son el incremento de uso de computadoras en todas las facetas de la empresa y la expansión sin límite de las aplicaciones informáticas (Niebel & Freivals, 2004)

Niebel y Freivals (2004) , explican en su libro “Ingeniería Industrial, Métodos Estándares y Diseño del trabajo” que la investigación y desarrollo que conducen a nuevas tecnologías son esenciales para la ingeniería de métodos. En el último informe Mundial de la UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura) sobre la Ciencia 2010, se observa que Estados Unidos, Europa y Japón siguen encabezando a nivel mundial las inversiones dedicadas a la Investigación y Desarrollo (I+D), la competitividad de los países emergentes, con China a la cabeza, es cada vez mayor. Por lo cual se demuestra que si se dedican recursos a la investigación y desarrollo, la ingeniería de métodos, a través de la innovación tecnológica, será un instrumento que apoyará la generación de productos de alto nivel.

El desempeño del sector de la industria manufacturera termina el año 2014 con bajos crecimientos en producción y ventas y las expectativas sobre el futuro inmediato muestran retroceso; por lo que Colombia enfrenta grandes retos con oportunidades como los acuerdos comerciales que nos abren nuevos mercados (ANDI, 2015)

En el Plan Nacional de Desarrollo (PND) propuesto en la reelección del último presidente de Colombia, apunta a cinco estrategias transversales una de ellas la Competitividad

estratégica e infraestructura, la cual a su vez tiene un sub conjunto de objetivos. La estrategia reúne elementos de competitividad empresarial y política de ciencia tecnología e innovación. Algunas de las metas que allí se proponen a 2018 son: empresas innovadoras e inversiones en actividades de Ciencia Tecnología e Innovación. Otras medidas para el desarrollo empresarial incluyen: la implementación de un programa enfocado en la adopción de tecnologías de gestión para el mejoramiento de la productividad (ANDI, 2015)

La optimización matemática consiste en la selección de la mejor alternativa en relación con las demás posibilidades y permite tomar decisiones adecuadas para el problema planteado al maximizar o minimizar la respuesta del sistema (Castillo, Conejo, Pedregal, García, & Alguacil, 2002).

La inteligencia artificial es un área multidisciplinaria que se basa en las ciencias de la computación, la lógica y la filosofía, con el objetivo de crear y diseñar entidades capaces de resolver cuestiones por si mismas utilizando el paradigma de la inteligencia humana. Los algoritmos genéticos son una técnica que usan el paradigma de la evolución de las cadenas de ADN humanas, para generar programas de cómputo inteligentes a través de las ciencias de la computación (Ngai, Peng, Alexander, & Moon, 2014)

Las técnicas de optimización computacional han sido empleadas para la solución de diferentes problemas industriales. Dentro de las prácticas del negocio de la confección, el control y la gestión de los procesos, los sistemas inteligentes apoyan las actividades de fabricación de prendas de vestir, incluyendo actividades como la programación de la producción y el enrutamiento, diseño de la maquinaria, el estudio del trabajo, equilibrio de líneas de producción, y otras cuestiones de gestión general (Ngai, Peng, Alexander, & Moon, 2014).

Wong, Chan, Kwong & Mok (2005) su investigación *Optimization of manual fabric-cutting process in apparel manufacture using genetic algorithms* (Optimización del proceso de fabricación de corte manual en la manufactura de prendas de vestir usando algoritmos genéticos) proponen un enfoque de algoritmos genéticos para optimizar tanto los requisitos del corte de la pieza y el *makespan* (tiempo de ciclo) de los departamentos de

corte de tela convencionales utilizando *manual fabric spreading* y métodos de corte. Según los resultados se encontró que las tasas de cumplimiento tanto del *makespan* como el corte de la pieza se mejoran significativamente (2005)

En este proyecto se utilizaron herramientas de optimización computacional para diseñar una metodología que permitiera optimizar el tiempo de ensamble de una operación bimanual mediante el diseño del método de la operación y la ubicación espacial del puesto de trabajo con una vista superior.

La ruta de trabajo y los objetivos que se culminaron fueron, 1) identificación de las principales técnicas existentes en la solución de problemas de estudios de trabajo, haciendo uso de bases de datos y herramientas de consulta, con el fin de estructurar una nueva metodología para solucionar esta clase problema, 2) diseño de una metodología computacional basada en una técnica de optimización para minimizar el tiempo total de las operaciones, en un proceso de ensamble bimanual, 3) aplicación de la metodología propuesta, realizando una prueba piloto basada en casos de estudio, con el fin de evaluar la efectividad de la metodología propuesta.

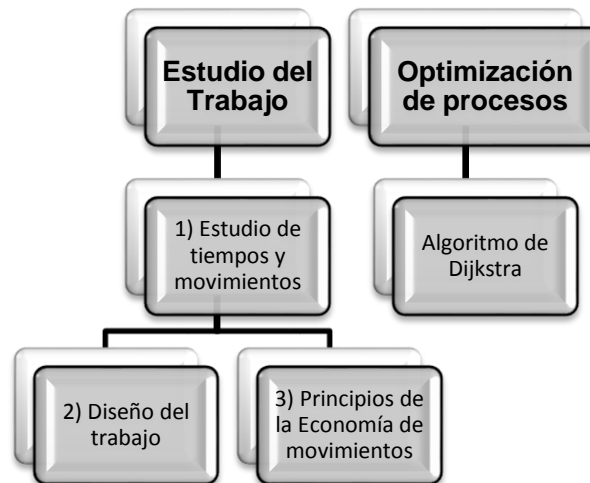
La investigación está limitada para operaciones con condiciones y características especiales, tales como, puestos o estaciones de trabajo con un solo trabajador, operaciones manuales realizadas con una o ambas manos, posición de trabajo sentado, recorridos de las manos en un plano horizontal, la operación no usa maquinaria, preferiblemente operaciones de ensamble, número de piezas pares y distribución simétrica.

El presente documento se ha estructurado iniciando con el Marco Teórico donde se desarrolla el contexto de la investigación y donde se aborda toda la teoría acerca del estudio del trabajo y el algoritmo de optimización de Dijkstra. Seguidamente se presenta el Marco Metodológico organizado por objetivo específico. Allí se expone la secuencia del desarrollo de la investigación. Por último el apartado de Resultados por objetivo, Conclusiones y Recomendaciones donde se evidencian los frutos de la investigación.

1.Marco Teórico – Referencial

El marco teórico y referencial de la presente investigación se concentra en dos elementos principales que se presentan en la Figura 1; el primero aborda el nacimiento del Estudio del Trabajo, técnicas y metodologías utilizadas en el análisis de los métodos y tiempos en una operación que se desarrolla en un puesto de trabajo. El segundo elemento comprende los conceptos de optimización de procesos utilizando técnicas computacionales, donde se describe el algoritmo de Dijkstra el cual sirvió de desarrollo para encontrar la optimización del proceso objeto de estudio.

Figura 1: Estructura del marco teórico y referencial



Fuente: Elaboración propia

1.1 Reseña Histórica

“El análisis y medición del trabajo debe ser tan antiguo como el trabajo, y el trabajo es tan antiguo como el hombre, porque se puede interpretar como trabajo la cacería, que en la aurora de la civilización, era esencial para la perpetuación de la vida”, [...] aunque, es necesario sentar un juicio sobre el momento en el cual se comenzaron a discernir y registrar los procesos (Currie, 1979).

Los estudios de tiempos, que constituye una fase importante de la ingeniería de procesos en la actualidad llamada ingeniería de métodos, tiene una historia que data de muchas décadas y se basa principalmente en el trabajo de Babbage, quien en su libro clásico, titulado *Economy of Machinery and Manufacture*, publicado en 1833, expuso la utilización de un elaborado estudio de tiempos en operaciones de manufactura (Krick, 1973).

En general se reconoce a Frederick Taylor como el fundador de los estudios de tiempos en Estados Unidos, a pesar que otros investigadores como: Walter of Henley, Leonardo Da Vinci, Jean Rodolphe Perronet, Charles W. Babbage, Boulton, Wall and Sons, Robert Owen y New Lanark, realizaron estudios del análisis y medición del trabajo pero no las separaron en forma distintiva de su trabajo general sobre administración (Currie, 1979). Taylor comenzó su trabajo de estudio de tiempos en 1881, después de 12 años de trabajo, desarrollo un sistema basado en la “tarea”, que se utilizó primordialmente para determinar los tiempos tipo. En el proceso de establecer tiempos, Taylor recomendó desglosar el trabajo en pequeñas divisiones conocidas como “elementos”. (Niebel & Freivals, 2004)

La otra faceta importante de la ingeniería de procesos o ingeniería de métodos, denominada estudio de movimientos se basa principalmente en el trabajo de Frank Gilbreth y Lillian Gilbreth durante la primera parte del siglo XIX; muchas de sus aportaciones a la filosofía y técnicas asociadas con el diseño de métodos o perfeccionamiento de los métodos de trabajo, están aún en vigencia (Krick, 1973).

Parece ser que al principio se utilizaron más los estudios de tiempos que los estudios de movimientos. Hasta la década iniciada en 1930 no se manifestó el estudio del trabajo

como un objeto de hallar los métodos mejores y más sencillos de ejecutar una tarea determinada. Posterior se evidenció un periodo durante el cual se emplearon conjuntamente el estudio de tiempos y movimientos sirviéndose mutuamente de complemento. Hoy son muchos más amplios los fines de los estudios de tiempos y movimientos ya que el objetivo es hallar el método ideal, o el más cercano al ideal, que pueda ser utilizado en la práctica, mientras que en el pasado se trataba de mejorar los métodos existentes en lugar de definir cuidadosamente el problema, o formular el objetivo a alcanzar, para hallar después la solución preferible (Barnes, 1963).

Para el desarrollo del mejor método a través del estudio de métodos se emplea el método general de resolución de problemas. Una tarea importante en este procedimiento se ha definido como la búsqueda de posibles soluciones que implica, ensayar el método de eliminación, utilización de listas de control, aplicación de principios de economía de movimientos y empleo de imaginación creadora por parte de los analistas (Barnes, 1963).

1.2 El estudio del trabajo

El estudio del trabajo es el examen crítico sistemático de los métodos para realizar actividades con el fin de mejorar la utilización eficaz de los recursos y de establecer normas de rendimiento con respecto a las actividades que se están realizando (Kanawaty, Introducción al Estudio del Trabajo, 1996). La única posibilidad para que una empresa crezca y aumente sus negocios es aumentar la productividad y el mejoramiento de ella se refiere al incremento de la producción por hora de trabajo o por tiempo gastado (Niegel & Freivalds, 2001). Por lo tanto, examinar la forma de realizar una actividad manual en un puesto de trabajo es un aspecto importante en el proceso para lograr un incremento de la productividad.

El tiempo que tarda un trabajador o una maquina en realizar una actividad está conformado de la siguiente manera: el contenido básico del trabajo del producto o de la operación (tiempo mínimo irreducible que se necesita teóricamente para obtener una unidad de producción), el contenido de trabajo suplementario debido a deficiencias en el diseño o en la especificación del producto o de sus partes, o a la utilización inadecuada de los materiales, el contenido de trabajo suplementario debido a métodos ineficientes de

producción o de funcionamiento y el contenido de trabajo principalmente de la aportación de recursos humanos. Cualquier disminución en algunos de estos componentes es inversamente proporcional con la productividad de la operación.

“Un puesto de trabajo es el lugar donde una o varias personas deben desarrollar cotidianamente una actividad regulada, fiscalizada y controlada, al menos durante la tercera parte de cada día” (Modelo, Gregori, Blasco, & Barrau, 2001).

Si el puesto de trabajo es percibido por los empleados como un lugar incómodo, monótono, agotador, desagradable o peligroso; puede convertirse en un factor desencadenante de baja calidad, disminución de la productividad, en casos más extremos, de generación de enfermedad profesional, incluso podría llegar a generar hasta la muerte, por lo que el personal que se encuentre asignado a un puesto de trabajo mal diseñado tratará de abandonarlo o cambiarlo; por el contrario si el puesto de trabajo diseñado es seguro, cómodo, estimulante y agradable, además de generar calidad y aumentar la productividad, proporcionará bienestar tanto físico como psicológico. (Modelo, Gregori, Blasco, & Barrau, 2001).

A través del tiempo se han venido examinando algunos aspectos de la naturaleza del estudio del trabajo y el motivo de su utilización; algunas de estas son: medio para aumentar la productividad de una fábrica mediante la reorganización del trabajo; es un proceso sistemático; es el método más exacto conocido hasta ahora para establecer normas de rendimiento de las que depende la planificación y el control eficaz de la producción; puede contribuir a la mejoría de la seguridad y las condiciones de trabajo al poner de manifiesto las operaciones riesgosas y establecer métodos seguros para efectuar las operaciones; las economías resultantes de la aplicación correcta del estudio del trabajo comienzan de inmediato y continúan mientras duren las operaciones en su forma mejorada; es un instrumento que puede ser utilizado donde quiera que se realice trabajo manual, no solamente en talleres de fabricación, sino también en oficinas, laboratorios o industrias auxiliares como las de distribución al por mayor y al por menor, los restaurantes y en las explotaciones agropecuarias; es relativamente poco costoso y de fácil aplicación; es un arma excelente para atacar las fallas de cualquier organización,

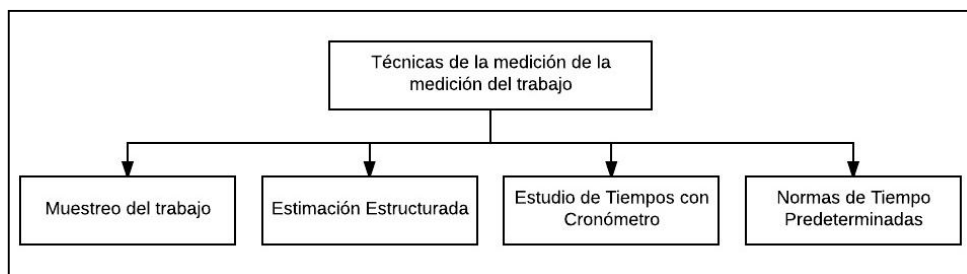
ya que al investigar un grupo de problemas se van descubriendo las deficiencias de todas las demás funciones que repercuten en ellos. (Kanawaty & Trabajo, Introducción Al Estudio Del Trabajo, 1996)

La seguridad laboral en Colombia es un tema de actualidad ya que las nuevas formas organizativas y productivas del país obligan a la estandarización de patrones, niveles mínimos de seguridad y exigencias adecuadas a las cambiantes formas de trabajo si se quiere competir con comunidades económicas internacionales (García Cardona, Gonzales Castaño, & Henriques, 2001).

El estudio del trabajo es el conjunto de procedimientos sistemáticos para someter las operaciones a un análisis, con miras a introducir mejoras que faciliten la realización del trabajo y que permitan que se ejecute en el menor tiempo posible y con una menor inversión por unidad producida; utiliza técnicas para el análisis de las operaciones como, la subdivisión de una tarea en elementos para indagar en cada movimiento, ordenarlo y así eliminar los que no sean necesarios, buscando una mejor combinación y secuencia de movimientos y métodos más sencillos y eficientes (Niebel & Freivalds, 2004).

Como herramienta de la ingeniería industrial, el estudio del trabajo utiliza cuatro técnicas para seleccionar, registrar, examinar y medir la cantidad de trabajo ejecutado, con miras a mejorar la productividad de las operaciones y de los procesos y definir el tiempo requerido por un trabajador calificado para ejecutar una tarea en condiciones establecidas, se encuentran clasificadas en cuatro categorías como se ilustra en la Figura 2.

Figura 2: Técnicas de la medición del trabajo



Fuente: Adaptado de: (Kanawaty, 1996)

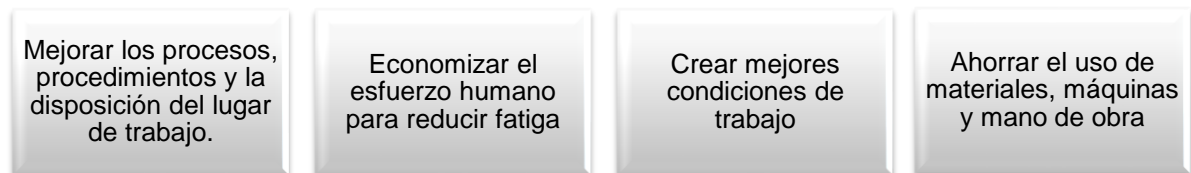
1.3 Estudio de tiempos y movimientos

El estudio de tiempos y movimientos es una herramienta cuyo objetivo es normalizar o estandarizar el trabajo y brindar economía de tiempo y de esfuerzo a los operarios, por medio del análisis del trabajo.

1.3.1 Estudio de métodos

El estudio de métodos o estudio de movimientos, consiste en el análisis detallado de los movimientos que realiza el cuerpo al ejecutar un trabajo. Los objetivos del estudio de métodos se presentan en la Figura 3; en términos generales, buscan eliminar o disminuir los movimientos ineficientes, y facilitar y acelerar los eficientes.

Figura 3: Objetivos del estudio de métodos



Fuente: (Kanawaty, 1996)

El estudio de movimientos básicamente trata de dividir o subdividir los pasos o procedimientos necesarios para la realización de una operación de cada etapa del proceso, con el fin eliminar todos los movimientos innecesarios y encontrar el método apropiado para realizar los necesarios. El estudio de tiempos se ayuda de un cronometro para encontrar el método más rápido y hallar el número de horas en las cuales un operario, trabajando con actividad normal, puede realizar un trabajo. A este tiempo promedio encontrado se le adicionan otros tiempos básicos y muertos como por ejemplo las esperas, las salidas de los operarios de la línea para realizar sus actividades personales, entre otros, y así establecer el tiempo estándar.

1.3.2 Estudio de tiempos

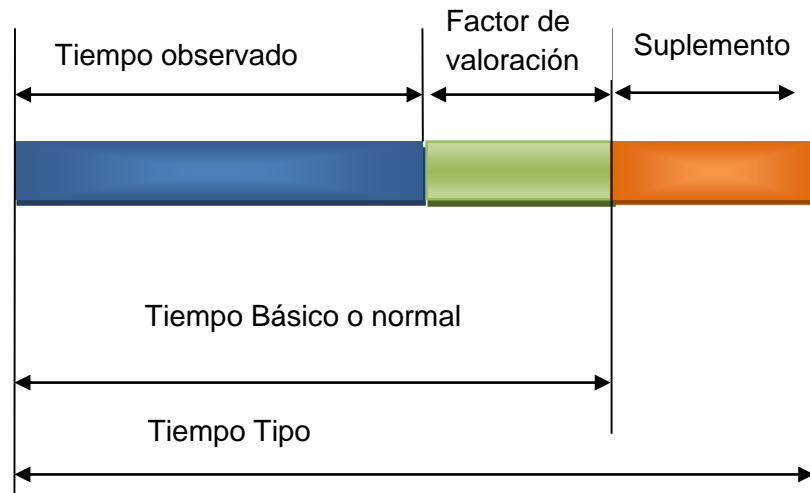
El estudio de tiempos consta de ocho etapas, en cada una de las cuales se registra la información acerca de la tarea, del operario y de las condiciones que puedan influir en la ejecución del trabajo. Las etapas son las siguientes:

1. Obtener y registrar toda la información posible acerca de la tarea, del operario y de las condiciones que puedan influir en la ejecución del trabajo.
2. Registrar una descripción de completa del método descomponiendo la operación en “elementos”.
3. Examinar ese desglose para verificar si se están utilizando los mejores métodos y movimientos, y determinar el tamaño de la muestra.
4. Medir el tiempo con un instrumento apropiado, generalmente un cronómetro, y registrar el tiempo invertido por el operario en llevar a cabo cada “elementos” de la operación.
5. Determinar simultáneamente la velocidad de trabajo efectiva del operario por correlación con la idea que tenga el analista de lo que debe ser el ritmo tipo.
6. Convertir los tiempos observados en “tiempos básicos”.
7. Determinar los suplementos que se añadirán al tiempo básico de la operación.
8. Determinar el “tiempo tipo” propio de la operación

El tiempo-tipo, estándar o asignado se define como el tiempo necesario para ejecutar una tarea repetida e indefinidamente, de conformidad con un cierto método y a una cierta velocidad de trabajo arbitrario. Este tiempo considera el tiempo normal más los suplementos correspondientes, exceptuando el suplemento discrecional Meyers (2000) y Kanawaty (1996)

En la Figura 4 se describe la descomposición del tiempo en cada una de sus fases; inicialmente se obtiene el tiempo observado, el cual se multiplica por el factor de valoración, para estimar el tiempo normal, posterior se adicionan los suplementos para determinar el tiempo tipo, estándar o asignado de la operación.

Figura 4: Composición del tiempo tipo



Fuente: Adaptado de (Kanawaty, 1996)

Para desarrollar un estudio de tiempos y movimientos existen alrededor de 25 técnicas (Meyers, 2000). Según la OIT (Kanawaty, 1996) las técnicas se derivan en corrientes, gráficos y diagramas, de los cuales hay varios tipos, cada uno con un respectivo propósito.

