

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL

CENTRO DE POSGRADO

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

Tema: Modelo Estadístico para la Planificación de la Producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado académico de Magister en Matemática Aplicada

Modalidad de titulación Proyecto de Desarrollo

Autor: Ing. José Luis Gavidia García

Director: Dr. Manuel Antonio Meneses Freire Ph.D.

Ambato – Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistema, Electrónica e Industrial. El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por la Ingeniera, Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg, e integrado por los señores Doctor, Saba Rafael Infante Quirpa, PhD, Ing. Edith Elena Tubon Núñez, Mg, miembros del tribunal de defensa, designados por la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistema, Electrónica e Industrial de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Modelo Estadístico para la Planificación de la Producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing”, elaborado y presentado por el Ingeniero José Luis Gavidia García, para optar por el Grado Académico de Magister en Matemática Aplicada; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato.



Firmado electrónicamente por:
**ELSA PILAR
URRUTIA**

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia, Mg.
Presidenta y Miembro del Tribunal de defensa

SABA RAFAEL
INFANTE QUIRPA

Firmado digitalmente por SABA
RAFAEL INFANTE QUIRPA
Fecha: 2021.04.14 08:28:48 -05'00'

Dr. Saba Rafael Infante Quirpa, PhD.
Miembro del Tribunal de defensa



Firmado electrónicamente por:
**EDITH ELENA
TUBON NUNEZ**

Ing. Edith Elena Tubón Núñez, Mg.
Miembro del Tribunal de defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el trabajo de titulación con el tema: “MODELO ESTADÍSTICO PARA LA PLANIFICACIÓN DE LA PRODUCCIÓN EN UNA ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS, MEDIANTE LA METODOLOGÍA LEAN MANUFACTURING”, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero José Luis Gavidia García, Autor bajo la Dirección del Doctor. Manuel Antonio Meneses Freire PhD. Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

**JOSE LUIS
GAVIDIA
GARCIA**

Firmado digitalmente por
JOSE LUIS GAVIDIA
GARCIA
Fecha: 2021.02.28
10:32:08 -05'00'

Ing. José Luis Gavidia García.

AUTOR

**MANUEL ANTONIO
MENESES FREIRE**

Firmado digitalmente por
MANUEL ANTONIO MENESES
FREIRE
Fecha: 2021.02.28 11:56:06 -05'00'

Dr. Manuel Antonio Meneses Freire PhD.

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

**JOSE LUIS
GAVIDIA GARCIA**

Firmado digitalmente por
JOSE LUIS GAVIDIA GARCIA
Fecha: 2021.04.13 14:16:15
-05'00'

Ing. José Luis Gavidia García.

C.C.: 1203560386

ÍNDICE GENERAL

Contenido	Pág.
APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
AGRADECIMIENTO	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO	xiv
EXECUTIVE SUMMARY	xvi
CAPÍTULO I.....	1
1. EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
2. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
2.1. Antecedentes	4
2.2. Estado del Arte.....	6
2.2.1. Modelo estadístico	6
2.2.2. Planeación de la producción	9
2.2.3. Metodología Lean Manufacturing	15
CAPÍTULO III.....	19
3. MARCO METODOLÓGICO	19
3.1. Ubicación	19
3.1.1. Datos de la empresa	19
3.1.2. Localización de la empresa	19
3.2. Equipos y materiales.....	20
3.3. Tipo de investigación	20
3.4. Prueba de Hipótesis	21