1.4 Diseño del trabajo

El diseño del trabajo es una disciplina bastante nueva que aborda el diseño de las tareas, estaciones de trabajo y entorno laboral, para ajustarlas mejor al operario (Niegel & Freivalds, 2004), también es llamado “Ergonomía o Factores Humanos, y se ocupa de la comprensión de las interacciones entre los seres humanos y otros elementos de un sistema, y la profesión que aplica teoría, principios, datos y métodos para el diseño con el fin de optimizar el bienestar humano y rendimiento general del sistema y se considera tanto un objetivo social (bienestar humano) y un objetivo económico (rendimiento global del sistema)” (Radjiyev, Qiu, Xiong, & Nam, 2014)

Algunos aspectos que impulsaron el crecimiento de los factores humanos incluyen el surgimiento de los casos de litigio sobre responsabilidad del producto y lesiones personales, los desastres tecnológicos de gran escala como el incidente nuclear en la isla *Three Mile Island* y la fuga de gas en la planta de la *Union Carbide en Bhopal*, India (Niegel & Freivalds, 2004). Las primeras organizaciones profesionales, la *Ergonomics* y la *Human Factors and Ergonomics Society*, se fundan en 1957.

Para el diseño de puestos de trabajo se debe realizar un análisis concreto y cuantificado de las variables implicadas en las relaciones establecidas entre el empleado y el contenido del trabajo, los factores organizacionales que influyen en su puesto de trabajo, las máquinas, herramientas, materiales, medios o instrumentos que el mismo utiliza para trabajar, con el fin de identificar y reducir los factores de riesgo ergonómico, físico, mental y psicológico del mismo. (Modelo, Gregori, Blasco, & Barrau, 2001)

El diseño del trabajo fue inicialmente propuesto por los esposos Gilbreth, mediante la identificación y clasificación de los movimientos necesarios e innecesarios de las operaciones manuales, y los definieron como “therbligs” (Barnes, 1963). Los therbligs pueden clasificarse en eficientes e ineficientes. Los eficientes son los que contribuyen al avance productivo del trabajo los cuales pueden ser reducidos pero no eliminados del todo por ser parte esencial del proceso; los therbligs ineficientes no hacen avanzar el trabajo, por lo que deben ser eliminados en lo posible para mejorar la línea de producción.

Tabla 1: Clasificación de los Therbligs

CLASIFICACIÓN THERBLIGS		
EFICIENTES	De naturaleza física o muscular	De naturaleza objetiva o concreta
	Alcanzar	1. Usar
	Mover	2. Ensamblar
	Tomar	3. Desensamblar
	Soltar	
	Pre colocar en posición	

INEFICIENTES	Mentales o semi- mentales	Demoras o dilaciones
	Buscar	1. Retraso inevitable
	Seleccionar	2. Retraso evitable
	Colocar en posición	3. Descansar por fatiga
	Inspeccionar	4. Sostener
	Planear	

Fuente: (Niebel & Freivalds, 2004)

La ergonomía en la actualidad es una disciplina muy estudiada debido a su componente social, aunque, los gerentes generalmente asocian la ergonomía con la salud y seguridad laboral, no con el rendimiento del negocio (Dul & Neumann, 2009). Con el fin de fortalecer la posición de la ergonomía en el mundo de los negocios y la gestión, se han discutido las estrategias de la empresa y los objetivos del negocio donde la ergonomía podría contribuir.

Se han encontrado también investigaciones, para identificar los beneficios de las mejoras ergonómicas en las estaciones de trabajo combinadas con la metodología MTM para medir las diferencias de tiempos de proceso. Otro objetivo es verificar en qué medida es posible crear ventajas competitivas en el área de fabricación con la reducción en el tiempo de montaje de vehículos mediante el uso de las inversiones tecnológicas en la ergonomía, con beneficios para el trabajador y para la empresa (Baraldi & Paulo C., 2011)

Para el diseño de una estación de trabajo industrial, la ergonomía cuenta con unas directrices que proporcionan una base conceptual para un buen diseño. La antropometría juega un papel muy importante en esta situación. La postura adecuada, altura de trabajo, áreas de trabajo normales y máximos, juego lateral y los requisitos visuales deben determinarse para los usuarios. Generalmente la preocupación en el diseño de una estación de trabajo industrial, ha sido la mejora del rendimiento de los equipos, según Das & Sengupta (1996) existe poca consideración hacia la búsqueda de las habilidades del operador con los requisitos de la tarea, por lo que muchas estaciones de trabajo

están mal diseñadas. Un buen enfoque en el diseño de una estación de trabajo, intenta dar un equilibrio entre las capacidades del trabajador y el sistema, y proporcionar bienestar físico y mental, satisfacción laboral y seguridad industrial.

Se han desarrollado herramientas virtuales para evaluar la eficiencia de la estación de trabajo con respecto a los factores humanos (Greig, Village, & Neumann, 2013), con miras a solucionar posibles problemas de producción, salud y seguridad en el trabajador, pues se considera que la incorporación de factores humanos en los sistemas de producción se realiza mejor en la etapa de diseño donde el cambio es más fácil y más rentable (Greig & Neumann, 2015).

1.4.1 Principios de economía de movimientos

Los principios de economía de movimientos fueron definidos como método de evaluación que regula los movimientos de las manos en las operaciones o como leyes fundamentales que permiten la máxima cantidad de esfuerzo productivo con un mínimo de fatiga (Barnes, 1963). Los principios de economía de movimientos se dividen en tres categorías, 1) Utilización del cuerpo humano, 2) distribución del lugar de trabajo, y 3) Modelo de las máquinas y herramientas (Kanawaty, 1996). Lo más importante, aunque su desarrollo ha sido empírico, es que los principios se basan en factores anatómicos, biomecánicos y fisiológicos del cuerpo humano (Niebel & Freivalds, 2004). Estos constituyen la base científica de la ergonomía y el diseño del trabajo (Niebel & Freivalds, 2004). Los principios tradicionales de economía de movimiento se han ampliado y ahora se les conoce como principios y guía para el diseño del trabajo. (Niebel & Freivalds, 2004)

Según la OIT en su libro introducción al estudio del trabajo, hay varios principios de economía de movimientos que son resultado de la experiencia y constituyen una base excelente para idear métodos mejores en el lugar de trabajo. Frank Gilbreth, fundador del estudio de movimientos, fue el primero en utilizarlos, y posteriormente fueron ampliados por otros especialistas, particularmente el profesor Barnes. A continuación se detallan con respecto a sus categorías:

Utilización del cuerpo humano: Siempre que sea posible:

- Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.
- Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los periodos de descanso.
- Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.
- Los movimientos de las manos y del cuerpo deben caer dentro de la clase más baja con que sea posible ejecutar satisfactoriamente el trabajo.
- Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.
- Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.
- Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.
- El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponerse de modo que se pueda hacer con un ritmo fácil y natural, siempre que sea posible.
- El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.

Distribución del lugar de trabajo

- Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.
- Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitaran, para no tener que buscarlos.
- Deben utilizarse depósitos y medios de << abastecimiento por gravedad >>, para que el material llegue tan cerca como sea posible del punto de utilización.
- Las herramientas, materiales y mandos deben situarse dentro del Área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible.
- Los materiales y las herramientas deben situarse en la forma que dé a los gestos el mejor orden posible.

- Deben utilizarse, siempre que sea posible, eyectores y dispositivos que permitan al operario (dejar caer) el trabajo terminado sin necesidad de utilizar las manos para despacharlo.
- Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarse al obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se siente en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.
- El color de la superficie de trabajo deberá contrastar con el de la tarea que realiza, para reducir así la fatiga de la vista.

Modelo de las máquinas y herramientas

- Debe evitarse que las manos estén ocupadas sosteniendo la pieza cuando esta pueda sujetarse con una plantilla, brazo o dispositivo accionado por el pie.
- Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas.
- Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como para escribir a máquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad inherente a cada dedo.
- Los mangos, como los utilizados en las manivelas y destornilladores grandes, deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de superficie este en contacto con la mano. Es algo de especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre el mango.
- Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano deben situarse en posiciones que permitan al operario manipularlos con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y un máximo de ventajas mecánicas.

La figura 5 muestra el área normal de trabajo de un operario corriente y la zona de almacenamiento de su banco de trabajo. Siempre que sea posible se evitara colocar los materiales en el área situada delante del operario, ya que estirarse hacia adelante exige el empleo de los músculos de la espalda, provocando por lo tanto fatiga, como lo han demostrado investigaciones fisiológicas.

Figura 5: Área normal de trabajo – movimiento de dedos, muñeca y codo



Fuente: (Kanawaty & Trabajo, 1996)

Otro principio de la economía de esfuerzos del cuerpo humano es que los movimientos deben corresponder a la clase más baja posible. La clasificación se basa en las partes del cuerpo que sirven de eje a las que se mueven: véase la tabla no.2.

Tabla 2: Clasificación de movimientos

CLASE	PUNTO DE APOYO	PARTES DEL CUERPO EMPLEADAS
1	Nudillos	Dedo
2	Muñeca	Mano y dedos
3	Codo	Antebrazo, mano y dedos
4	Hombro	Brazo, antebrazo, mano y dedos
5	Tronco	Torso, brazo, antebrazo, mano y dedos

Fuente: (Kanawaty & Trabajo, 1996)

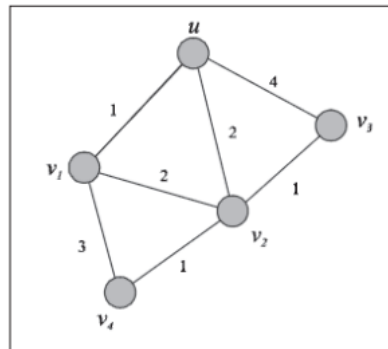
Es evidente que a medida que se sube de clase van entrando en movimiento más partes del cuerpo, o sea que, cuanto más baja sea la clase, más movimientos se ahorraran. Si al disponer el lugar de trabajo se coloca todo lo necesario al alcance del operario, la clase de movimientos necesarios para ejecutar el trabajo será la más baja posible.

1.5 Algoritmo de optimización de Dijkstra

El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente y voraz que fue diseñado por el holandés Edsger Wybe Dijkstra en 1959. Este algoritmo resuelve el problema de encontrar los caminos más cortos a partir de un origen, en grafos pesados que no tengan pesos negativos.

El algoritmo de Dijkstra opera a partir de un conjunto N de nodos cuya distancia más corta desde el origen ya es conocida. El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente (de complejidad $O(n^2)$ donde n es el número de vértices) que sirve para encontrar el camino de coste mínimo desde un nodo origen a todos los demás nodos del grafo (Salas, 2008). Dijkstra elige la ruta más corta de las posibles opciones (Pedraza, López, & Salcedo, 2011).

Figura 6: Escenario de una red



Fuente: (Pedraza, López, & Salcedo, 2011)

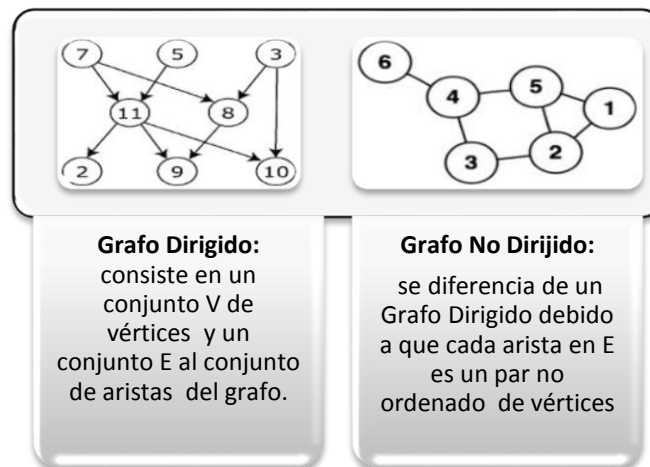
Para el algoritmo de la Figura 6, cada nodo v del grafo $G(V,E)$ tiene una etiqueta asociada $L(v)$, esta etiqueta indica la menor distancia conocida para ir desde un nodo u hasta este nodo. Inicialmente, el valor de $L(v)$ corresponde al peso $w(u,v)$ de la arista que une los nodos u y v , en el caso de que esta arista exista, siendo $L(v) = w(u,v)$; en caso contrario (desconocimiento de las distancias), el algoritmo funciona creando un conjunto de nodos $T \subseteq V$, para los cuales se ha obtenido hasta ese momento el camino más corto desde u hasta ellos. Al final del algoritmo, $L(v)$ contiene el costo del camino más corto para ir desde u hasta v (Pedraza, López, & Salcedo, 2011).

1.5.1 Teoría de grafos

Un grafo es un conjunto de nodos unidos por un conjunto de líneas o flechas. Por lo general, los nodos son entes de procesamiento o estructuras que contienen algún tipo de información y las líneas o flechas son conexiones o relaciones entre estos entes.

Una grafo es dirigido o dígrafo cuando se utilizan flechas llamadas aristas para conectar los nodos porque las relaciones entre los nodos tienen una dirección, en caso contrario el grafo es no dirigido (Figura 7). En el algoritmo de Dijkstra el grafo que representa el problema debe corresponder con un grafo dirigido.

Figura 7: Tipos de grafos



Fuente: Adaptado de (Salas, 2008)

Frecuentemente las aristas también tienen algún tipo de información asociada (distancia, costo, confiabilidad, etc.), en cuyo caso estamos en presencia de un grafo pesado.

Las secuencias de aristas forman caminos o ciclos. Un ciclo es un camino que termina en el mismo nodo donde comenzó. Si el camino recorre todos los nodos del grafo es llamado tour.

Se dice que un grafo es conexo si se puede llegar desde cualquier nodo hasta cualquier otro mediante un camino, de lo contrario no es conexo, pero puede dividirse en componentes conexas, que son subconjuntos de nodos y aristas del grafo original que si son conexos. Un grafo conexo sin ciclos es llamado un árbol. Estos son apenas unos cuantos conceptos de lo que se conoce como la Teoría de Grafos (Coto, 2003).

1.6 Marco referencial

Para la identificación de las principales técnicas existentes en la solución de problemas de estudios de trabajo, se realizó una búsqueda de investigaciones y trabajos elaborados por medio de las bases de datos virtuales y herramientas de consulta, con el fin de estructurar una nueva metodología para solucionar esta clase problema.

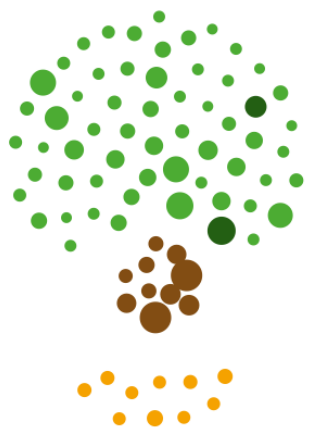
Inicialmente se realizó la búsqueda de información de metodologías y técnicas de optimización empleadas en el estudio del trabajo o los estudios de métodos y tiempos (estudios de tiempos y movimientos), por medio de las palabras claves “Time and motion studies”, “Time studies”, “Motion studies”. Se consideró de gran importancia una investigación de revisión de literatura acerca de la aplicación de estudios de tiempos y movimientos en las últimas dos décadas (Ovalle & Cardenas, 2016) .

Paralelo a esto se consultó en las mismas bases de datos artículos e investigaciones en donde se aplicaran técnicas matemáticas y computacionales de optimización en el sector industrial o empresarial enfocado a problemas operativos en donde intervienen movimientos y diseño del trabajo.

Por último se consultaron las bases de datos con el interés de hallar investigaciones acerca de la aplicación del algoritmo de Dijkstra, las razones para la elección del algoritmo son, las numerosas e importantes aplicaciones que hacen de este uno de los más importantes en la teoría de grafos, el nivel de dificultad para su aplicación (Torrubia & Terrazas, 1995), y por último la adaptabilidad a las condiciones del problema investigado Los términos utilizados fueron: “*Dijkstra Algorithm and Industry*”, “*studies with use of Dijkstra's algorithm*”.

Las herramientas utilizadas para el cumplimiento de este objetivo fueron, el recurso bibliográfico de la Universidad Nacional en su aplicación *Web of Science* la base de datos y el árbol de la ciencia o *Tree of Science* (TOS), la base de datos *Science Direct*, encontrando tipos de investigaciones publicados en artículos de investigación, tesis de maestrías, libros, entre otros.

Figura 8: Árbol de la ciencia – *Tree of science*

	Base de datos:	Colección de principal de Web of Science
	Palabras clave:	Ingeniería de métodos – <i>Methods Engineering</i>
	Número de artículos encontrados	88.699
	Refinado:	<i>Ergonomics</i>
	Número de artículos encontrados	134

Fuente: Elaboración propia

1.6.1 Panorama del estudio del trabajo y los estudios de tiempos y movimientos

Registrar todos los hechos relativos al método existente constituye esencialmente una base para efectuar el análisis y el examen subsiguiente. La forma corriente de registrar los hechos es anotarlos por escrito, pero desgraciadamente este método no se presta para registrar las técnicas complicadas que son tan frecuentes en la industria moderna (Kanawaty, Introducción al Estudio del Trabajo, 1996).

Como fue mencionado en el capítulo 1. Marco teórico, Las técnicas empleadas por el estudio del trabajo o la ingeniería de métodos para seleccionar, registrar, examinar y

medir la cantidad de trabajo ejecutado, con miras a mejorar la productividad de las operaciones y de los procesos, se encuentran clasificadas en cuatro (4) categorías (figura 2). La técnica más antigua de medición del trabajo corresponde a los estudios de tiempos con cronómetro (Aft, 2000), la cual se va venido tecnificando por medio de la utilización de herramientas informáticas, cámaras de video, códigos de barra, sistemas de captura de movimiento (Tinoco, Ovalle, Vargas, & Cardona, 2015), así como también se ha posicionado como la técnica más utilizada en la medición de las tareas, con una especial aplicación en el sector de la salud. (Ovalle & Cardenas, 2016)

Debido a la influencia de la tecnología y los procesos sistemáticos en la actualidad, el mejoramiento o búsqueda de métodos óptimos para el trabajo, no ha sido indiferente. Estudios recientes muestran las aplicaciones de técnicas de optimización en diferentes tipos de industrias y en empresas de todos los tamaños, para incrementar la eficiencia de los procesos. Investigaciones para solucionar problemas de balanceo de líneas de montaje con estaciones de trabajo de multi-trabajadores, se han llevado a cabo aplicando formulación de programación entera mixta, algoritmos heurísticos basados en reglas de prioridad y algoritmos genéticos (Kellegöz & Toklu, 2015).

Los sistemas de inteligencia artificial, debido a su gran dinamismo, hacen que se conviertan en una alternativa a los problemas que surgen en la industria textil, debido a la inflexibilidad de los procesos de las cadenas de suministro en todos sus eslabones, dado que establecen nuevas y mejores soluciones a partir de soluciones ya existentes, lo que permite una gran versatilidad en la solución de esta clase de problemas (Monks, 1999).

Los sistemas inteligentes utilizan datos y modelos matemáticos que poseen las características de flexibilidad, adaptabilidad, memoria, comprensión y capacidad de manejar información incierta y en constante cambio (Krishnakumar, 2003). Debido a sus características específicas, pueden mejorar la eficiencia y eficacia en la gestión de la cadena de suministro, en particular en un entorno tan competitivo como el de la industria textil y del vestido. Normalmente, estos sistemas incluyen varios sistemas de desarrollado a partir del estudio de la inteligencia artificial (AI); que son los sistemas expertos (ES), algoritmos genéticos (GA), redes neuronales artificiales (ANN), los

sistemas basados en el conocimiento (KBS), y los sistemas de lógica difusa (Ngai, Peng, Alexander, & Moon, 2014).

Dentro de las prácticas del negocio de la confección, el control y la gestión de los procesos, apoyará las actividades de fabricación de prendas de vestir, incluyendo actividades como la programación de la producción y el enrutamiento, diseño de la maquinaria, el estudio del trabajo, equilibrio de líneas de producción, y otras cuestiones de gestión general (Ngai, Peng, Alexander, & Moon, 2014).

Un importante factor de éxito de los métodos de la operación es el sostenimiento. Si la secuenciación de las tareas no está estandarizada, esta va a perder eficiencia debido a los cambios en el método que el trabajador vaya imponiendo, lo que va a generar actividades ineficientes. Actualmente, las industrias buscan mejorar sus procesos de producción a través de la eliminación gradual de las actividades que no generan valor a estos procesos que a su vez afectan a la productividad y la calidad (Jadhav, Mantha, & Rane, 2014). Actividades adicionales, producen costes operativos y como consecuencia excesos en los productos (Tinoco, Ovalle, Vargas, & Cardona, 2015). Desde los tiempos de Frederick W. Taylor, se comenzó a dar relevancia a la asignación de tiempos estándar a los elementos básicos del trabajo; estos tiempos se conocen como: tiempos de movimientos básicos, tiempos sintéticos o tiempos predeterminados (Niegel & Freivalds, 2004). Hay varias clases de sistemas de tiempos predeterminados, entre ellos los MTM (*Methods Time Measurement*), que proporcionan valores de tiempo para los movimientos fundamentales de alcanzar, girar, agarrar o tomar, posicionar, soltar y dejar. Los autores definen MTM como “un procedimiento que analiza cualquier operación manual o método, por los movimientos básicos requeridos para realizarlo y asigna a cada movimiento un tiempo estándar predeterminado que se establece según la naturaleza del movimiento y las condiciones en las que se realiza” (Niegel & Freivalds, 2004).

Reducción del tiempo del proceso de preparación aplicando el sistema integrado de tiempos predeterminados fue una investigación realizada en este tema. Cakmakci & Karasu (2007) propusieron un procedimiento óptimo para las operaciones de configuración o preparación. Ellos mencionaron a Dirk Van Goubergen cuando señala

que, cuando se compra una maquinaria o equipo nuevo, las instrucciones de uso y mantenimiento vienen incluidas, así que los operadores no tienen que descubrir cómo será operada la máquina. Sin embargo, nadie puede encontrar instrucciones acerca de las operaciones de configuración. Debido a esto los operadores desarrollarán su propia manera de trabajar por ensayo y error. Especialmente cuando las operaciones de cambios complejos se encuentran esta "inspiración del momento" el método debe ser cambiado con un "método de configuración estandarizado" que es preparado por los diseñadores de máquinas (Cakmakci & Karasu, 2007). El propósito de la investigación era mejorar la técnica SMED y corregir los puntos en lo que SMED falla sobre todo en las metodología basada en las mejoras, alcanzando así el método de configuración estandarizado más eficaz y eficiente.

El MTM-UAS es un sistema de tiempo predeterminado. Este sistema se utiliza para definir un flujo de trabajo y tiempo de fabricación asociada con este trabajo en un entorno de producción en masa. MTM-UAS se puede utilizar en cualquier proceso de fabricación que tiene características típicas de producción en masa como: 1) trabajadores experimentados, 2) bien definido el contenido del trabajo, 3) alto nivel de organización del trabajo, 4) flujo de trabajo bien definido, 5) funciones similares (Association, 1995).

Se han desarrollado sistemas, técnicas y herramientas para evaluar la eficiencia de una estación de trabajo con respecto a la ergonomía (Veloz, Escárcega, & Borja, 2009), y miras a solucionar posibles problemas de producción y salud en el trabajador (Greig & Neumann, 2015).

También se encontraron herramientas por las cuales, los productos están diseñados con la facilidad de ensamble en mente (Wikipedia, 2015), estas herramientas diseñadas desde 1970, fueron creadas para facilitar el desarrollo de un producto que satisfaga todas las necesidades funcionales y hacer sus tareas de fabricación y ensamble más fácil (Bayoumi, 2000), minimizando la incertidumbre acerca de los costos de fabricación y evitar los posibles problemas a causa del diseño. DFMA (*Design for Manufacture and Assembly*) es una técnica para el diseño de productos que permite analizar en forma sistemática cualquier diseño. DFMA considera importante, el número de componentes de un producto, elementos de sujeción y operaciones de ensamble, tiempo de desarrollo del

producto y del ensamble. Según esta técnica una disminución en el número de componentes reducirá el número de sujeciones, el número de operaciones de montaje y por tanto se reducirá el tiempo de montaje y el tiempo del desarrollo del producto (Barbosa & Carvalho, 2013). Gracias al creciente enfoque de competitividad, el proceso de desarrollo de productos evoluciona, utilizando por ejemplo el diseño para la fabricación y montaje (DFMA). Es importante que los ingenieros y gerentes tengan una visión sistémica de los efectos globales en los cambios en los diseños de los productos, que puede lograrse a través de la simulación de la producción (Da Silva, Salgado, Mello, da Silva Oliveira, & Leal, 2014). De lo anterior se concluye que DFMA y la simulación se pueden integrar con miras a evaluar la eficiencia de los cambios en el diseño de los productos de manera virtual.

La ingeniería de métodos en la actualidad, ha pasado a ser parte importante de otras áreas de estudio. Se han establecido relaciones entre el desarrollo sostenible y sustentable y el compromiso medio ambiental, con la formulación de modelos para la articulación de principios de ingeniería industrial, es decir procesos de diseño, las técnicas de resolución de problemas basadas en el estudio del trabajo y la ergonomía, el diseño de la tarea, entre otras, con estrategias medio ambientales como el ecodiseño de productos industriales (Suárez Moreno, 2009).

Es importante resaltar la tarea de la investigación de operaciones como herramienta de optimización en la ingeniería, para la administración eficiente de procesos, durante cuarenta años se ha convertido en práctica habitual en la ciencia, las ingenierías y los negocios, especialmente en la ingeniería industrial (Bermúdez Colina, 2011). Las aplicaciones han abarcado herramientas para la programación de producción, transporte, salud, investigación de mercado, logística, finanzas, lo cual coloca a la programación lineal como herramienta ineludible en la toma de decisiones (Hiller, Lieberman, & González Osuna, 2002). Se han presentado aplicaciones reales de la programación lineal, lineal entera y entera mixta en diversas partes del mundo como herramientas ampliamente usadas por los profesionales de la ingeniería y en especial por la ingeniería industrial en su afán por mejorar los sistemas administrativos y productivos (Bermúdez Colina, 2011), aunque, no hemos encontrado aplicación de técnicas de optimización o

herramienta computacional que permitan acercarse al establecimiento del método óptimo para la operación de ensamble manual, que por consiguiente generaría el tiempo total más bajo de operación.

1.6.2 Un vistazo a las aplicaciones del algoritmo de optimización de Dijkstra

El algoritmo de caminos mínimos o algoritmo de Dijkstra, el cual define el camino de costo mínimo entre un nodo de origen y un nodo destino en un grafo conectado por aristas o arcos a los cuales se les ha asociado un peso que equivale al costo de ir de un nodo a otro en el problema que se ilustre, tiene diversas aplicaciones y de gran importancia en las diferentes áreas del conocimiento (Torrubia & Terrazas, 1995), tales como el control del tráfico y planeación de rutas de transporte y, se ha implementado para reducir el tiempo requerido para obtener una trayectoria óptima o muy cercana a la óptima (Fraustro, 2003).

Entre otras aplicaciones fueron encontradas:

- **En la industria de las redes inalámbricas y de comunicaciones:** Pedraza, López & Salcedo (2011), Torrubia & Terrazas (1995)
- **Aplicaciones para sistemas de información geográfico:** Caimán (2014), Puente (2010), Devlin (2008)
- **Aplicaciones informáticas y mecánicas:** Chihuailaf, Mauro, Blanco, Ledesma & Rigau (2012), Fraustro (2003), Yu & Yang (1998)
- **Logística e Industria del transporte:** Torrubia & Terrazas (1995), Leal & López (2011), Llerena, Salas Montero & Vargas Moncayo (2009), Shin, Shin Kwon & Kang (2012), Alnouri, Linke & El-Halwagi (2014), Kuby, Araz, Plamer & Capar (2014), Jensen, Bochtis, Sorensen, Blas & Lykkegaard (2012) .
- **Otras áreas con aplicaciones en:** Tratamiento de imágenes médicas, reconocimiento de lenguaje hablado y problemas de optimización de una función para moverse entre diversas posiciones (Torrubia & Terrazas, 1995)

El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente que se adapta a las condiciones del problema planteado en esta investigación y por consiguiente fue implementado en la

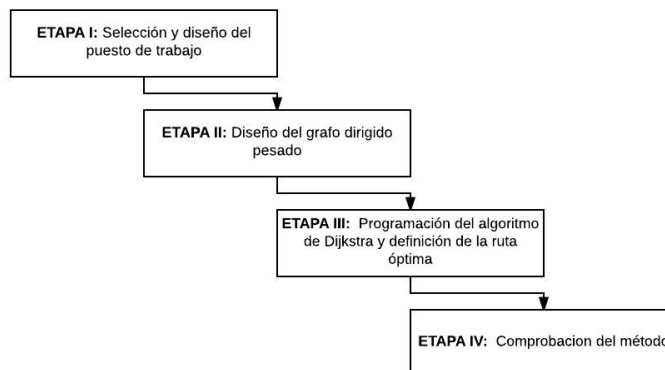
construcción de la metodología computacional para encontrar el método óptimo o sub óptimo de ensamble bimanual, que minimizará el recorrido de los movimientos y su vez el tiempo total de operación. Es importante mencionar que no fueron encontradas aplicaciones del algoritmo de Dijkstra en el campo del estudio del trabajo o ingeniería de métodos, ni en la búsqueda de métodos para procesos de ensamble bimanual.

2. Marco metodológico

Este proyecto de investigación posee un enfoque cuantitativo, ya que su proceso es secuencial, deductivo y probatorio, emplea la experimentación y posee bondades para la réplica. El alcance de la investigación, inicialmente fue exploratorio, dado que “el objetivo es indagar sobre un tema, desde nuevas perspectivas”. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006). Posteriormente se convirtió en descriptiva, cuando buscó especificar las propiedades y características de los procesos que se sometieron al análisis. En su etapa final la investigación pretendió conocer la relación existente entre dos métodos en un contexto en particular, por lo que su alcance fue correlacional. (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2006)

El diseño de la metodología computacional basada en el algoritmo de optimización de Dijkstra, para minimizar el tiempo total de las operaciones en un proceso de ensamble bimanual, mediante la identificación del método de ensamble más económico, se realizó en las siguientes etapas presentadas en la Figura 9.

Figura 9: Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

2.1 Etapa I

En la ejecución del objetivo número dos y tres del proyecto de investigación, inicialmente se seleccionó un producto para simular el proceso de ensamble con el objetivo de identificar los datos relevantes requeridos para el diseño de una metodología

computacional con el algoritmo de optimización seleccionado. Con los datos encontrados se establecieron las condiciones limitantes para la aplicación del estudio.

La operación escogida fue el ensamble de un tren de juguete. Una vez se definió el producto a ensamblar, se realizó el diseño del puesto de trabajo bimanual para simular el proceso de ensamble del producto. Las piezas fueron distribuidas en una mesa de trabajo, haciendo uso de las herramientas de la ingeniería de métodos para analizar los movimientos de las manos, con el fin de que estos fueran lo más necesarios, simples y cómodos posible.

Las herramientas que se utilizaron para el diseño fueron: los principios de economía de movimientos en sus tres categorías: 1) utilización del cuerpo humano 2) distribución del lugar de trabajo y 3) modelo de máquinas y herramientas; las áreas normales y máximas de trabajo, clasificación de movimientos, identificación y clasificación de los elementos de la operación, directrices ergonómicas, postura adecuada, altura de trabajo, requisitos visuales y ficha técnica del producto. Adicional a esto se utilizó un dispositivo de sujeción que cumplía la función de fijación del pre ensamble para evitar que las manos estuvieran ocupadas sosteniendo mientras se trabaja.

Este diseño fue elaborado con el software informático SolidWorks a una escala real y codificado de tal manera que se podían identificar las piezas, herramientas y puntos de alcance de los objetos que lo conforman.

2.2 Etapa II

El algoritmo de Dijkstra o también llamado algoritmo de caminos mínimos, es un algoritmo para la determinación del camino más corto dado un vértice origen al resto de los vértices en un grafo dirigido con pesos en cada arista. Para hallar el método óptimo del ensamble del producto seleccionado, combinando los elementos en la secuencia en que podrían ensamblarse las piezas y haciendo uso del algoritmo de Dijkstra, fue necesario diseñar un grafo dirigido, el cual representó todos los posibles caminos para ensamblar el producto.

Después de múltiples diseños del grafo que debía representar todas las posibilidades de ensamble se definió que, el diagrama debía comenzar en un nodo ($E(i)$) y finalizar en otro nodo ($E(k)$), adicional a esto, los nodos debían representar los estados (E_i) en los que se encontraba el pre-ensamble en determinado momento así como la secuencia debía de realizarse en niveles (Etapa n) y las conexiones entre los nodos o aristas estaban cargadas por unos pesos o costos (P_i) que eran determinados por las distancias recorridas por las manos según el estado que representa la interacción.

El grafo se diseñó de tal manera que estuvieran contenidos todos los posibles estados existentes en la ejecución de la tarea, eliminando aquellas posibilidades en las que se desobedecían los principios de economía de movimientos en su ítem A3, de esta manera se descartaron los siguientes estados:

- Combinación entre piezas de diferente tipo: solo se podrán ensamblar a la vez, piezas del mismo tipo, por ejemplo: tubo de escape y techo. No podrá haber combinación entre, tubo de escape y parachoques, entre otras.
- Combinación entre tornillos de diferentes piezas: es decir, solo se podrían ensamblar a la vez, tornillos del mismo tipo de pieza por ejemplo: tornillo parachoques delantero y tornillo parachoques trasero

El grafo debía representar todas las rutas posibles para ensamblar el producto. Para encontrar la ruta óptima, el algoritmo debió recorrer todas las conexiones del grafo y definir cuál era el camino menos costoso al realizar la operación.

Una vez definidas todos los estados y rutas para la ejecución de la operación, el siguiente paso consistió en ponderar las aristas que conectan cada uno de los nodos o estados del grafo, esta ponderación se realizó asumiendo un tipo de distribución fija y simétrica de las piezas en el área máxima de trabajo.

Los pesos fueron extraídos considerando las distancias desde el punto coordinado medio (P_i) donde se encuentra mano en el estado origen ($E(i)$), hasta el punto coordinado medio (P_j) donde se encuentra la mano en el estado destino ($E(i+1)$), esto

multiplicado por 2 unidades cuando es una distribución de piezas pares y simétricas. Los pesos se calculan por cada conexión en el grafo, según como se mueven las manos en los recorridos que realizan desde el área de ensamble hasta las piezas y desde las piezas hasta el área de ensamble, dependiendo del método de ensamble que se seleccione, considerando todas las posibilidades identificadas en el grafo.

Los puntos fueron modelados usando el software de programación matemática MATLAB, en donde definidos los puntos en la función, se calcula la distancia entre dos puntos con coordenadas x,y . Estos datos son dispuestos en una matriz X donde las dos primeras columnas representan la conexión de un nodo origen ($E(i)$) a un nodo destino ($E(i+j)$), las columnas 3, 4 y 5 representan los puntos origen (Po), destino (Pd) y final (Pf) y la columna 6 representa la distancia entre los puntos (Anexo 1).

2.3 Etapa III

Una vez establecido los pesos de cada arista, se procedió a definir el camino o ruta óptima por medio del algoritmo de Dijkstra. En primer lugar fue necesario definir la matriz Y de entrada del algoritmo, esta corresponde a una matriz cuadrada con número de filas y columnas iguales a la cantidad de nodos del grafo. Los índices de la matriz se definen relacionando las interacciones entre los nodos y valor corresponde al peso de la arista. Si la conexión no existía, se ubicaba el valor de cero (0).

La matriz Y se ingresa en el software de MATLAB mediante la función de optimización de Dijkstra. El Algoritmo genera el resultado, el cual corresponde a la ruta óptima o camino más corto, expresado en distancia, para ensamblar el producto.

2.4 Etapa IV

Para comprobar que el método de ensamble del tren de juguete, arrojado por el algoritmo de optimización de Dijkstra correspondía con el óptimo, se inició con el análisis correlacional.

Inicialmente se eligió el tamaño de la muestra, el cual correspondió con el 10% de las rutas posibles de ensamble, es decir 10 métodos o rutas diferentes de proceso de 96 posibilidades de ensamble (anexo 1). Esta forma de escoger los métodos aleatorios es similar a la manera en que las empresas seleccionan sus métodos de trabajo, por medio del ensayo y el error, o de la forma en que sea más cómodo para los trabajadores realizar su trabajo.

Esta prueba consistió en cronometrar el tiempo total de ensamble manual 15 veces, para cada uno de los 10 métodos aleatorios seleccionados, es decir se debió ensamblar el tren de juguete 150 veces para instaurar una curva de aprendizaje y evitar que el tiempo suplementario en la operación se debiera a falta de agilidad y experiencia en la ejecución de la tarea.

Con los datos encontrados de tiempo y distancia, se realizó un análisis estadístico para determinar si la ruta inicialmente seleccionada por el algoritmo seguía siendo la óptima, es decir, si la ruta óptima identificada por el algoritmo, correspondía al menor tiempo de ensamble con respecto a los 10 métodos seleccionados aleatoriamente.

Los métodos seleccionados al azar se pueden observar en el tabla 3.

Tabla 3: Muestra de métodos o rutas de ensamble del tren de juguete

Muestra											
Método/Estado	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
1	1	2	6	16	37	75	144	199	204	211	212
2	1	2	3	9	23	51	106	197	200	205	212
3	1	2	7	19	46	94	176	199	204	211	212
4	1	2	6	15	35	70	137	199	204	211	212
5	1	2	4	11	26	51	106	197	201	207	212
6	1	2	4	10	24	51	106	197	200	205	212
7	1	2	3	8	21	51	106	197	201	206	212
8	1	2	5	12	28	55	111	199	204	211	212
9	1	2	7	20	48	99	185	199	204	211	212
10	1	2	6	16	38	77	147	199	204	211	212

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Método Dijkstra para el ensamble del tren de juego

Método Dijkstra	1	2	4	10	24	51	106	198	203	209	212	Total
Pesos conexión (cm)		83,43	94,06	96,65	104,7	122,02	14	151,3	118,3	140,18	181,676	1106,316

Fuente: Elaboración propia

Los resultados arrojados se encuentran en el apartado de Resultados – Etapa IV, del presente documento.

3. Resultados

3.1 Etapa I

Para la selección del puesto de trabajo o la operación a analizar mediante la técnica desarrollada en esta investigación, es importante identificar las características del proceso y así poder definir si cumple o no con las condiciones necesarias para su estudio. Las condiciones encontradas fueron las que se exponen en la tabla 5.

Tabla 5: Descripción de la operación – ensamble tren de juguete

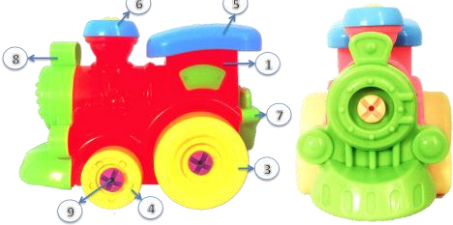
Producto	Tren de juguete	
Tipo de operación	Ensamble	
Operación Bimanual	Si	
Recorridos de las manos	Plano horizontal (X,Y)	
Número de piezas	18 piezas - Pares	
Distribución en el área de trabajo	Simétrica	
Cantidad de productos a fabricar	Una unidad	
Configuración	Isla de trabajo	
Posición de trabajo	Sentado	
Recurso Humano	Una persona	
Uso de maquinaria	No	

Fuente: Elaboración propia

La operación seleccionada como caso de estudio fue el ensamble de un tren de juguete que cuenta con 18 piezas de dimensiones tal como se muestra en la tabla 6. El diseño del puesto de trabajo considerando principios de economía de movimientos o guía para el diseño de operaciones manuales, se muestra en la figura 10 y 11, allí están señalados y delimitados todos los elementos necesarios para realizar la operación incluyendo un dispositivo de sujeción que cumple con la función de fijación del pre ensamble con el fin de evitar que las manos estén ocupadas “Sosteniendo” mientras se trabaja. Este diseño

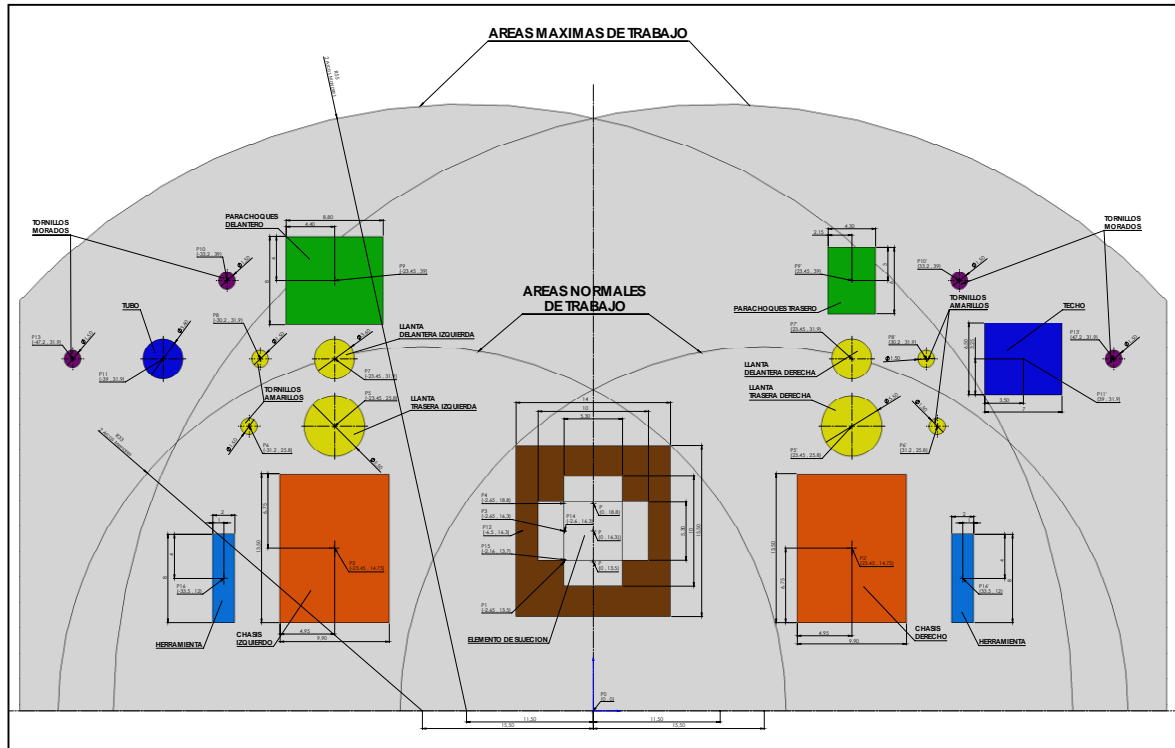
cumple con el 80% los principios de economía de movimientos, el 20% restante no eran requeridos debido a la naturaleza de la operación (Tabla 7).