3.4.1.	Hipótesis de investigación o partida.....	21
3.4.1.1.	P- Valor.....	21
3.4.2.	Señalamiento de variables	22
3.4.3.	Unidad de observación	22
3.5.	Población o muestra	22
3.5.1.	Población	22
3.5.2.	Muestra.....	23
3.6.	Recolección de información.....	23
3.6.1.	Métodos	23
3.6.2.	Técnicas	24
3.6.3.	Instrumentos	24
3.7.	Procesamiento de la información y análisis estadístico	25
3.7.1.	Plan de procesamiento de información.....	25
3.7.2.	Plan para el análisis estadístico descriptivo de información	26
3.8.	Variables de respuesta o resultados alcanzados	27
CAPÍTULO IV		28
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
4.1.	Análisis de los resultados.....	28
4.2.	Diagnóstico de los procesos actuales del área de ensamble de vehículos	30
4.2.1.	Análisis descriptivo de cada componente evaluado.....	35
4.2.2.	Análisis inferencial	37
4.3.	Análisis del método de planeación de la producción utilizado.....	44
4.3.1.	Análisis de la planificación vs la producción real.....	46
4.4.	Modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing.	49
4.4.1.	Área de Estudio.....	49
4.4.2.	Producto Ensamblado	51
4.4.3.	Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4.....	51
4.4.4.	Determinación de tiempos de las actividades que se ejecutan en cada estación de trabajo	53
4.4.5.	Balance de las líneas de producción en el área de ensamble del Modelo M4...54	54
4.4.6.	Modelo Estadístico de Programación Lineal	57
4.4.7.	Plan agregado en ensamble.....	59
4.4.8.	Resolución con el método de programación lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4	61
4.4.9.	Resultados con el Método de Programación Lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4	63

4.4.10.	Resumen de los Resultados para el proceso de ensamble del Modelo M4.....	65
4.5.	Modelo de Regresión Lineal Simple.....	66
4.5.1.	Determinación del Modelo Estadístico en R	67
CAPÍTULO V.....		75
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
5.1.	Conclusiones	75
5.2.	Recomendaciones	75
BIBLIOGRAFÍA.....		77
ANEXOS.....		81

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Estrategias de planificación de producción	12
Tabla 2-2: Siete herramientas básicas del control operacional	14
Tabla 3-2: Las cinco palabras japonesas cuyos caracteres comienzan “S”	17
Tabla 4-2: Los principales beneficios de las 5’s	18
Tabla 1-3: Datos de la empresa	20
Tabla 2-3: Población del proceso de ensamblaje de vehículos Ciauto Cía. Ltda.	23
Tabla 3-3: Plan para la recolección de información	26
Tabla 4-3: Plan de procesamiento de la información.....	27
Tabla 5-3: Matriz de consistencia de las variables	28
Tabla 1-4: Plan de análisis e interpretación de resultados	29
Tabla 2-4: Checklist de diagnóstico – Lean Manufacturing	32
Tabla 3-4: Matriz de contingencias del diagnóstico situacional	34
Tabla 4-4: Matriz de contingencias del diagnóstico situacional en porcentajes	34
Tabla 5-4: Modelo de diseño de bloques completamente aleatorizados.....	40
Tabla 6-4: Matriz general de contingencias de la evaluación	41
Tabla 7-4: ANOVA de la determinación de Fo calculado	42
Tabla 8-4: Resumen de procesamiento de casos.....	45
Tabla 9-4: Estadísticas de fiabilidad con Alfa de Cronbach.....	45
Tabla 10-4: Matriz de planeación del área de ensamblaje	47
Tabla 11-4: Registro de planificados del año 2020.....	49
Tabla 12-4: Registro de producidos en año 2020	49
Tabla 13-4: Análisis estadístico del proceso de ensamblaje del modelo HAVAL M4	50
Tabla 14-4: Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4.....	55
Tabla 15-4: Matriz resumen del Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4..	56
Tabla 16-4: Jornada Laboral CIAUTO.	56
Tabla 17-4: Datos para la planificación de producción	58
Tabla 15-4: Interpretación de Variables	61
Tabla 19-4: Costos de producción en ensamble	62