Tabla 6: Ficha técnica del producto para una unidad

Producto	Tren de juguete		
Tipo de operación	Ensamble manual		Herramienta: 2 destornilladores
Partes necesarias para el ensamblar una unidad			
Nombre	Cantidad	Dimensiones (cm)	Descripción
1. Chasis izquierdo	1	13.5 de largo por 9.9 de ancho.	Color anaranjado
2. Chasis derecho	1	13.5 de largo por 9.9 de ancho.	Color anaranjado
3. Llantas traseras	2	Diámetro de 5.5	Color azul
4. Llantas delanteras	2	Diámetro de 3.6	Color azul
5. Techo	1	6.5 de largo por 7 de ancho	Tamaño grande color amarillo
6. Tubo de escape	1	Diámetro de 3.6	Tamaño pequeño color amarillo
7. Parachoques trasero	1	6 de largo por 4.3 de ancho	Color verde
8. Parachoques delantero	1	8 de largo por 8.8 de ancho	Color verde
9. Tornillos	8	Diámetro de 1.5	4 morados – 4 amarillos

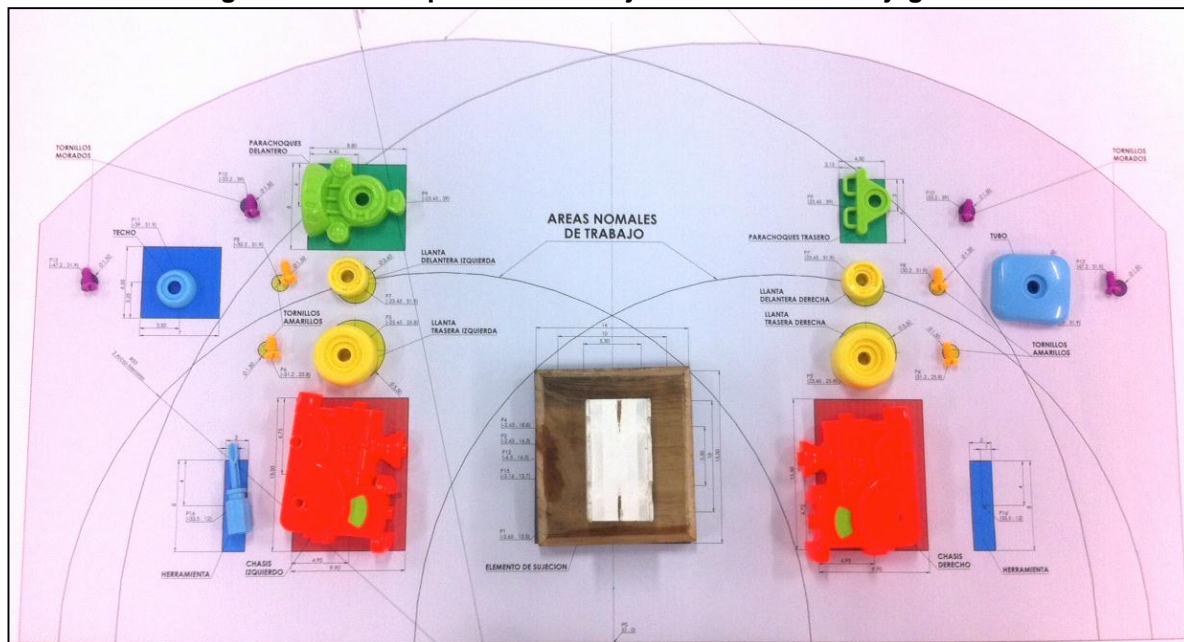
Fuente: Elaboración propia

Figura 10: Diseño del área de trabajo



Fuente: Elaboración propia

Figura 11: Diseño puesto de trabajo ensamble tren de juguete



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7: Principio de economía de movimientos o guía para el diseño de operaciones manuales.

Principios de economía de movimientos	Cumple / No Cumple
A. Utilización del cuerpo humano: Siempre que sea posible:	
1) Las dos manos deben comenzar y completar sus movimientos a la vez.	Sí
2) Nunca deben estar inactivas las dos manos a la vez, excepto durante los periodos de descanso.	Sí
3) Los movimientos de los brazos deben realizarse simultáneamente y en direcciones opuestas y simétricas.	Sí
4) Los movimientos de las manos y del cuerpo deben caer dentro de la clase más baja con que sea posible ejecutar satisfactoriamente el trabajo.	Sí Clase 4 (Ver Tabla 8 Clasificación de Movimientos)
5) Debe aprovecharse el impulso cuando favorece al obrero, pero debe reducirse a un mínimo si hay que contrarrestarlo con un esfuerzo muscular.	Sí No es requerida la fuerza muscular
6) Son preferibles los movimientos continuos y curvos a los movimientos rectos en los que hay cambios de dirección repentinos y bruscos.	Sí
7) Los movimientos de oscilación libre son más rápidos, más fáciles y más exactos que los restringidos o controlados.	Sí Los movimientos son periódicos porque la posición y la velocidad de las manos en movimiento se repiten en función del tiempo.
8) El ritmo es esencial para la ejecución suave y automática de las operaciones repetitivas, y el trabajo debe disponerse de modo que se pueda hacer con un ritmo fácil y natural, siempre que sea posible.	Sí Se trabaja con el ritmo natural de cuerpo, la ubicación de las piezas fueron dispuestas de tal manera que su ejecución produce movimientos ascendentes, simples y continuos (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
9) El trabajo debe disponerse de modo que los ojos se muevan dentro de límites cómodos y no sea necesario cambiar de foco a menudo.	Sí Los ojos de la persona alcanzan a visualizar todas las piezas y herramientas de la estación de trabajo sin tener que realizar movimientos con la cabeza. Dentro de esta área se necesita un mínimo de movimientos de los ojos y la fatiga del ojo se minimiza (Figura 10, Diseño del área de trabajo)
B. Distribución del lugar de trabajo	

1) Debe haber un sitio definido y fijo para todas las herramientas y materiales, con objeto de que se adquieran hábitos.	Sí Las piezas y herramientas tienen un lugar definido en el área de trabajo, este está delimitado por las dimensiones y colores de la pieza correspondiente (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
2) Las herramientas y materiales deben colocarse de antemano donde se necesitaran, para no tener que buscarlos.	Sí Las herramientas se ubican en el sitio que fue asignado para su depósito (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
3) Deben utilizarse depósitos y medios de abastecimiento por gravedad, para que el material llegue tan cerca como sea posible del punto de utilización.	No fue necesario ya que solo se ensamblaría una unidad de producto
4) Las herramientas, materiales y mandos deben situarse dentro del Área máxima de trabajo y tan cerca del trabajador como sea posible.	Sí Las áreas máximas y normales fueron delimitadas haciendo uso de las medidas antropométricas del trabajador (Ver tabla 9, Áreas máximas y normales) Las piezas fueron situadas tan cerca del área de ensamble como fue posible; los puntos medios (puntos donde son sujetadas las piezas) de cada pieza se describieron en el plano (x,y) para su identificación espacial (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
5) Los materiales y las herramientas deben situarse en la forma que dé a los gestos el mejor orden posible.	Sí Las piezas y materiales se situaron de tal forma que estas se van alcanzando de manera ascendente mediante un barrido, con el fin de darle a los movimientos orden y evitar que las manos tropiecen con piezas cuando se devuelven hacia el área de ensamble (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
6) Deben utilizarse, siempre que sea posible, eyectores y dispositivos que permitan al operario (dejar caer) el trabajo terminado sin necesidad de utilizar las manos para despacharlo.	No fue necesario ya que solo se ensamblaría una unidad de producto
7) Deben preverse medios para que la luz sea buena, y facilitarse al obrero una silla del tipo y altura adecuados para que se siente en buena postura. La altura de la superficie de trabajo y la del asiento deberán combinarse de forma	Sí Las directrices ergonómicas que se utilizaron en el diseño del puesto de trabajo (Ver tabla 10, Directrices ergonómicas).

que permitan al operario trabajar alternativamente sentado o de pie.	
8) El color de la superficie de trabajo deberá contrastar con el de la tarea que realiza, para reducir así la fatiga de la vista.	Sí El color de la superficie de trabajo se dispuso de color blanco, el cual contrasta con el color de las piezas y herramientas de trabajo (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
C. Modelo de las máquinas y herramientas	
1) Debe evitarse que las manos estén ocupadas sosteniendo la pieza cuando esta pueda sujetarse con una plantilla, brazo o dispositivo accionado por el pie.	Sí Fue utilizado un dispositivo de sujeción
2) Siempre que sea posible deben combinarse dos o más herramientas.	Sí Son utilizadas dos herramientas una para cada mano, en la operación (Figura 10, Diseño del área de trabajo).
3) Siempre que cada dedo realice un movimiento específico, como para escribir a máquina, debe distribuirse la carga de acuerdo con la capacidad inherente a cada dedo.	Sí Son utilizados los dedos índices de cada mano, para roscar los tornillos del producto.
4) Los mangos, como los utilizados en las manivelas y destornilladores grandes, deben diseñarse para que la mayor cantidad posible de superficie este en contacto con la mano. Es algo de especial importancia cuando hay que ejercer mucha fuerza sobre el mango.	Debido a que no se requieren operaciones de fuerza en el proceso, no fue rediseñada la herramienta de trabajo.
5) Las palancas, barras cruzadas y volantes de mano deben situarse en posiciones que permitan al operario manipularlos con un mínimo de cambio de posición del cuerpo y un máximo de ventajas mecánicas.	No son utilizados este tipo de herramientas en la operación analizada

Fuente: Elaboración propia

La clasificación de movimientos que se realizan en la operación, fue considerada como clase 4 (ver tabla 8), debido a que el punto de apoyo del cuerpo en la ejecución de la tarea son los hombros, en donde son usados partes de cuerpo como: brazo, antebrazo, mano y dedos. Es importante expresar que esta clasificación es alta puesto que el movimiento para una distancia específica consume más tiempo que los movimientos de las clases anteriores (3,2,1) y debería reducirse para minimizar la carga estática de los movimientos de los hombros, y consumir menor cantidad de energía.

Tabla 8: Clasificación de movimientos

Clase	Punto de apoyo	Partes del cuerpo empleadas
1	Nudillos	Dedo
2	Muñeca	Mano y dedos
3	Codo	Antebrazo, mano y dedos
4	Hombro	Brazo, antebrazo, mano y dedos
5	Tronco	Torso, brazo, antebrazo, mano y dedos

Fuente: (Kanawaty & Trabajo, Introducción Al Estudio Del Trabajo, 1996)

Las áreas máximas y normales de trabajo fueron dibujadas con la información que se muestra en la tabla 9. Cabe resaltar que la mayoría de los elementos necesarios para llevar a cabo la operación, se encuentran dentro del área normal de trabajo, es decir lo más cerca posible del operario o del área de ensamble y ningún elemento se encuentra por fuera del área máxima. Con esta distribución se garantizó que el recurso humano no realizara movimientos innecesarios e incómodos al tener que alcanzar objetos a una distancia en la que hay mayores esfuerzos musculares y más tiempo.

Tabla 9: Áreas máximas y normales

Área	Dimensiones (Centímetros)
Áreas Máxima mano derecha e izquierda	Arco de 180°
	Origen en mano derecha (11.5,0) Origen en mano izquierda (-11.5,0) Longitud entre hombros, proyectado en el plano horizontal de la mesa de trabajo.
	Radio de 55 cm Longitud de alcance del brazo y antebrazo extendido apoyado en la mesa de trabajo, para ambas manos
	Áreas normales mano derecha e izquierda
Áreas normales mano derecha e izquierda	Arco de 180°
	Origen en mano derecha (15.5,0) Origen en mano izquierda (-15.5,0) Longitud entre hombros, proyectado en el plano horizontal de la mesa de trabajo.
	Radio de 33 cm Longitud de alcance del antebrazo extendido apoyado en la mesa de trabajo, para ambas manos

Fuente: Elaboración propia

Fueron consideradas las medidas antropométricas que se muestran en la tabla no. 10 en el diseño del lugar de trabajo de manera que este se ajuste adecuadamente al recurso humano (directrices ergonómicas), para garantizar mayor productividad y eficiencia en la operación y menor fatiga en el trabajador.

Tabla 10: Directrices ergonómicas

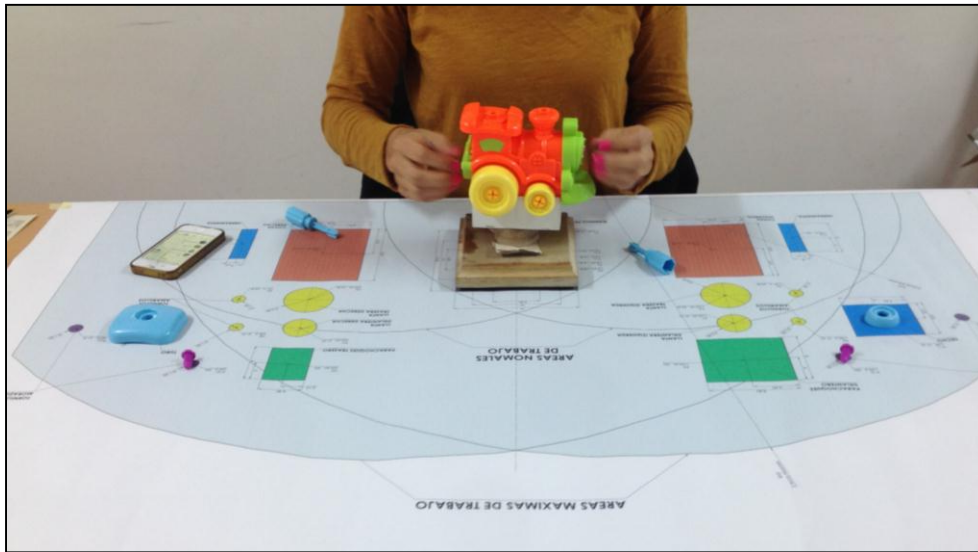
(dentro de las dimensiones recomendadas para tareas efectuadas en posición de sentado, según (Kanawaty & Trabajo, 1996))

Parámetro	Dimensión (Centímetros)
Altura del asiento	52
Altura de la mesa	75,1
Estatura	168
Altura del codo	75,2
Altura descansa pies	6,3

Fuente: Elaboración propia

El asiento fue ajustado de tal manera que la altura de los codos del trabajador estuvieran flexionados en un ángulo de 90%, debido a este ajuste los pies no alcanzaban el piso, por esta razón se dispuso un descansa pies que generó que los muslos se encontrarán en un ángulo de 90% con respecto a los pies apoyados. El asiento también fue graduado en el área de la espalda, permitiendo que la persona se encontrara cómoda al realizar la operación.

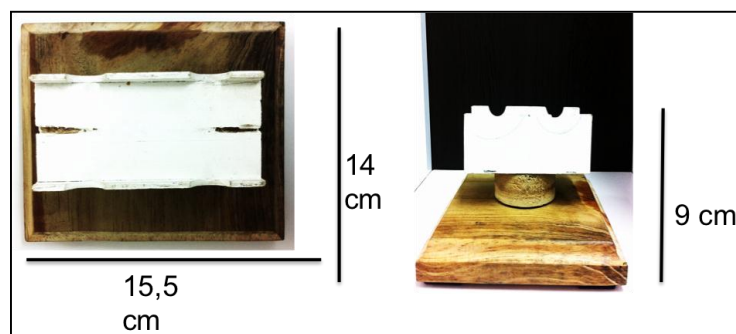
Figura 12: Posición del cuerpo al realizar la operación



Fuente: Elaboración propia

Fue utilizado un dispositivo de sujeción (figura 13) diseñado de tal manera que permitía sujetar el producto firmemente, facilitaba el giro mediante un rodamiento, para que este pueda ser ensamblado en las posiciones que el trabajador requiere, adicional fue considerada la economía de movimientos en su diseño donde se permite la bimanualidad que es supremamente importante en el caso de estudio.

Figura 13: Dispositivo de sujeción



Fuente: Elaboración propia

3.2 Etapa II

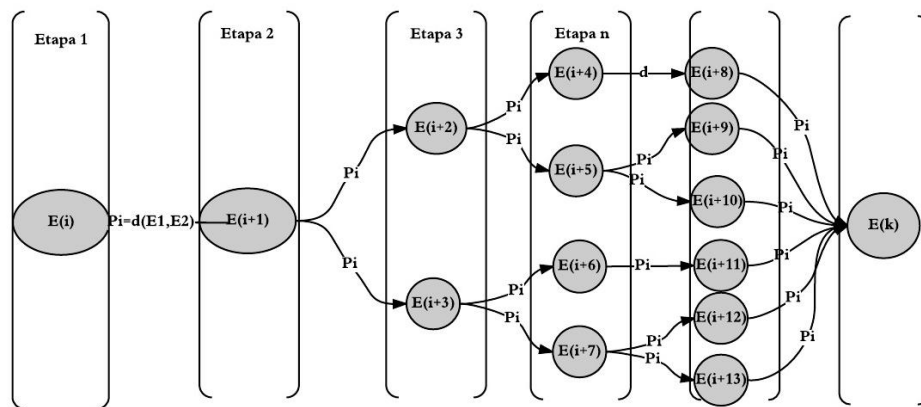
El grafo de la figura 14 y la tabla 11, representan un ejemplo de una posible conexión entre estados en una operación de ensamble. Este inicia con el nodo número uno (E(i))

que representa el estado inicial (i), es decir, estado en el cual todas las piezas se encuentran desensambladas y en su sitio fijo. Este nodo inicial (E(i)) está conectado únicamente con el nodo (E(i+1)) por medio de una arista que lleva un peso (Pi) y que más adelante se expondrá la forma de calcularlo. Este nodo (E(i+1)) representa el estado en el cual el estado (E(i)) fue transformado y se convirtió en un estado evolucionado del estado anterior.

Posteriormente el nodo (E(i+1)) se encuentra conectado con el nodo (E(i+2)) y (E(i+3)). Dependiendo del peso que tenga asignada cada arista en estas conexiones, el algoritmo recorrerá la ruta que representa el menor peso o costo, es decir tomará la ruta más económica.

El grafo continúa con los siguientes nodos alternando posibilidades de ensamble de las piezas restantes, hasta llegar al nodo final (E(k)), el cual representa el producto terminado (todas las piezas ensambladas).

Figura 14: Representación grafo dirigido



Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Posibilidades de ensamble

Nodo (E)	Estado	Peso (Pi)
E(i)	Estado inicial	La arista pesa Cero (0) ya que el nodo no tiene predecesor
E(i+1)	Segundo	$P(E(i), E(i+1)) = (d(P_i, P_j) + d(P_j, P_i)) * 2$

	estado	Distancia de P3 a P2 de ida más distancia de P2 a P3 de regreso * dos manos
E(i+2)	Tercer estado	$P(E(i+1), E(i+2))=d(P_i, P_k)*2+ d(P_k, P_z)*2$ Distancia de P _i a P _k (ir) más la distancia de P _k a P _z (regresar) * dos manos

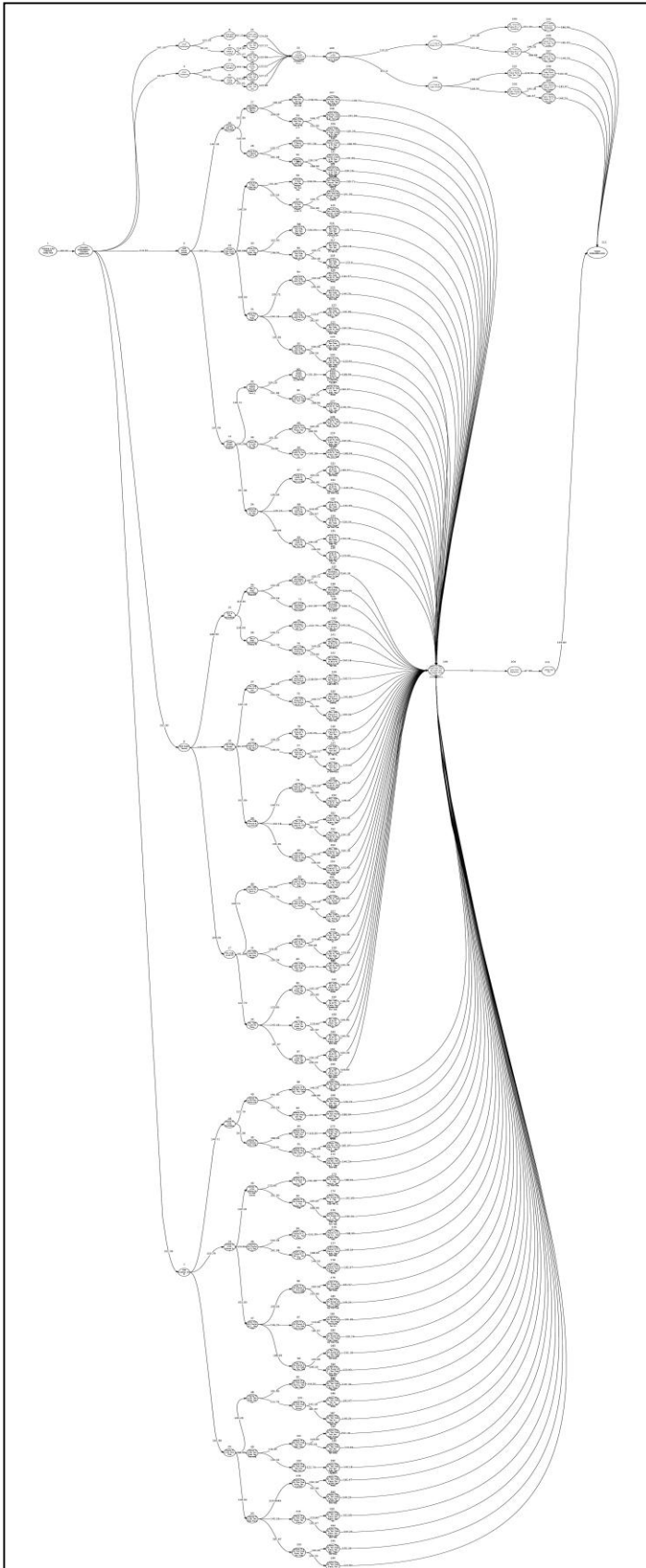
Fuente: Elaboración propia

El grafo dirigido que representó todas las rutas posibles para ensamblar el tren, consistió en la unión de 212 nodos y 311 aristas, 10 etapas, para un total de 96 posibilidades de ensamble (Figura 15).

El grafo inicia con el nodo número uno (1) que representa el estado número uno (1), es decir, estado en el cual todas las piezas se encuentra desensambladas y en su sitio fijo en el área de trabajo.

El nodo número uno (1) está conectado únicamente con el nodo número dos (2) por medio de una arista que lleva un peso de 83,43 cm. Este nodo número dos (2) representa el estado en el cual el chasis izquierdo y el chasis derecho son unidos y ubicados en el dispositivo de sujeción que se encuentra en el área de ensamble de la estación de trabajo.

Posteriormente el nodo número dos (2) se encuentra conectado con el nodo número tres (3), cuatro (4), cinco (5), seis (6) y siete (7) los cuales representan las rutas en las que puede continuar ensamblándose el resto de las piezas debido a las restricciones de diseño del producto, el estado es denominado como: chasis izquierdo y chasis derecho ensamblados y ubicado en el dispositivo de sujeción, girado a la posición vertical con vista hacia el frente, para el nodo tres (3) y cuatro (4), y para el nodo cinco (5), seis (6) y siete (7) chasis izquierdo y chasis derecho ensamblados y ubicado en el dispositivo de sujeción, girado a la posición horizontal con vista hacia la izquierda.



El grafo continua con los siguientes nodos alternando posibilidades de ensamble de las 16 piezas restantes, hasta llegar al nodo número 212, el cual representa el producto terminado. El anexo A representa las posibilidades de ensamble para el tren de juguete.

Figura 15: Grado dirigido ensamble tren de juguete

Fuente: Elaboración propia

La distribución fija de las piezas en el área de trabajo que se asumió para ponderar las aristas del grafo, se puede observar la figura 10.

Los pesos extraídos de las distancias, desde el punto origen hasta el punto destino, de acuerdo a los movimientos de las manos en los recorridos que realizan y dependiendo del método de ensamble que se escogió, se describen en la tabla 12.

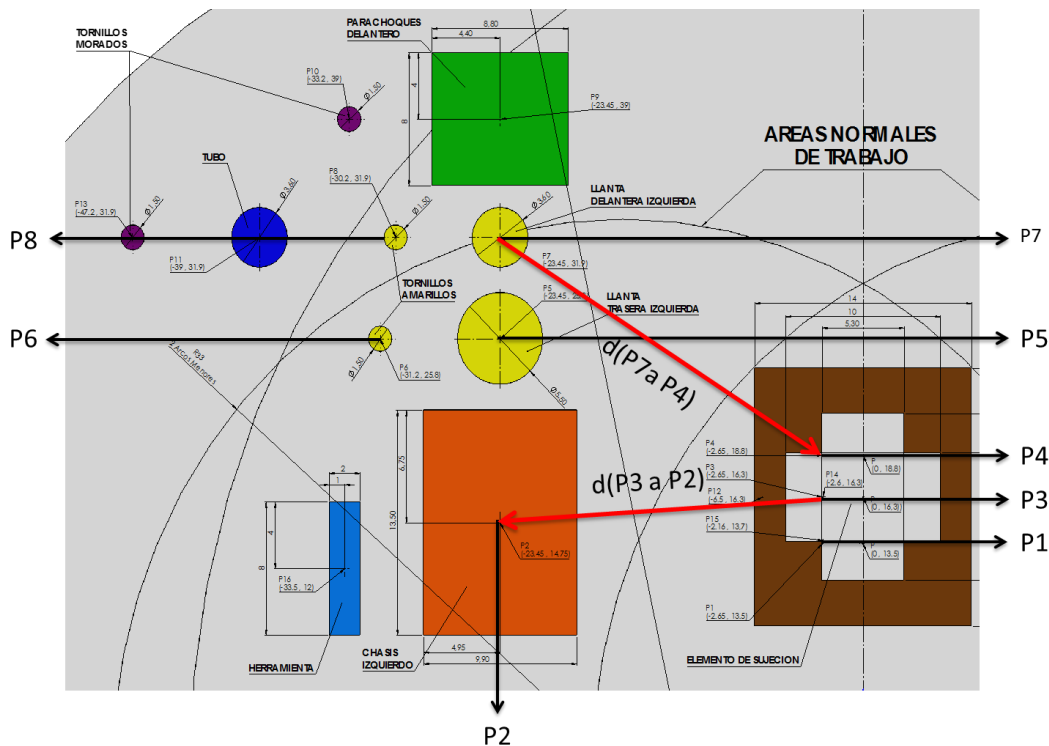
$$d(P1, P2) = \sqrt{(x2 - x1) + (y2 - y1)^2}$$

Tabla 12: Cálculo de las distancias entre puntos

Eo	Ed	Po	Pd	Pf	P(o,d,f)
1	2	P3(x,y)	P2(x,y)	P3(x,y)	$\sqrt{(P2x2 - P3x1) + (P2y2 - P3y1)^2} + \sqrt{(P3x2 - P2x1) + (P3y2 - P2y1)^2}$

La representación gráfica de la ponderación de las aristas en el grafo dirigido se muestra en la figura 16.

Figura 16: Área de trabajo con puntos espaciales



Fuente: Elaboración propia

Los puntos P1..n se encuentran ubicados en el cuarto cuadrante del plano con coordenadas para X negativas y para Y positivas. Los puntos P'1...n están en el primer cuadrante del plano coordenadas para X positivas y para Y positivas. Los puntos P y P' son simétricos, para proporcionar movimientos continuos, curvos e iguales para ambas manos.

Tabla 13: Coordenadas piezas y herramientas de trabajo – P (área mano izquierda) P' (área mano derecha)

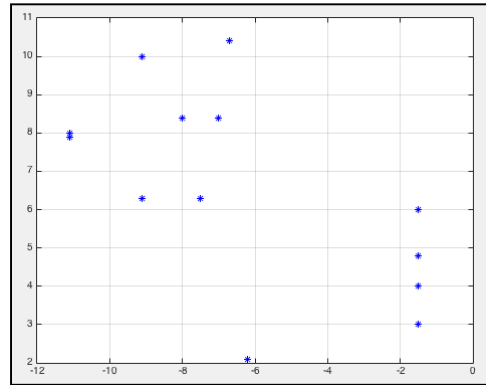
Punto/Coordenada	Pieza	X	Y
P1 y P1'	Punto de ensamble de las llantas traseras en el área de ensamble	-2.65	13,5
P2 y P2'	Chasis izquierdo	-23.45	14.75
P3 Y P3'	Punto de ensamble del chasis en el área de ensamble	-2.65	16.3
P4 Y P4'	Punto de ensamble de las llantas delanteras en el área de ensamble	-2.65	18.8
P5 Y P5'	Llantas traseras	-23.45	25.8
P6 Y P6'	Tornillos llantas traseras	-31.2	25.8
P7 Y P7'	Llantas delanteras	-23.45	31.9
P8 Y P8'	Tornillos llantas delanteras	-30.2	31.9
P9 Y P9'	Parachoques delantero	-23.45	39
P10 Y P10'	Tornillo Parachoques delantero	-33.2	39
P11 Y P11'	Tubo de escape	-39	31.9
P12 Y P12'	Punto de ensamble del parachoques delantero en el área de ensamble	-6.5	16.3
P13 Y P13'	Tornillo Tubo de escape	-47.2	31.9
P14 Y P14'	Punto de ensamble del tubo de escape y el techo en el área de ensamble	-2.6	16.3
P15 Y P15'	Punto de ensamble de las llantas traseras y delanteras en el área de ensamble	-2.16	13.7
P16 Y P16'	Herramienta	-33.5	12

Fuente: Elaboración propia

Los puntos fueron modelados usando el software de programación matemática MATLAB, en donde definidos unos puntos, la función *function Dis=distPoints(p0,p1)* calcula la distancia entre dos puntos con coordenadas x,y. Estos datos son dispuestos en una matriz D donde las dos primeras columnas representan la conexión de un nodo origen

(Eo) a un nodo destino (Ed), las columnas 3, 4 y 5 representan los puntos origen (Po), destino (Pd) y final (Pf) y la columna 6 representa la distancia entre los puntos, tal como se muestra en la tabla del anexo A.

Figura 17: Coordenadas de puntos de las piezas en el espacio (x,y)



Fuente: Elaboración propia

3.3 Etapa III

La matriz de entrada del algoritmo, es una matriz cuadrada con número de filas y columnas iguales a la cantidad de nodos del grafo. Para la operación de ensamble del tren de juguete, la matriz MDM, corresponde a una matriz cuadrada de 212 x 212. Los índices de la matriz se definieron relacionando la interacciones entre los nodos y valor corresponde al peso de la arista. Si la conexión no existe se ubica el valor de cero (0), así:

Tabla 14: Matriz de entrada MDM para algoritmo de Dijkstra ensamble tren de juguete

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	83,4306898	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	101,162994	94,0628635	113,320254	151,304248	102,090227	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	122,023768	92,2218834	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96,6585744
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

La matriz se ingresa en el software de MATLAB mediante la función de optimización de Dijkstra llamada (dijkstra.m) con salidas de e (exchangeNode/costo total) y L (listdijkstra/ruta) y entradas con la Matriz (MDM) nodo inicial (1) y nodo final (212). El Algoritmo genera el resultado, el cual corresponde a la ruta óptima o camino más corto, expresado en distancia, para ensamblar el producto.

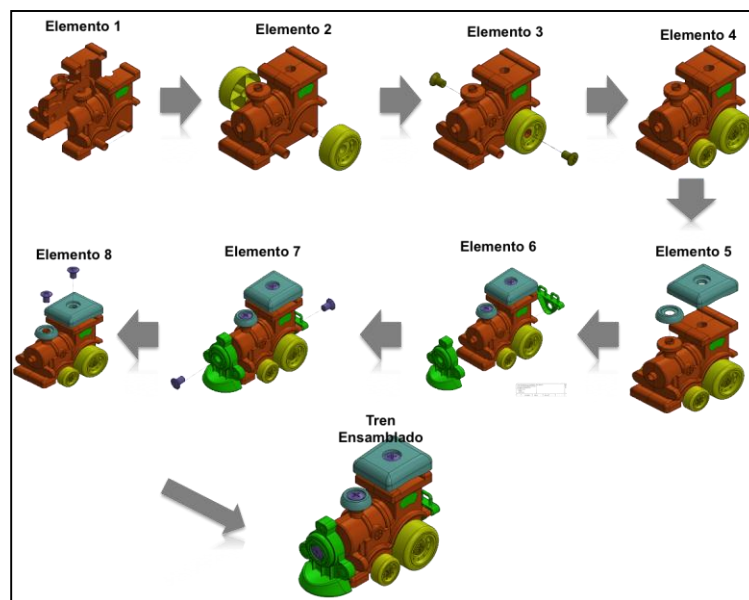
```
>> [e L] = dijkstra(MDM,1,212)
e =
    1.1063e+03
L =
    212    209    203    198    106    51    24    10    4    2    1
```

La ruta determinada por el algoritmo de Dijkstra corresponde al método que se muestra en la Tabla 15 y se representa gráficamente en la figura 18.

Tabla 15: Método o ruta óptima según algoritmo de Dijkstra para el ensamble del tren de juguete

Método Óptimo												
Ruta Dijkstra	1	2	4	10	24	51	106	198	203	209	212	
Descripción		Ensamble Chasis	GVF Llantas Trasera	Tor Llantas Trasera	Llantas Delanter	Tornillos Llantas Delanteras	GHI	Tubo y Techo	Parachoques Delantero y Trasero	Tornillos Parachoques	Tornillos Tubo y Techo	Total
Pesos (cm)		83,43	94,06	96,65	104,7	122,02	14	151,3	118,3	140,18	181,676	1106,32

Fuente: Elaboración propia

Figura 18: Método óptimo de ensamble de tren de juguete

Fuente: elaboración propia.

La ruta más económica que encontró el algoritmo para ensamblar el tren de juguete tiene un costo total de 1106,32 cm, tal como se muestra en la tabla 16. Este costo representa la cantidad de centímetros recorridos por las dos manos, es decir, hace referencia a los movimientos que se ejecutaron en la tarea. El costo o peso total se obtiene de la suma de las distancias parciales que recorren las manos en cada uno de los 11 estados que tienen lugar en el método óptimo.

De la tabla 16, también podemos observar que el estado en el que se recorre la mayor cantidad de distancia es desde el estado 209 al 212 con un valor de 181,67 cm, este representa el ensamble de los tornillos del techo y el tubo en el pre-ensamble, ya que estas piezas están ubicadas en la parte del plano más alejado, adicionalmente existe un cambio de distancia importante pues el estado anterior a este era en el punto donde se ensamblan los tornillos del parachoques P12.

Podemos observar que el algoritmo privilegió la posición de ensamble preliminar en la forma vertical con vista hacia el frente, para luego girar 90° hacia la derecha, en lugar de iniciar con la posición horizontal con vista hacia la izquierda.

3.4 Etapa IV

Tal como se expresó en el capítulo de metodología en el numeral 2.4, fue necesario evaluar la confianza del método seleccionado por el algoritmo de Dijkstra. Para esto fue utilizado el software Origin, donde se analizaron los datos del obtenidos en la aplicación del caso de estudio.

Se analizaron dos tipos de datos, los primeros fueron los tiempos totales de ensamble en segundos (s), para cada uno de los métodos seleccionados y ejecutados (tabla 16). Los segundos datos fueron las distancias totales en centímetros, recorridas por las manos en cada uno de los métodos seleccionados (tabla 17). Los ensambles de cada uno de los métodos fueron cronometrados en 15 intentos con el fin de obtener datos consistentes.

Tabla 16: Tiempos totales de ensamble en segundos por método y Análisis de productividad y eficiencia de los método aleatorios con respecto al método óptimo

Tiempo/Método	M-Dijkstra	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
T1	58	68	58	70,00	58	49	60	57	62	56	56
T2	57	67	57	63	60	54	55	53	57	61	65
T3	58	66	55	64	61	52	55	50	66	58	60
T4	52	59	56	56	71	56	49	61	57	67	65
T5	48	65	56	64	58	51	58	50	58	62	52
T6	54	62	64	67	55	60	55	52	61	59	65
T7	40	59	58	66	63	52	53	58	62	58	61
T8	52	64	63	65	61	55	51	58	61	62	57
T9	45	66	56	59	59	54	50	51	60	58	64
T10	50	58	60	59	61	53	56	48	55	58	58
T11	50	62	55	54	53	53	52	53	64	67	59
T12	50	58	61	56	61	57	61	49	64	61	62
T14	45	72	58	63	59	61	53	56	63	59	59
T15	50	64	55	58	60	54	53	56	58	61	57
T16	51	58	54	70	63	54	51	55	56	62	62
Promedio tiempo	50,67	63,2	58	62,27	60	54	54	54	60	61	60,1
Producción/día	497	399	436	405	419	464	466	468	418	416	419
Disminución productividad	0%	20%	12%	19%	16%	7%	6%	6%	16%	16%	16%
%Eficiencia	100%	80%	88%	81%	84%	93%	94%	94%	84%	84%	84%

Fuente: Elaboración propia

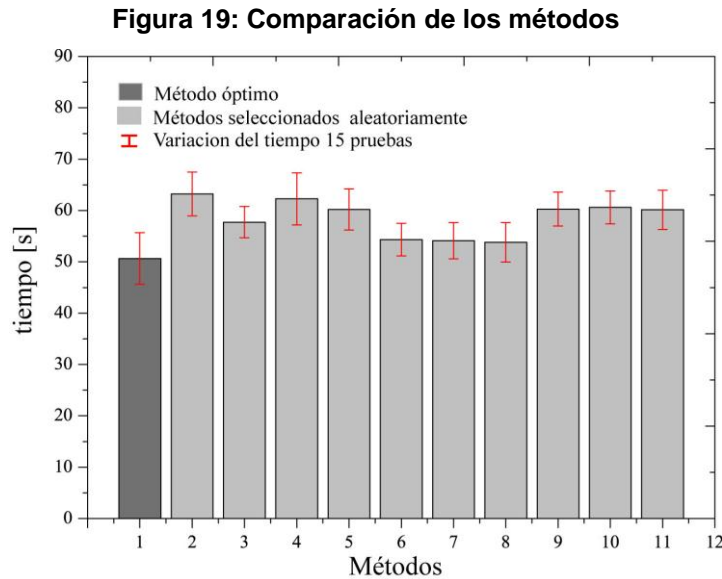
Tabla 17: Distancias totales en centímetros por método y análisis de eficiencia de los métodos aleatorios con respecto al método óptimo

Método	Peso o Costo Total (cm)	% de disminución de eficiencia
M-Dijkstra	1106,316	100,00%
M1	1162,33	5,06%
M2	1150,8549	4,03%
M3	1164,0767	5,22%
M4	1169,7002	5,73%
M5	1139,1001	2,96%
M6	1108,6836	0,21%
M7	1129,776	2,12%
M8	1164,0053	5,21%
M9	1168,9897	5,67%
M10	1168,3834	5,61%

Fuente: Elaboración propia

El análisis estadístico arrojó los siguientes resultados:

La Figura 19, representa un esquema de barras, comparando los tiempos totales de ensamble de los métodos analizados. El primero simboliza el método seleccionado por el algoritmo de Dijkstra como óptimo. Las demás barras muestran los métodos seleccionados aleatoriamente. De esta grafica se puede concluir que efectivamente el método seleccionado por Dijkstra es el método con el menor tiempo de ensamble, es decir el método más económico, con una media de 50 segundos en el tiempo total de la operación, con un límite superior de 58 s y límite inferior de 40 s. Es importante resaltar que las desviaciones estándar de los métodos tienen poca dispersión ya que los datos se ajustan a la medida de tendencia central.



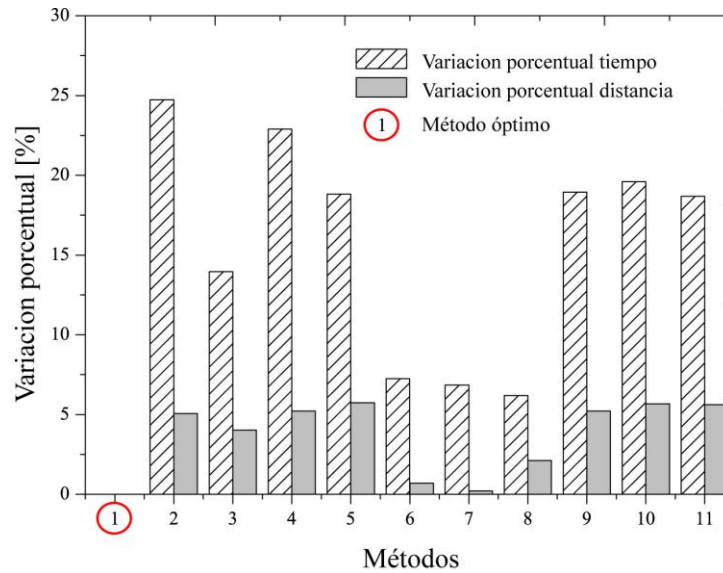
Fuente: Elaboración propia

En la Figura 20, observamos la variación porcentual entre el tiempo y la distancia con respecto al método óptimo, encontrando variaciones del 25% en el tiempo del primer método, mientras que con la distancia la variación es del 5%. De lo anterior y observando los 9 métodos siguientes se puede concluir que la variación con respecto a los recorridos realizados (distancia) no es muy diferente entre el método óptimo y los métodos aleatorios, pero si es alta cuando se analiza con respecto al tiempo (tabla 16 y 17). Para ilustrar la importancia de este resultado se muestra el siguiente análisis:

- Si la operación de ensamble de trenes de juguete se realizara en una jornada de trabajo de 8 horas diarias, con una hora de descanso, se tendría una disminución en la productividad del 20% comparando el método más costoso (2) con respecto al método óptimo, debido a que este utiliza el 25% más del tiempo que el primer el método óptimo (tabla 16).

El porcentaje de eficiencia del método óptimo con respecto a los métodos analizados es el que se muestra en la tabla 16

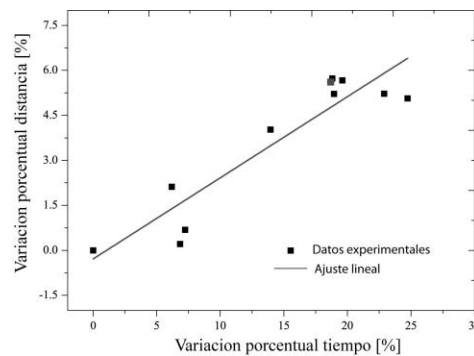
Figura 20: Variación porcentual entre el tiempo y la distancia.



Fuente: Elaboración propia

A partir de los datos se realizó una regresión lineal simple. El modelo presentó un coeficiente de correlación alto con un valor de 83%, como se puede apreciar en la Figura 23 donde se evidencia la relación directamente proporcional entre las variables en estudio Tiempo y Distancia. La prueba *Fisher* arrojó un valor de 52.6217 y estadísticamente significativo de $(\text{Sig}=4.79162e^{-5})$ lo que ratifica la veracidad del modelo. En la tabla 20 se resumen los parámetros del modelo hallado.