Tabla 20-4: Datos de producción al Año 2020 para el proceso de ensamble del modelo M4	63
Tabla 21-4: Número de unidades que realiza un trabajador en el mes en el ensamble del Modelo M4.....	64
Tabla 22-4: Matriz de Costos de Producción para el Modelo M4	69
Tabla 23-4: Respuesta de Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4...	67
Tabla 24-4: Respuestas alternativas de Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4.....	68
Tabla 25-4: Datos de producción proceso de ensamble del Modelo M4.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Relación entre sistemas y modelos	8
Figura 1-3: Localización de la empresa	20
Figura 1-4: Resultados del diagnóstico situacional al área de ensamble-Checklist .	35
Figura 2-4: Aplicación del software estadístico R.....	43
Figura 3-4: Autos planificados para producción.....	48
Figura 4-4: Comparativo del plan de producción	49
Figura 5-4: Diagrama de Pareto HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM	51
Figura 6-4: Layout del área de ensamble - Modelo M4	53
Figura 5-4: Vehículo Great Wall M4, 1.5.....	54
Figura 8-4: Programación en Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4	64
Figura 9-4: Función Objetivo en Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4.....	65
Figura 10-4: Restricción 1 para el proceso de ensamble del Modelo M4	65
Figura 11-4: Restricción 2 para el proceso de ensamble del Modelo M4	66
Figura 12-4: Restricción 3 para el proceso de ensamble del Modelo M4	66
Figura 13-4: Transformar variables en valores enteros proceso de ensamble del Modelo M4.....	66

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la oportunidad de desarrollarme académicamente, por el bien de mi familia.

Por el apoyo y respaldo brindado al Dr. Antonio Meneses Freire PhD. en calidad de tutor de tesis de grado, por guiarme en el desarrollo del mismo sin ninguna reserva.

Al Doctor Ernesto Ponsot Balaguer PhD. Por su guía en el análisis de algunos cálculos estadísticos.

Una deferencia especial al Ing. Juan Carlos Escobar, Director de Manufactura de la empresa Ciauto Cia Ltda. por su ayuda incondicional, quien me abrió las puertas de la empresa para el desarrollo del presente proyecto de investigación.

José Luis Gavidia

DEDICATORIA

Todos mis esfuerzos están dedicados a Dios y a mis seres más queridos, en
especial a mi esposa y a mis hijos.

José Luis Gavidia

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CENTRO DE POSGRADOS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

TEMA

Modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing

AUTOR: Ing. José Luis Gavidia García, MgS.

DIRECTOR: Dr. Manuel Antonio Meneses Freire Ph.D.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN.

- Diseño, materiales y producción

FECHA: 28 de febrero 2021

RESUMEN EJECUTIVO

El presente estudio tuvo como objeto primordial diseñar un modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing, que abarca temas relacionados al cálculo del Takt-Time, enfocadas al análisis de tiempos y movimientos, con el fin de eliminar tiempos muertos, logrando con ello generar un adecuado Balanceo de Líneas productivas que se acoplen a la planificación de producción en el ensamble del vehículo Modelo HAVAL M4 AC 1.5 5P 4X2 producido por la empresa Ciauto Cía. Ltda. Inicialmente se realizó la identificación de los diferentes procesos de ensamble que se ejecutan en las diez estaciones de trabajo, para con ello efectuar la toma de tiempos mediante el empleo del cronómetro, logrando determinar el cuello de botella dentro del proceso de ensamble del Modelo M4, condescendiendo de esta condición gestionar alternativas de solución para una producción de once (11) unidades diarias. En el análisis de la Capacidad Instalada (CI) se obtuvo un valor de doce (12) vehículos/diarios, esto significa que la ensambladora en base a sus recursos, equipamiento e infraestructura está en la capacidad de ensamblar seis (6) vehículos Modelos M4 diariamente, este valor ratifica que además del cumplimiento del plan de producción fijado por el coordinador de ensamble se puede ensamblar cada lote de M4 correspondiente a 30 autos en una semana y un día aproximadamente, satisfaciendo de forma sistemática la demanda del mercado nacional. Los datos del trabajo investigativo resaltan la necesidad de dotar de una herramienta estadística que guie de forma eficiente y sostenible a corto, mediano y largo plazo la planeación de la producción en el área de ensamble de la empresa Ciato Cía. Ltda., con el fin de generar una gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos. En base a los históricos de Producción versus Calidad y mediante una Regresión Lineal Simple, se estableció un modelo estadístico el cual nos indica que para un objetivo de calidad del noventa por ciento (90%) se obtiene una producción de ciento cuarenta y seis (146) unidades aproximadamente.