Figura 21: correlación tiempo-distancia



Fuente: elaboración propia

Tabla 18: Parámetros del modelo

Parámetros del modelo	
Variable dependiente, Y	Tiempo, seg
Variable dependiente, X	Distancia, cm
Modelo	$Y = \beta_0 + \beta_1 X$
β_0	-0.28653
β_1	0.2704
Anova Modelo significancia	$4.79162e^{-5}$
R^2	0.83775

Fuente: elaboración propia

4. Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusión primer objetivo

La evolución de la tecnología ha invitado a las organizaciones a aumentar el uso de las herramientas digitales y las aplicaciones informáticas, con el ánimo de mejorar sus procesos y productividad. A través de técnicas computacionales se han agilizado y optimizado las operaciones logísticas y administrativas. Técnicas clásicas para la mejora de los procesos y procedimientos se han beneficiado con la evolución de las metodologías de aplicación, pues las contemporáneas dan resultados más rápidos, ágiles, con un alto nivel de confianza, con mayor capacidad de almacenamiento de datos, entre otros.

Mediante la revisión bibliográfica desarrollada en esta investigación se concluye que áreas como la ingeniería de métodos son un blanco importante para la aplicación de técnicas y herramientas informáticas que agilicen los procesos de medición y análisis de los datos para optimizar las labores que se ejecutan en un puesto de trabajo. No hemos encontrado aplicaciones de técnicas de optimización o herramientas computacionales que permitan acercarse al establecimiento del método óptimo para la operación de ensamble manual, que por consiguiente generaría el tiempo total más bajo de operación.

4.2 Conclusión segundo objetivo

El algoritmo de Dijkstra es un algoritmo eficiente que se adapta a las condiciones del problema objeto de estudio. Este algoritmo genera la ruta óptima o el camino más corto para llegar de un estado inicial a un estado final en la operación de ensamble bimanual, entre todas las posibilidades. Estos estados corresponden a las etapas en las que el producto va modificándose hasta llegar al producto terminado.

La metodología diseñada mediante la aplicación del algoritmo de optimización para minimizar el tiempo total de las operaciones, en un proceso de ensamble bimanual, consta de cuatro etapas iniciando por la selección y el diseño del puesto de trabajo,

seguido del diseño del grafo dirigido pesado, programación del algoritmo de Dijkstra y definición de la ruta óptima y por último la comprobación del método.

4.3 Conclusión tercer objetivo

Al comparar el método seleccionado por Dijkstra con los demás métodos de ensamble, se puede concluir que este representa la opción óptima en cuanto a movimientos o distancias recorridas y tiempo de operación.

La variación de los recorridos, entre los métodos aleatorios y el óptimo, no es muy diferente, puesto que el % de eficiencia no es muy significativo. Por el contrario, la variación del tiempo de ensamble, entre los métodos aleatorios y el óptimo, es importante y significativa, ya que se obtuvo un promedio en el aumento de la productividad del 13%.

Hay diferencia estadísticamente significativa entre el método óptimo seleccionado por Dijkstra los demás métodos de ensamble.

4.4 Futuras líneas

El tipo de operación que fue seleccionada para aplicar la metodología de optimización, limitó el estudio, enfocándose únicamente en operaciones de ensamble bimanual en puestos de trabajo donde los movimientos se realizan en un plano de dos dimensiones, la cantidad de piezas son pares y distribuidas simétricamente en el área normal de trabajo. Por esta razón es interesante ampliar la investigación para incluir puestos de trabajo con condiciones diferentes a las que se abordaron en este trabajo.

Adicionalmente es importante aplicar el estudio a puestos de trabajo reales en donde se pueda comparar la configuración actual con la configuración óptima que se desprenda de el algoritmo de Dijkstra, así como la utilización de otras técnicas de optimización como los algoritmos genéticos, la programación lineal, entre otros, que se adapten al problema y que tengan menor costo computacional.

5. Anexos

5.1 Anexo 1: Matriz D. Nodos, puntos recorridos, pesos (Pi) ensamble tren de juguete.

Ei	Ef	Po	Pd	Pf	Peso (Pi) Distancia 2M (centímetros)	Estado
1	2	3	2	0	83,4306898	Chasis izquierdo y chasis derecho
2	3	3	7	4	101,1629942	Giro vertical frontal y llantas delanteras
2	4	3	5	1	94,06286347	Giro vertical frontal y llantas traseras
2	5	12	9	12	113,3202541	Giro horizontal izquierdo, parachoques delantero trasero
2	6	12	11	14	151,3042483	Giro horizontal izquierdo, tubo de escape y techo
2	7	12	7	15	102,0902266	Giro horizontal izquierdo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
3	8	4	8	0	122,0237682	Giro vertical frontal y llantas delanteras con tornillos
3	9	4	5	1	92,22188337	Giro vertical frontal, llantas delanteras y llantas traseras
4	10	1	5	0	96,65857437	Giro vertical frontal, llantas traseras con tornillos
4	11	1	7	4	104,7039701	Giro vertical frontal, llantas traseras y llantas delanteras
5	12	12	10	0	140,1815965	Parachoques delantero y trasero con tornillos
5	13	12	11	14	151,3042483	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo
5	14	12	7	15	102,0902266	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
6	15	14	13	0	188,998201	Techo y tubo con tornillos
6	16	14	9	12	118,3046727	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero
6	17	14	7	15	108,0980352	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
7	18	15	8	15	133,7150164	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos
7	19	15	9	12	122,7919379	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero
7	20	15	11	14	161,3849529	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo
8	21	4	5	1	92,22188337	Giro vertical frontal, llantas delanteras con tornillos y llantas traseras
9	22	1	6	0	124,3474165	Giro vertical frontal, llantas delanteras y traseras con tornillos llantas traseras
9	23	1	8	4	127,2708457	Giro vertical frontal, llantas delanteras y traseras con tornillos llantas delanteras
10	24	1	7	4	104,7039701	Giro vertical frontal, llantas traseras con tornillos y llantas delanteras
11	25	4	6	1	120,9649491	Giro vertical frontal, llantas traseras y llantas delanteras con tornillos llantas traseras

11	26	4	8	0	122,0237682	Giro vertical frontal, llantas traseras y llantas delanteras con tornillos llantas delanteras
12	27	12	11	14	151,3042483	Parachoques trasero y delantero con tornillos y techo y tubo
12	28	12	7	15	102,0902266	Parachoques trasero y delantero con tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
13	29	14	10	12	146,2918481	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo y tornillos de los parachoques
13	30	14	13	0	188,998201	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo y tornillo del techo y tubo
13	31	14	7	15	108,0980352	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo y llanta delantera izquierda y trasera izquierda
14	32	15	8	0	133,7150164	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda con tornillos llantas
14	33	15	10	14	156,2902901	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda con torillos de los parachoques
14	34	15	11	14	161,3849529	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda y techo y tubo
15	35	14	9	12	118,3046727	Techo y tubo con tornillos, parachoques delantero y trasero
15	36	14	7	15	108,0980352	Techo y tubo con tornillos y llanta delantera izquierda y trasera izquierda
16	37	12	10	0	140,1815965	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero con tornillos de los parachoques
16	38	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero y tornillos del techo y tubo
16	39	12	7	15	102,0902266	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero y llanta delantera izquierda y trasera izquierda
17	40	15	8	0	133,7150164	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda con los tornillos de las llantas
17	41	15	11	14	161,3849529	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, y tornillos techo y tubo
17	42	15	9	12	122,7919379	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda y parachoques delantero y trasero
18	43	15	9	12	122,7919379	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos y parachoques delantero y trasero
18	44	15	11	14	161,3849529	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos y techo y tubo
19	45	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero con tornillos de los parachoques
19	46	12	8	15	123,6043143	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero y tornillos llantas
19	47	12	11	14	151,3042483	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero y techo y tubo
20	48	14	8	15	130,2647633	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo y tornillos llantas
20	49	14	13	14	188,998201	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo,

						tornillos techo y tubo
20	50	14	9	12	118,3046727	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo y tornillos de los parachoques
21	51	1	6	0	124,3474165	Giro vertical frontal, llantas traseras y delanteras
22	51	1	8	4	127,2708457	Giro vertical frontal llantas traseras y llantas delanteras
23	51	4	6	1	120,9649491	Giro vertical frontal llantas traseras y llantas delanteras
24	51	4	8	0	122,0237682	Giro vertical frontal llantas traseras y llantas delanteras
25	51	1	8	4	127,2708457	Giro vertical frontal llantas traseras y llantas delanteras
26	51	4	6	1	120,9649491	Giro vertical frontal llantas traseras y llantas delanteras
27	52	14	13	0	188,998201	Parachoques trasero y delantero con tornillos, techo y tubo, tornillos techo y tubo
27	53	14	7	15	108,0980352	Parachoques trasero y delantero con tornillos, techo y tubo y llantas delantera izquierda y trasera izquierda
28	54	15	8	15	133,7150164	Parachoques trasero y delantero con tornillos, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, con tornillos llantas
28	55	15	11	14	161,3849529	Parachoques trasero y delantero con tornillos, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo
29	56	12	11	14	151,3042483	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, tornillos de los parachoques y tornillos del techo y tubo
29	57	12	7	15	102,0902266	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, tornillos de los parachoques y llantas delantera izquierda y trasera izquierda
30	58	14	10	0	152,4020997	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
30	59	14	7	15	108,0980352	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, tornillos techo y tubo, llantas delantera izquierda y trasera izquierda
31	60	15	8	0	133,7150164	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas
31	61	15	10	12	150,1800385	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques
31	62	15	13	14	191,6555023	Parachoques trasero y delantero, techo y tubo, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo
32	63	15	10	12	150,1800385	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos de los parachoques
32	64	15	11	14	161,3849529	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda y techo y tubo
33	65	12	11	14	151,3042483	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos de los parachoques, y techo y tubo
33	66	12	8	15	123,6043143	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos de los parachoques y tornillos llantas
34	67	14	8	15	130,2647633	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos llantas

34	68	14	10	12	146,2918481	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos de los parachoques
34	69	14	13	0	188,998201	Parachoques trasero y delantero, llantas delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos del techo y tubo
35	70	12	7	15	102,0902266	Techo y tubo con tornillos, parachoques trasero y delantero y llantas delantera izquierda y trasera izquierda
35	71	12	10	0	140,1815965	Techo y tubo con tornillos, parachoques trasero y delantero y tornillos de los parachoques
36	72	15	8	0	133,7150164	Techo y tubo con tornillos, llantas delantera izquierda y trasera izquierda y tornillos de las llantas
36	73	15	9	12	122,7919379	Techo y tubo con tornillos, llantas delantera izquierda y trasera izquierda y parachoques trasero y delantero
37	74	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
37	75	12	7	15	102,0902266	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
38	76	14	10	12	146,2918481	Techo y tubo, parachoques delantero trasero, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
38	77	14	7	15	108,0980352	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos techo y tubo y llanta delantera izquierda y trasera izquierda
39	78	15	8	0	133,7150164	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas
39	79	15	10	12	150,1800385	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques
39	80	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo.
40	81	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta y tornillos techo y tubo,
40	82	15	9	12	122,7919379	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, parachoques
41	83	14	9	12	118,3046727	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, parachoques
41	84	14	8	15	130,2647633	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
42	85	12	8	15	123,6043143	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos llantas
42	86	12	10	0	140,1815965	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos parachoques
42	87	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos techo y tubo,
43	88	12	11	14	151,3042483	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, parachoques delantero y trasero techo y tubo,

43	89	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, parachoques delantero y trasero y tornillos parachoques
44	90	14	13	0	188,998201	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, techo y tubo y tornillos techo y tubo
44	91	14	9	12	118,3046727	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, techo y tubo y parachoques delantero y trasero
45	92	12	8	15	123,6043143	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, tornillos parachoques, tornillos llantas
45	93	12	11	14	151,3042483	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, tornillos parachoques, techo y tubo
46	94	15	10	12	150,1800385	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, tornillos llantas, tornillos parachoques
46	95	15	11	14	161,3849529	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero, tornillos llanta y techo y tubo,
47	96	14	8	15	130,2647633	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, techo y tubo, tornillos llantas
47	97	14	10	12	146,2918481	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos parachoques
47	98	14	13	14	188,998201	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero , techo y tubo,, tornillos techo y tubo,
48	99	15	13	14	191,6555023	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos llantas, tornillos techo y tubo,
48	100	15	9	12	122,7919379	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos llantas, parachoques
49	101	14	9	12	118,3046727	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, parachoques
49	102	14	8	15	130,2647633	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
50	103	12	8	15	123,6043143	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos llantas
50	104	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques y tornillos parachoques
50	105	12	13	14	181,6736381	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos techo y tubo,
51	106	0	0	0	14	Giro vertical frontal, llantas traseras y delanteras con tornillos delanteros y traseros ensamblados y giro horizontal a la izquierda
52	107	14	7	15	108,0980352	Parachoques trasero y delantero con tornillos, techo y tubo, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
53	108	15	8	0	133,7150164	Parachoques trasero y delantero tornillos, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas
53	109	15	13	14	191,6555023	Parachoques trasero y delantero tornillos, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo,
54	110	15	11	14	161,3849529	Parachoques delantero y trasero con tornillos, llanta

						delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, techo y tubo
55	111	14	8	15	130,2647633	Parachoques delantero y trasero tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo y tornillos llantas
55	112	14	13	0	188,998201	Parachoques delantero y trasero tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo.
56	113	14	7	15	108,0980352	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
57	114	15	8	0	133,7150164	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta
57	115	15	13	14	191,6555023	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo,
58	116	12	7	15	102,0902266	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
59	117	15	8	0	133,7150164	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta
59	118	15	10	12	150,1800385	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques
60	119	15	10	12	150,1800385	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, tornillos parachoques
60	120	15	13	14	191,6555023	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas y tornillos techo y tubo,
61	121	12	8	15	123,6043143	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, tornillos llanta
61	122	12	13	14	181,6736381	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
62	123	14	8	15	130,2647633	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
62	124	14	10	12	146,2918481	Parachoques delantero y trasero, techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
63	125	12	11	14	151,3042483	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, tornillos parachoques,

						techo y tubo,
64	126	14	10	12	146,2918481	Parachoques delantero y trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta, techo y tubo, tornillos parachoques
64	127	14	13	0	188,998201	Parachoques delantero y trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, techo y tubo, tornillos techo y tubo
65	128	14	8	15	130,2647633	Parachoques delantero trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, techo y tubo, tornillos llanta
65	129	14	13	14	188,998201	Parachoques delantero trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, techo y tubo, tornillos techo y tubo,
66	130	15	11	14	161,3849529	Parachoques delantero trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, tornillos llanta, techo y tubo,
67	131	15	10	12	150,1800385	Parachoques delantero trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos llanta trasera izquierda y delantera izquierda y tornillos parachoques
67	132	15	13	14	191,6555023	Parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos llantas, tornillos techo y tubo.
68	133	12	8	15	123,6043143	Parachoques delantero trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos parachoques, tornillos llanta
68	134	12	13	14	181,6736381	Parachoques delantero trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
69	135	14	8	15	130,2647633	Parachoques delantero trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
69	136	14	10	12	146,2918481	Parachoques delantero trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
70	137	15	8	0	133,7150164	Techo y tubo con tornillos, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas
70	138	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo con tornillos, parachoques delantero y trasero llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques
71	139	12	7	15	102,0902266	Techo y tubo con tornillos, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
72	140	15	9	12	122,7919379	Techo y tubo con tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta, parachoques
73	141	12	10	0	140,1815965	Techo y tubo con tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques delantero y trasero, tornillos

						parachoques
73	142	12	8	15	123,6043143	Techo y tubo con tornillos, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques delantero y trasero, tornillos llantas
74	143	14	7	15	108,0980352	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
75	144	15	8	0	133,7150164	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta
75	145	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo,
76	146	12	7	15	102,0902266	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques, llanta delantera izquierda y trasera izquierda
77	147	15	8	15	133,7150164	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta
77	148	15	10	12	150,1800385	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques
78	149	15	10	12	150,1800385	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, tornillos parachoques
78	150	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llantas, tornillos techo y tubo
79	151	12	8	15	123,6043143	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, tornillos llanta
79	152	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
80	153	14	8	15	130,2647633	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
80	154	14	10	12	146,2918481	Techo y tubo, parachoques delantero y trasero, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
81	155	14	9	12	118,3046727	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta, tornillos techo y tubo, parachoques
82	156	12	10	12	140,1815965	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos llanta, parachoques, tornillos parachoques
82	157	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo,, llanta delantera izquierda y trasera izquierda,

						tornillos llanta, parachoques, tornillos techo y tubo
83	158	12	8	15	123,6043143	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, parachoques, tornillos llantas
83	159	12	10	0	140,1815965	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, parachoques, tornillos parachoques
84	160	15	9	12	122,7919379	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, tornillos techo y tubo, tornillos llanta, parachoques
85	161	15	10	12	150,1800385	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos llantas y tornillos parachoques
85	162	15	13	14	191,6555023	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos llantas y tornillos parachoques
86	163	12	8	15	123,6043143	Techo y tubo,, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos parachoques, tornillos llanta
86	164	12	13	14	181,6736381	Techo y tubo,, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
87	165	14	8	15	130,2647633	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
87	166	14	10	12	146,2918481	Techo y tubo, llanta delantera izquierda y trasera izquierda, parachoques, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
88	167	14	10	12	146,2918481	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, parachoques delantero y trasero, techo y tubo y tornillos parachoques
88	168	14	13	0	188,998201	Llanta y trasera izquierda y delantera izquierda tornillos, parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos techo y tubo,
89	169	12	11	14	151,3042483	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda tornillos, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques y techo y tubo
90	170	14	9	12	118,3046727	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, techo y tubo, tornillos techo y tubo y parachoques
91	171	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques
91	172	12	13	14	181,6736381	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos, techo y tubo, parachoques delantero y trasero, tornillos techo y tubo
92	173	15	11	14	161,3849529	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero, tornillos parachoques, tornillos llantas, techo y tubo.
93	174	14	8	15	130,2647633	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, tornillos parachoques, techo y tubo, tornillos llanta
93	175	14	13	0	188,998201	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, tornillos parachoques, techo y tubo, tornillos techo y tubo,

94	176	12	11	14	151,3042483	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero tornillos llanta, tornillos parachoques, techo y tubo,
95	177	14	13	0	188,998201	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero tornillos llanta, techo y tubo, tornillos techo y tubo
95	178	14	10	12	146,2918481	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero y trasero tornillos llanta, techo y tubo, tornillos parachoques
96	179	15	10	12	150,1800385	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, techo y tubo, tornillos llanta trasera izquierda y delantera izquierda, tornillos parachoques
96	180	15	13	14	191,6555023	Llanta y trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero, techo y tubo, tornillos llanta trasera izquierda delantera izquierda, tornillos techo y tubo,
97	181	12	8	15	123,6043143	Llantas trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero , techo y tubo, tornillos parachoques, tornillos llantas
97	182	12	13	14	181,6736381	Llanta y trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero , techo y tubo, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
98	183	14	8	15	130,2647633	Llantas y trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero , techo y tubo,, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
98	184	14	10	12	146,2918481	Llantas y trasera izquierda y delantera izquierda, parachoques delantero trasero , techo y tubo,, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
99	185	14	9	12	118,3046727	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos llantas, tornillos techo y tubo,, parachoques
100	186	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos llanta, parachoques, tornillos parachoques
100	187	12	13	14	181,6736381	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos llanta, parachoques, tornillos techo y tubo
101	188	12	8	15	123,6043143	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo,, tornillos techo y tubo,, parachoques, tornillos llanta
101	189	12	10	0	140,1815965	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, parachoques, tornillos parachoques
102	190	15	9	12	122,7919379	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, tornillos techo y tubo, tornillos llantas, parachoques
103	191	15	10	12	150,1800385	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos llantas, tornillos parachoques
103	192	15	13	14	191,6555023	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos llantas, tornillos techo y tubo,
104	193	12	8	15	123,6043143	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos parachoques, tornillos llanta

104	194	12	13	14	181,6736381	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos parachoques, tornillos techo y tubo,
105	195	14	8	15	130,2647633	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos techo y tubo, tornillos llantas
105	196	14	10	12	146,2918481	Llanta trasera izquierda y delantera izquierda, techo y tubo, parachoques, tornillos techo y tubo, tornillos parachoques
106	197	12	9	12	113,3202541	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero
106	198	12	11	14	151,3042483	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo
107	199	15	8	0	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
108	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
109	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
110	199	14	13	0	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
111	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
112	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
113	199	15	8	0	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
114	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
115	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
116	199	15	8	0	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques

						delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
117	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
118	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
119	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
120	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
121	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
122	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
123	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
124	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
125	199	14	13	0	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
126	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
127	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados

						ensamblados
128	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
129	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
130	199	14	13	14	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
131	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
132	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
133	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
134	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
135	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
136	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
137	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
138	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
139	199	15	8	15	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques

						delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
140	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
141	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
142	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
143	199	15	8	15	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
144	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
145	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
146	199	15	8	15	133,7150164	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
147	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
148	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
149	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
150	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados

						ensamblados
151	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
152	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
153	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
154	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
155	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
156	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
157	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
158	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
159	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
160	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
161	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
162	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques

						delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
163	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
164	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
165	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
166	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
167	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
168	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
169	199	14	13	0	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
170	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
171	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
172	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
173	199	14	13	0	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados

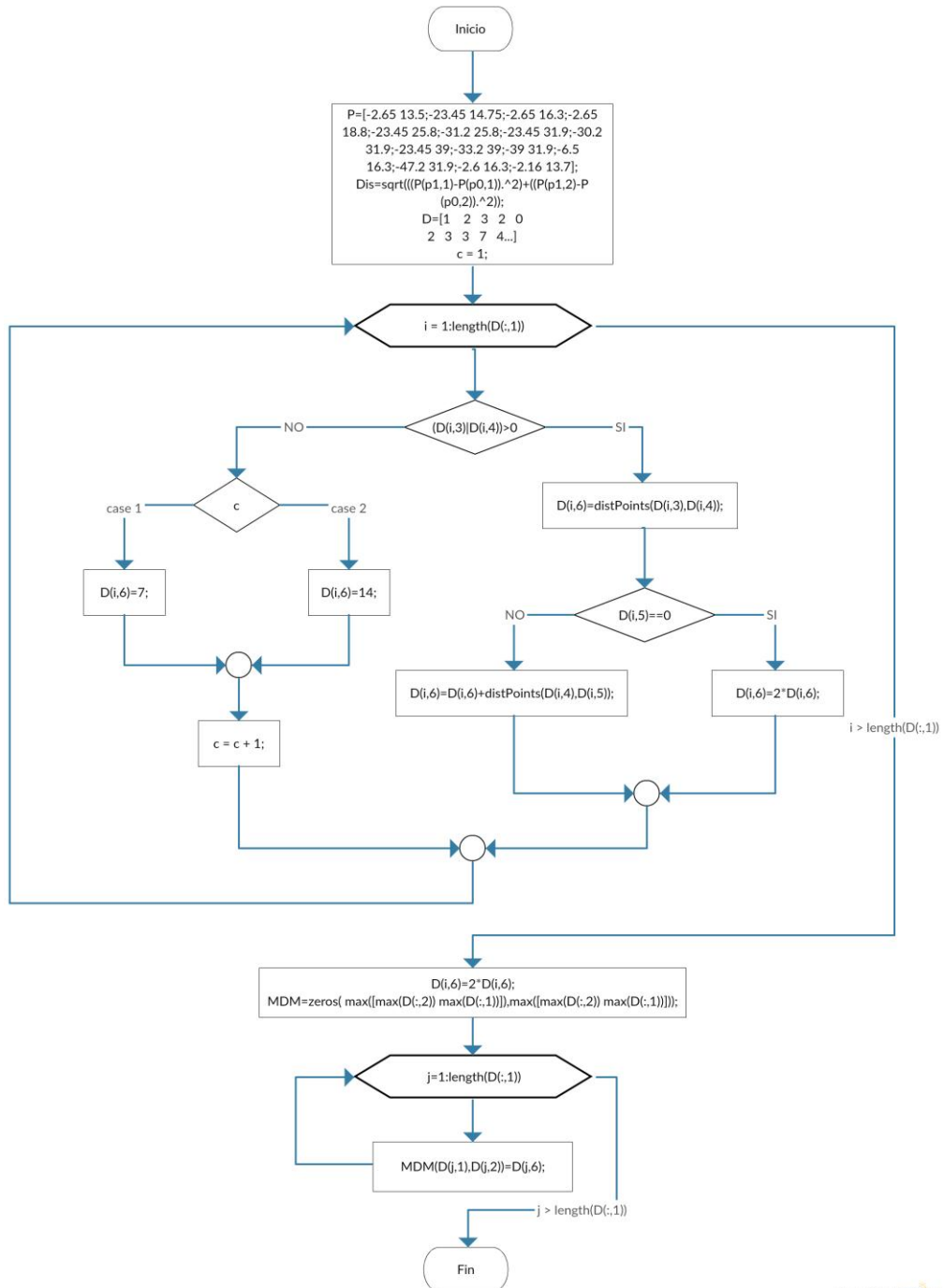
						ensamblados
174	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
175	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
176	199	14	13	0	188,998201	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
177	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
178	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
179	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
180	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
181	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
182	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
183	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
184	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
185	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques

						delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
186	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
187	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
188	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
189	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
190	199	12	10	0	140,1815965	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
191	199	12	13	14	181,6736381	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
192	199	14	10	12	146,2918481	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
193	199	15	13	14	191,6555023	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
194	199	14	8	15	130,2647633	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
195	199	15	10	12	150,1800385	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados
196	199	12	8	15	123,6043143	Chas izquierdo y delantero unidos con parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo con tornillos, llanta trasera izquierda y delantera izquierda con tornillos ensamblados

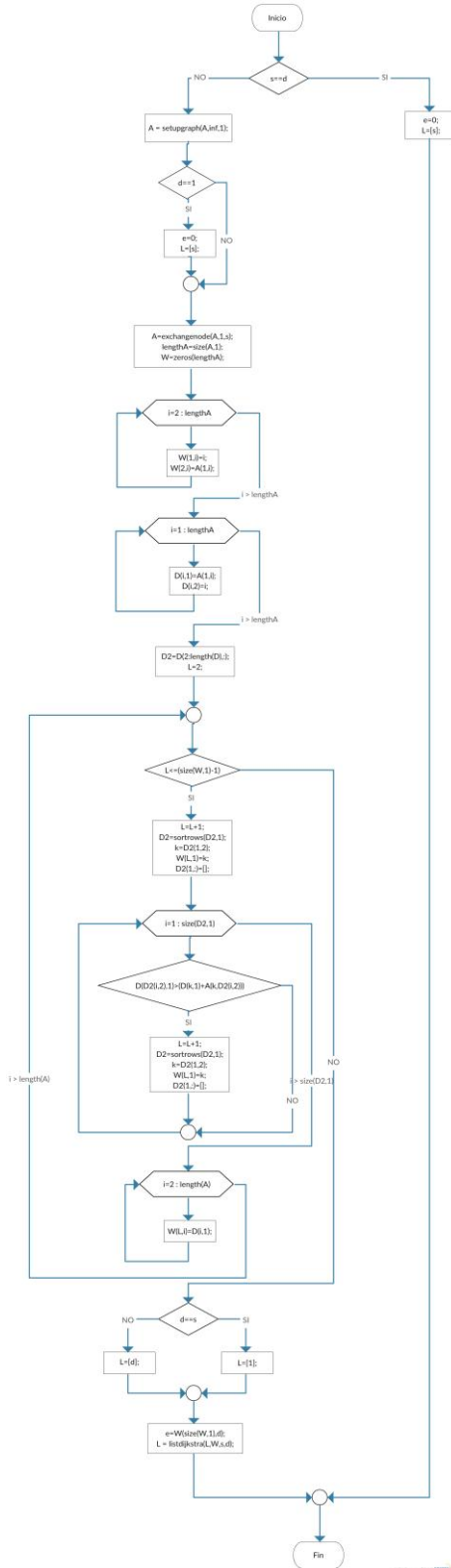
						ensamblados
197	200	12	10	0	140,1815965	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero con tornillos
197	201	12	11	14	151,3042483	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero, techo y tubo,
198	202	14	13	0	188,998201	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo, tornillos techo y tubo
198	203	14	9	12	118,3046727	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo, parachoques
199	204	0	0	0	28	Giro de 180°, posición horizontal derecho
200	205	12	11	14	151,3042483	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero con tornillos, techo y tubo
201	206	14	10	12	146,2918481	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos parachoques
201	207	14	13	0	188,998201	Llantas traseras y delanteras ensambladas, parachoques delantero y trasero, techo y tubo, tornillos techo y tubo
202	208	14	9	12	118,3046727	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo, tornillos techo y tubo, parachoques delantero y trasero
203	209	12	10	0	140,1815965	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo, parachoques delantero trasero tornillos parachoques
203	210	12	13	14	181,6736381	Llantas traseras y delanteras ensambladas, tubo techo, parachoques delantero trasero, tornillos techo y tubo
204	211	12	5	15	87,83790869	Llanta delantera derecha y trasera derecha ensambladas
205	212	14	13	0	188,998201	Tren con todas las partes ensambladas
206	212	12	13	14	181,6736381	Tren con todas las partes ensambladas
207	212	14	10	12	146,2918481	Tren con todas las partes ensambladas
208	212	12	10	0	140,1815965	Tren con todas las partes ensambladas
209	212	12	13	14	181,6736381	Tren con todas las partes ensambladas
210	212	14	10	12	146,2918481	Tren con todas las partes ensambladas
211	212	15	6	0	125,84	Tren con todas las partes ensambladas

Fuente: Elaboración propia

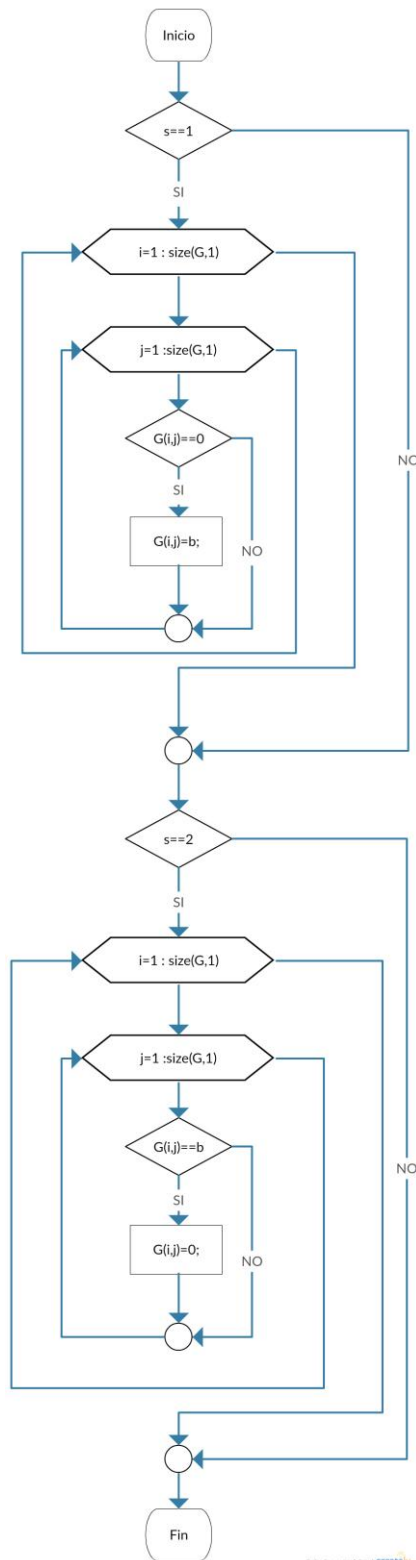
5.2 Anexo 2: Diagramas de flujo - códigos en Matlab



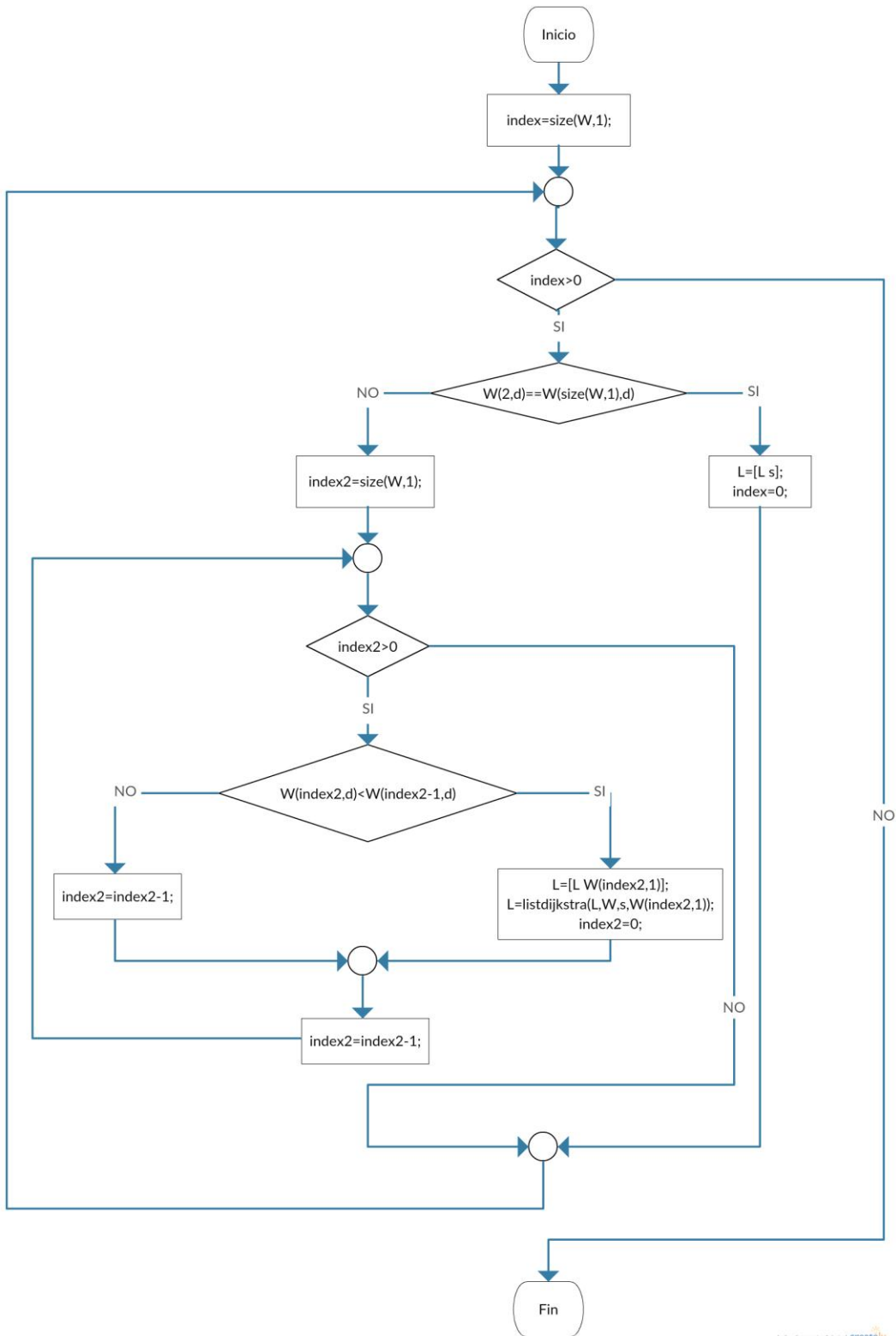
Fuente: Elaboración propia



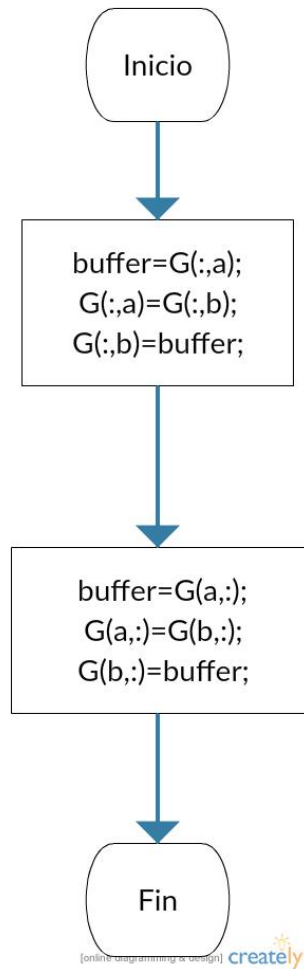
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

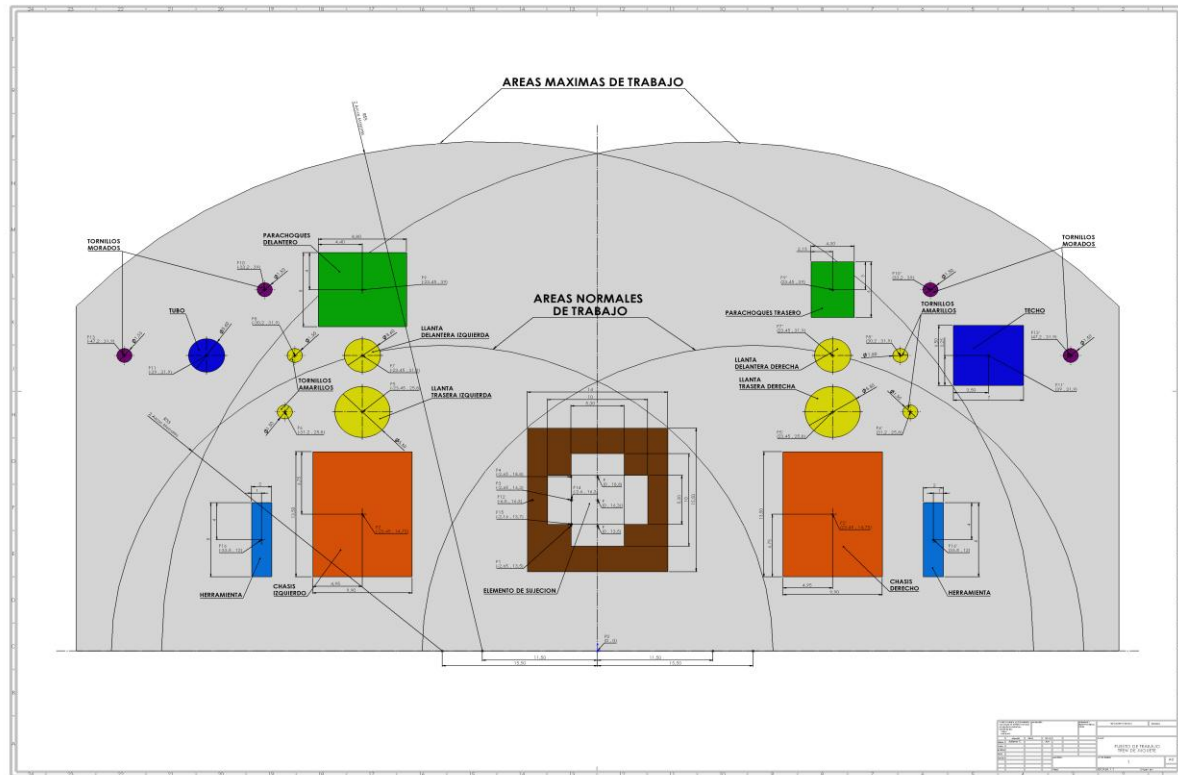


Fuente: Elaboración propia



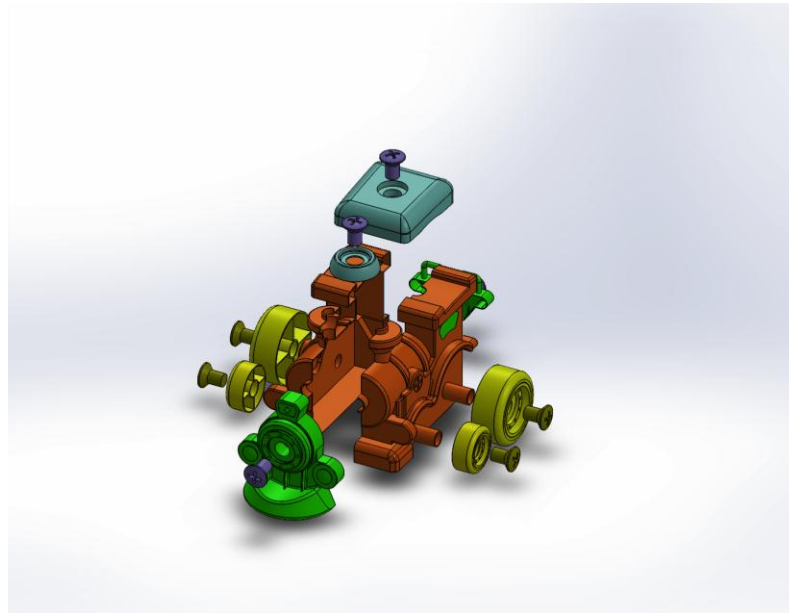
Fuente: Elaboración propia

5.3 Anexo 3: Plano de diseño del puesto de trabajo ensamble tren de juguete

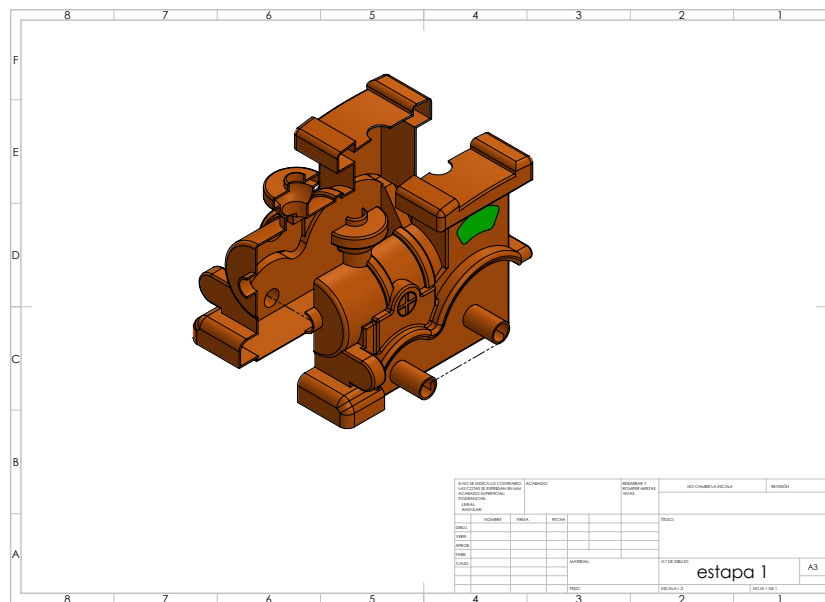


Fuente: Elaboración propia

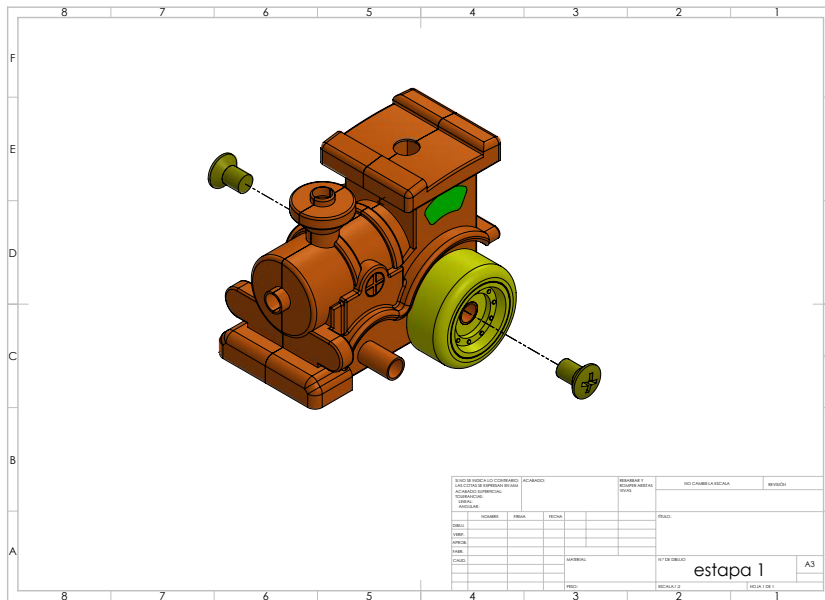
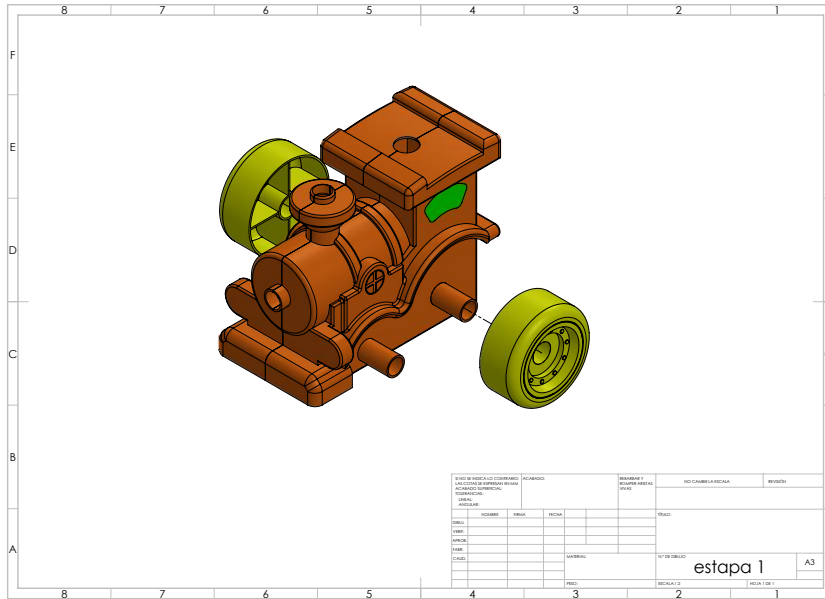
5.4 Anexo 4: Plano tren de juguete