Descriptor: Balanceo de Líneas, Capacidad, Diagramas de procesos, Ensamble, Empresa, Estadística, Lote, Modelo, Planeación, Producción, Takt Time.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL
CENTRO DE POSGRADOS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

THEME

Statistical model for production planning in a vehicle assembly plant, using the Lean Manufacturing methodology

AUTHOR: Ing. José Luis Gavidia García, MgS.

DIRECTED BY: Dr. Manuel Antonio Meneses Freire Ph.D.

LINE OF RESEARCH.

- Design, materials and production

DATE: 28 de febrero 2021

EXECUTIVE SUMMARY

The main objective of the present study was to design a statistical model for production planning in a vehicle assembly plant, using the Lean Manufacturing methodology, which covers topics related to the calculation of Takt-Time, focused on the analysis of times and movements, with the In order to eliminate downtime, thereby generating an adequate Balance of Productive Lines that are coupled with the production planning in the assembly of the vehicle Model HAVAL M4 AC 1.5 5P 4X2 produced by the company Ciauto Cía. Ltda. Initially, the identification of the different assembly processes that are executed in the ten workstations was carried out, in order to carry out the time taking by using the stopwatch, managing to determine the bottleneck within the assembly process of the Model M4, condescending of this condition, manage alternative solutions for a production of eleven (11) units per day. In the analysis of the Installed Capacity (IC) a value of twelve (12) vehicles / day was obtained, this means that the assembler based on its resources, equipment and infrastructure is capable of assembling six (6) M4 Models vehicles On a daily basis, this value confirms that in addition to compliance with the production plan set by the assembly coordinator, each batch of M4 corresponding to 30 cars can be assembled in approximately one week and one day, systematically satisfying the demand of the national market. The data from the investigative work highlight the need to provide a statistical tool that guides efficiently and sustainably in the short, medium, and long term the planning of production in the assembly area of the company Ciato Cía. Ltda. In order to generate efficient management of resources in a vehicle assembly company. Based on the production versus quality histories and through a Simple Linear Regression, a statistical model was established which indicates that for a quality objective of ninety percent (90%) a production of one hundred and forty-six (146) is obtained units approximately.

Keywords: Balance of Lines, Capacity, Process Diagrams, Assembly, Company, Statistics, Lot, Model, Planning, Production, Takt Time.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

El tema del trabajo de titulación se enfocó en Diseñar un Modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos. La metodología se fundamentó en un enfoque de investigación cualitativo y cuantitativo, con un método inductivo y deductivo, haciendo uso de una investigación bibliográfica y documental.

El proceso de llegar a plantear un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos, se desglosa en cinco (5) capítulos. En el Capítulo I: se redacta una introducción integradora del contenido del trabajo, posteriormente se plantea la justificación, y se plantea los objetivos. El Capítulo II: se sustenta el estado del arte y/o la base científica del trabajo de titulación. El Capítulo III: explica la metodología utilizada, desde el enfoque, método y tipo de investigación, se define la población y muestra de estudio, operacionalización de las variables; hasta los planes de recolección y procesamiento de la información. El Capítulo IV: expone los análisis e interpretación de resultados de los métodos, técnicas e instrumentos utilizados en el levantamiento de la información, para su posterior evaluación e interpretación, para finalmente comprobar la hipótesis. El Capítulo V: muestran concretamente las conclusiones y recomendaciones mismas que determinaron la necesidad de plantear un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos. Con el objeto de establecer un enfoque y un marco de referencia objetivo, riguroso y estructurado para el diagnóstico de una entidad tomada como caso de estudio, así como determinar las líneas de mejora continua hacia las cuales deben orientarse los esfuerzos.