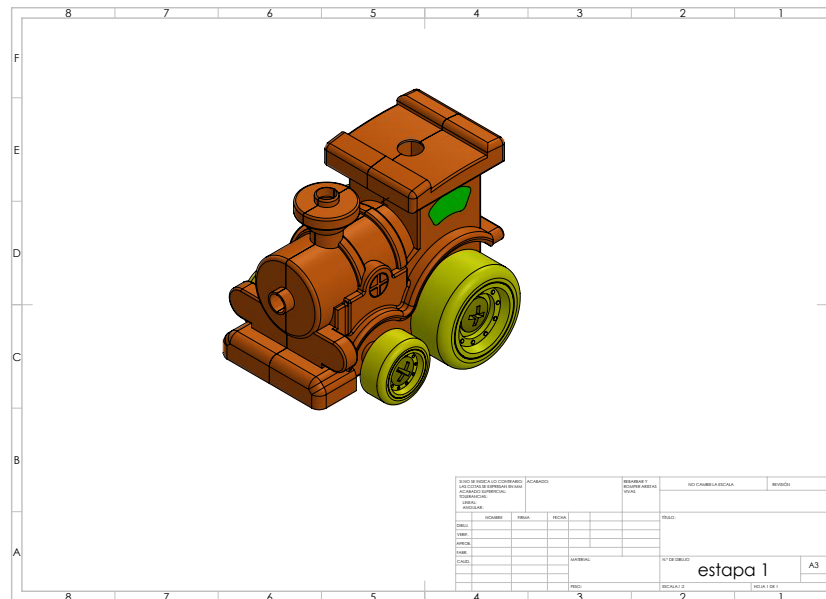
Fuente: Elaboración propia



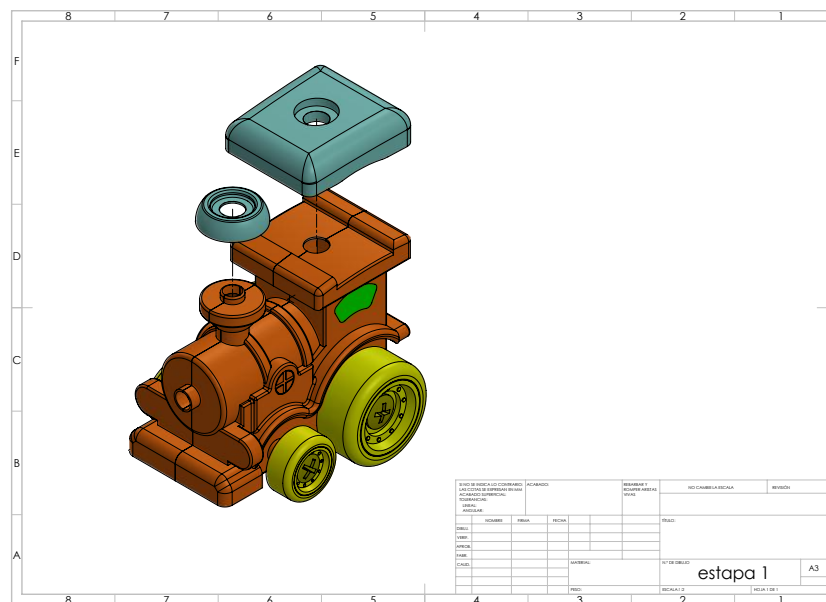
Fuente: Elaboración propia



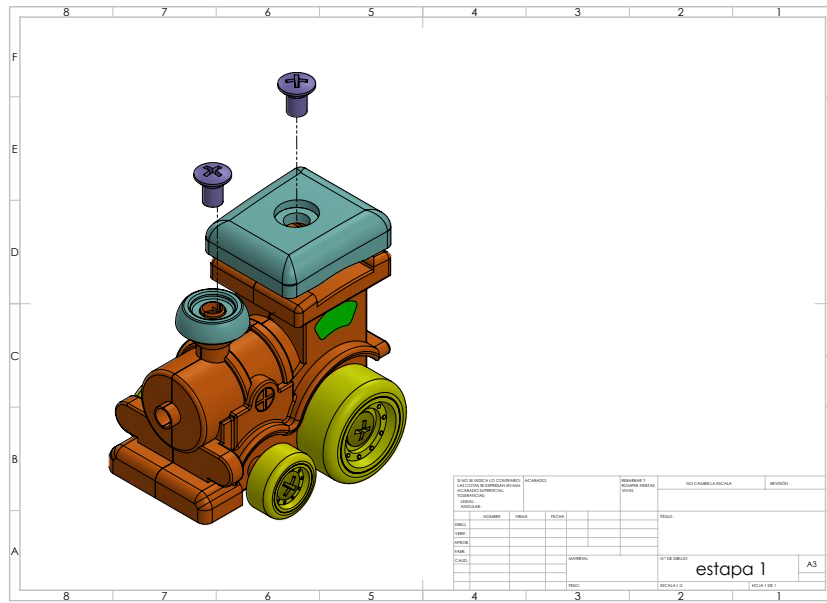
Fuente: Elaboración propia



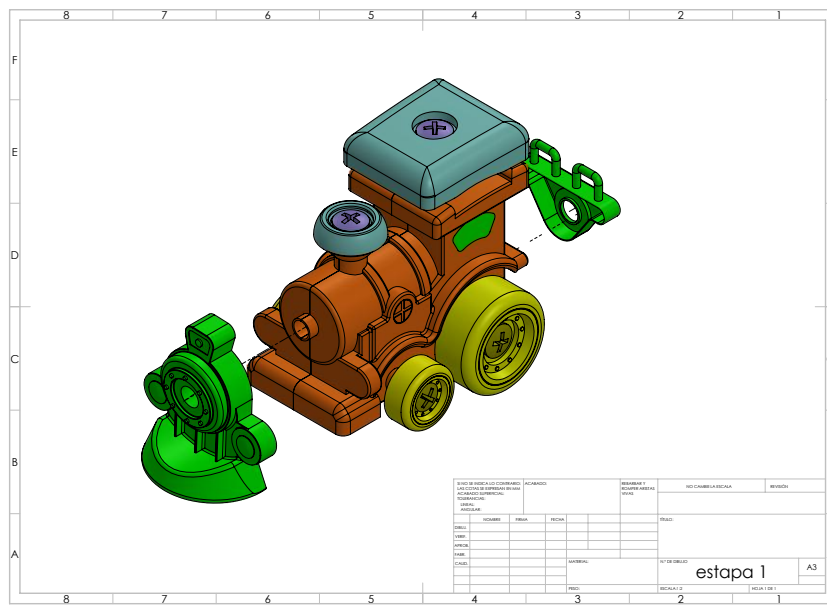
Fuente: Elaboración propia



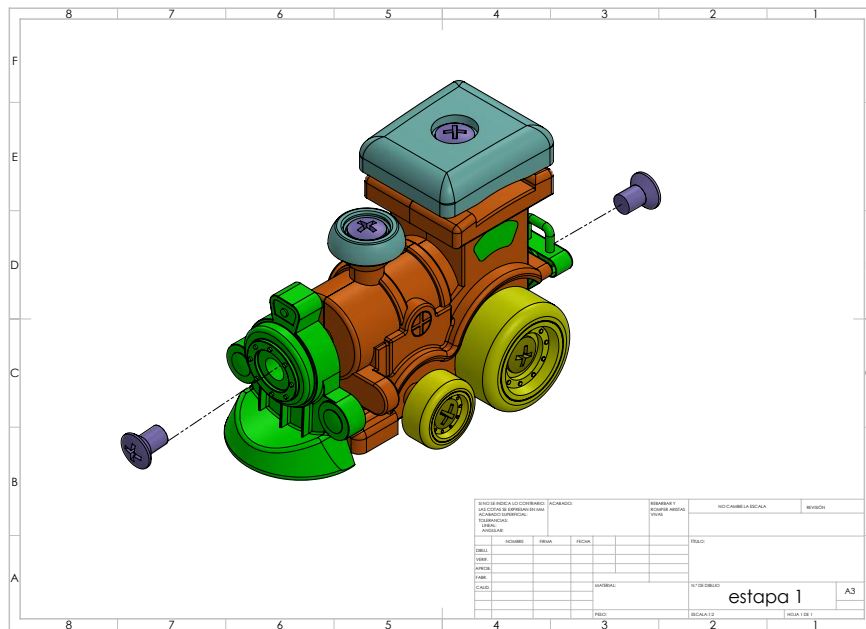
Fuente: Elaboración propia



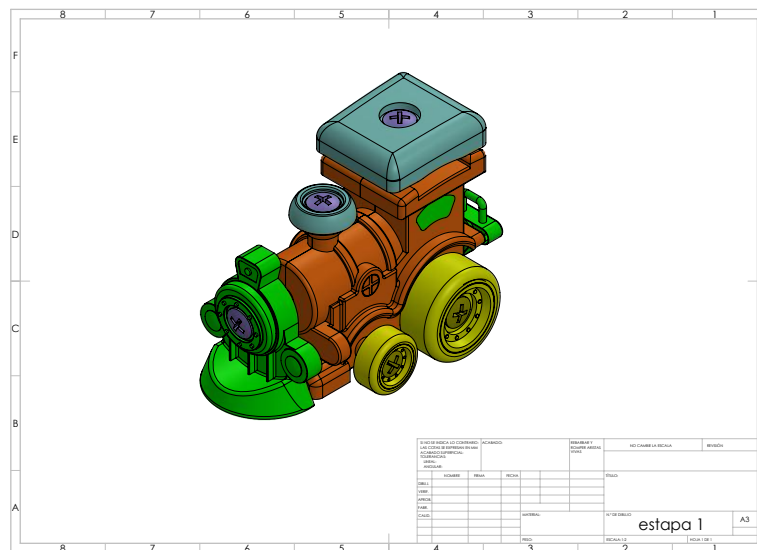
Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

6. Trabajos citados

- Aft, L. S. (2000). *Work measurement and methods improvement*. New York: Wiley.
- Alnouri, S. Y., Linke, P., & El-Halwagi, M. M. (2014). Synthesis and Design of Interplant Water Networks using Direct Recycling Techniques within Industrial Cities. *Computer Aided Chemical Engineering* .
- ANDI. (2015). *Colombia : Balance 2014 y perspectivas 2015*.
- Association, G. M. (1995). *MTM-UAS Instructor Manual*.
- Barnes, R. (1963). *Motion and Time study: desing and measurement of work*. USA: John Wiley & sons.
- Bayoumi, A. (2000). Design for manufacture and assembly (DFMA): concepts, benefits and applications current advances in mechanical design and production. *7th Cairo University International MDP Congerence*.
- Baraldi, E. C., & Paulo C., K. (2011). Ergonomic planned supply in an automotive assembly line. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* , 21 (1), 104-119.
- Barbosa, G. F., & Carvalho, J. (2013). Design for manufacturing and assembly methodology applied to aircrafts design and manufacturing. *IFAC Proceedings Volumes* , 116-121.
- Bermúdez Colina, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias* , 85-104.
- Castillo, E., Conejo, A., Pedregal, P., García, R., & Alguacil, N. (2002). *Formulación y Resolución de Modelos De Programación Matemática En Ingeniería y Ciencia*.
- Cakmakci, M., & Karasu, M. K. (2007). Set-up time reduction process and integrated predetermined time system MTM-UAS: A study of application in a large size company of automobile industry. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 33.
- Caimán, J. E. (2014). Ruta más corta : soluciones algorítmicas para movilidad eficiente en la malla vial de Cundinamarca. *Épsilon*, 23(2014), , 63–84.
- Criollo, R. G. (2005). *Estudio del Trabajo Ingeniería de Métodos y Medición del Trabajo* (Segunda ed.). Mexico: McGraw Hill.
- Coto, E. (2003). *Algoritmos Básicos de Grafos*. Venezuela. Caracas.

- Currie, R. M. (1979). *Análisis y medición del trabajo*. Mexico: Diana S.A.
- Chihuailaf, R., Mauro, C., Blanco, G., Ledesma, A., & Rigau, G. (2012). Optimización del algoritmo WSD SSI-Dijkstra.
- Das, B., & Sengupta, A. K. (1996). Industrial workstation design: a systematic ergonomics approach. *Applied Ergonomics* , 27 (3), 157-163.
- Da Silva, C. E., Salgado, E. G., Mello, C. H., da Silva Oliveira, E., & Leal, F. (2014). Integration of computer simulation in design for manufacturing and assembly. *International Journal of Production Research* , 52, 2851-2866.
- Devlin, G. J. (2008). Timber haulage routing in Ireland: an analysis using GIS and GPS. . *Journal of Transport Geography* , 63-72.
- Fisher, M. (1997). What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review* , 105-116.
- Fraustro, R. J. (2003). *Implementacion de algoritmos para la implementacion de trayectorias para brazos manipuladores*. Instituto Politecnico Nacional.
- Greig, M. A., & Neumann, W. P. (2015). Testing of a workstation efficiency evaluator tool. *International Journal of Industrial Ergonomics* , 48, 60-69.
- Greig, M., Village, J., & Neumann, W. (2013). Predicting work load and efficiency during light assembly workstation design. *Ponencia* . San Juan.
- García Cardona, A., Gonzales Castaño, A., & Henriques, V. (2001). *Aproximacion A Una Metodología Para La Evaluacion de puestos de trabajo*.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). México: McGraw Hill.
- Hiller, F. S., Lieberman, G. J., & González Osuna, M. (2002). . *Investigación de operaciones*. Ciudad de México: McGraw-Hill.
- Jadhav, J. R., Mantha, S. S., & Rane, S. B. (2014). Development of framework for sustainable Lean implementation: an ISM approach. *Journal of Industrial Engineering International* .
- Krick, E. V. (1973). *INGENIERÍA DE METODOS*. Mexico.
- Kanawaty, G. (1996). *Introducción al Estudio del Trabajo* (Cuarta ed.). Ginebra, Suiza: Oficina Internacional del Trabajo.
- Krishnakumar, K. (2003). Intelligent systems for aerospace engineering - An overview. . *NASA Technical Report Document* .

Kellegöz, T., & Toklu, B. (2015). A priority rule-based constructive heuristic and an improvement method for balancing assembly lines with parallel multi-manned workstations. *International Journal of Production Research* , 53 (3), 736-756.

Kuby, M., Araz, O. M., Palmer, M., & Capar, I. (2014). An efficient online mapping tool for finding the shortest feasible path for alternative-fuel vehicles. *International Journal of Hydrogen Energy* , 18433–18439.

Leal, R. O., & López, C. A. (2011). Metodología para la planeación logística de vías forestales para la cosecha de plantaciones de Eucalyptus globulus Labill utilizando herramientas de optimización. *Colombia forestal* , 51-62.

Llerena, E., Salas Montero, R., & Vargas Moncayo, L. (2009). *Organización del sistema de suministro y distribución de una empresa de Catering*. Escuela Superior Politécnica Del Litoral.

Monks, J. G. (1999). *Administración de Operaciones*. Mexico: McGraw Hill.

MathWorks. (2004). www.mathworks.com. Recuperado el 2016, de http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/5550-dijkstra-shortest-path-routing?s_tid=srchtitle

Modelo, P., Gregori, E., Blasco, J., & Barrau, P. (2001). *Ergonomía 3. Diseño de puestos de trabajo*. Mexico9 DF: alfaomega.

Meyers, F. E. (2000). *Estudio de tiempos y movimientos para la manufactura agil*. Mexico: Pearson Education.

Ngai, E. W., Peng, S., Alexander, P., & Moon, K. K. (2014). Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: an academic review of research articles. *Expert Systems with Applications* , 81–91.

Niebel, B., & Freivalds, A. (2001). *Ingeniería Industrial*. Mexico Df: Alfaomega Grupo Editor.

Niebel, B., & Freivals, A. (2004). *Ingeniería Industrial. Métodos Estándares y Diseño del Trabajo* (11 ed.). Alfaomega.

Ovalle, A. M., & Cardenas, D. (2016). ¿QUE HA PASADO CON LA APLICACIÓN DEL ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS EN LAS ÚLTIMAS DECADAS?: REVISIÓN DE LITERATURA. *Revista de Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. Vol 1 (2).

Puente, R. R. (2010). Aplicación de las gramáticas de grafo en Sistemas de Información Geográfica. *RCCI* , 59-64.

- Pedraza, L., López, D., & Salcedo, O. (2011). Enrutamiento basado en el algoritmo de Dijkstra para una red de radio cognitiva. *Tecnura* , 94-10.
- Radjiyev, A., Qiu, H., Xiong, S., & Nam, K. (2014). Ergonomics and sustainable development in the past two decades (1992-2011): Research trends and how ergonomics can contribute to sustainable development. *Applied Ergonomics* , 46, 67–75.
- Suárez Moreno, O. (2009). Producción sustentable. El compromiso verde de la ingeniería industrial. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias* , 86-94.
- Salas, A. H. (2008). Acerca del Algoritmo de Dijkstra. *Universidad Nacional de Colombia* , 1-9.
- Shin, K., Shin, Y., Kwon, J.-H., & Kang, S.-H. (2012). Development of risk based dynamic backorder replenishment planning framework using Bayesian Belief Network. *Computers & Industrial Engineering* , 716-725.
- Tinoco, H. A., Ovalle, A. M., Vargas, C. A., & Cardona, M. J. (2015). An automated time and hand motion analysis based on planar motion capture extended to a virtual environment. *Journal of Industrial Engineering International* . 11: 391-402
- Torrubia, G. S., & Terrazas, V. M. (1995). Algoritmo de Dijkstra: un tutorial interactivo. *Manual* . Universidad Pontificia de Madrid.
- Veloz, L. V., Escárcega, J. C., & Borja, A. M. (2009). *Sistema de evaluación ergonómica , para estaciones de trabajo con ensamble manual en los procesos de producción en la industria maquiladora del Noreste del Estado de Sonora*. Hermosillo.
- Wikipedia. (30 de 05 de 2015). *Diseño para el ensamble*. Obtenido de Wikipedia La enciclopedia libre: http://es.wikipedia.org/wiki/Diseño_para_ensamble
- Wong, W. K., Chan, C. K., Kwong, C. K., Mok, P. Y., & & I. (2005). Optimization of manual fabric-cutting process in apparel manufacture using genetic algorithms. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* , 152–158.
- Yu, G., & Yang, J. (1998). On the Robust Shortest Path Problem. *Computers & Operations Research* , 457-468.