La principal limitación con la que cuenta este trabajo exploratorio es el número de casos muestrales recogidos, que podrían ampliarse a las demás áreas integrantes de la empresa tomada como caso de estudio. Por otro lado, en referencia al modelo, somos

conscientes de la limitación que supone no haber contado, dentro de los procesos en los que se encuentran implicados los equipos multiculturales, con los procesos tanto externos como los relacionados con las tareas. El estudio de estos procesos no ha sido abordado debido a que hubiesen supuesto una desbordante ampliación del trabajo realizado, la cual hubiese provocado la necesidad de ser menos exhaustivos en todos los temas tratados. Sin embargo, consideramos que todos los procesos son de suma importancia y se recomienda el desarrollo de trabajos de investigación encaminados a analizar la repercusión.

1.2. Justificación

Las Empresas ensambladoras de vehículos en el Ecuador, como Aymesa, General Motors, Ciauto, realizan la planeación de la producción en base a la demanda de los Concesionarios, es decir, demanda del mercado local, más el plan de exportación, esta actividad se la realiza en consenso con todas las áreas involucradas de la planta ensambladora, donde no existe un modelo matemático o estadístico que pueda pronosticar la producción planificada en base al objetivo de calidad planteado por la planta, he ahí su importancia. Este impacto según Ortega & Vaca (2018); Pucha *et al.*, (2019); Lau *et al.*, (2020) ha tenido consecuencias de inestabilidad empresarial al verse afectadas sus economías por el descenso en las ventas ya que un sin número de empresas se han quedado en el pasado y no se globalizan siguen gestionando su producción de forma ineficaz y empírica, sin aplicar efectivos modelos de planeación de la producción, falencia que no consiente a dichas organizaciones tener una idea clara y correcta de que personal idóneo se necesita en la empresa para la ejecución de sus procesos productivos sean estos de bienes o servicios, todo esto trasciende a que se obtenga, sobrepeso de los costos de producción, perdiendo demanda, y posicionamiento en el mercado.

En atención a lo anterior, se puede señalarse que un adecuado modelo estadístico para planeación de la producción tiene como objetivo fundamental proporcionar mediante una forma simplificada, matemáticamente formalizada, de aproximarse a la realidad sobre las cantidades de materia prima, maquinaria y mano de obra de forma anticipada, en base a la capacidad de producción y las ventas proyectadas en un determinado periodo de tiempo. La mayoría de las entidades en el Ecuador pertenecientes al sector automotriz buscan brindar un buen servicio y por ende exista fidelidad por parte de sus

clientes, llegando incluso a crear confianza, seguridad y satisfacción de sus clientes; y este va más allá de un buen servicio, sin desperdiciar la oportunidad de crecimiento en el número de asociados y clientes que serán una base primordial para el crecimiento económico de las empresas.

La investigación será útil puesto que con la información recopilada se pretende proponer la utilización de un modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, acorde a los requerimientos necesarios del sector para conseguir la satisfacción del cliente y al mismo tiempo convertirse en una herramienta de trabajo cuya aplicación servirá para ser más productivos y competitivos en el mercado en la búsqueda de la satisfacción del cliente, beneficiando a los accionistas y personal de las diferentes áreas de cada organización.

La investigación permitirá tomar decisiones acertadas de manera técnica y bien documentada e integrada a los procedimientos técnicos y gerenciales basados en la metodología Lean Manufacturing, creando una sinergia entre las acciones de su fuerza de trabajo, equipos y la información de la organización de manera práctica y coordinada, asegurando la satisfacción del cliente y los bajos costos para la calidad.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Diseñar un modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diagnosticar los procesos actuales del área de ensamble de vehículos, a través de entrevistas y toma de datos, para establecer la causa raíz del problema.
- Analizar el método de planeación de la producción utilizado, mediante el contraste con el pronóstico de ventas y el histórico de producción de los periodos anteriores.
- Plantear un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1. Antecedentes

Revisando la bibliografía, no se registra estudios sobre modelos estadísticos o matemáticos aplicados en el área de planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, sin embargo, se registran en otras áreas como en el sector textil (cuero) especialmente, forestal y alimenticio.

Ortiz (2017) en su investigación realizada con el objetivo de elaborar un modelo matemático que se ajuste a la planificación de la producción del sector cuero en la parroquia de Quisapincha del cantón Ambato. Concluye que: la investigación se inició debido a que se evidenció una inadecuada planificación de producción, posteriormente se recopiló información con respecto a las variables de estudio con el uso de artículos científicos y libros de las variables de planificación de la producción y modelos matemáticos; con sus respectivas categorías fundamentales. Además, con el fin de recopilar información con respecto al sector se utilizaron encuestas realizadas a los clientes actuales y potenciales. Posteriormente se elaboró un análisis de correlación y regresión múltiple. Por medio del análisis Anova se pudo identificar las variables que mayor correlación tenían entre sí: i) control, ii) planificación, iii) pronóstico y iv) proceso de producción; obteniendo un alfa de Cronbach de 0,770; lo que ayudó a concluir que la confiabilidad del instrumento usado es buena, con tendencia a excelente. Finalmente se estableció la propuesta de dotar al sector con un modelo matemático usando la herramienta estadística Solver de Excel para identificar los recursos necesarios por semanas y la cantidad óptima a producir con el fin de maximizar las ganancias.

Vargas, Muratalla, & Jiménez, (2018) en la investigación que tuvo como objetivo analizar el impacto en la mejora continua y la optimización de un sistema de producción mediante la implementación de las herramientas Lean Manufacturing, así como los cambios que se generan en distintas compañías mediante un instrumento; concluye que: esto se logra usando diferentes métodos y técnicas de investigación, como lo es la revisión documental de diferente literatura, el análisis documental y la recolección de datos. Dentro de los resultados se obtienen tablas y figuras que

muestran la eficiencia de esta herramienta, lo cual comprueba su validez mediante casos de éxito donde se implementó, además información relevante que podría ser utilizada como base en las empresas que no hayan optado por su aplicación. Adicionalmente, exponen que dentro de las aportaciones que se obtienen de la realización de este proyecto de investigación es identificar fácilmente las razones, ventajas y aplicaciones de Lean Manufacturing en las diferentes empresas, para poder tomar la decisión de establecer esta técnica. También se consideran algunas limitantes como lo es el tiempo que se requiere para obtener resultados, ya que como mínimo se necesitan cerca de dos años.

Campoverde *et al.*, (2019) en su trabajo que estudió la cadena de suministro tomando como referencia el sector productivo de neumáticos en Ecuador, mediante la utilización de un modelo de Programación Lineal Entera Mixta. Concluyeron que: para el diseño de un modelo estadístico para la cadena de suministro; fue trascendental la determinación de la cantidad de materias primas que deben ser entregadas, así como que proveedores deben suministrar a la planta, basados en la demanda de cada producto. Adicionalmente se debió tomar en cuenta que para el diseño de un modelo se deberá plantear diferentes escenarios; en un escenario optimista se sugiere la ampliación de las zonas de consumo debido a que varios centros de distribución convergen en algunos sectores, el modelo conservador indica que los centros de distribución son óptimos, mientras que el escenario pesimista requiere la instalación de más centros de distribución. Por otra parte, se realiza el diseño de la red, en donde se puede observar la aplicación del enfoque de Distribuidor Único, ya que cada centro de distribución cubre determinadas zonas, de esta manera se consigue cubrir la demanda de la empresa en todas las zonas de consumo, evitando duplicidad de esfuerzos y recursos. El resultado final del estudio puede ser descrito como el desarrollo de un modelo matemático que permite identificar la mejor composición de la red logística, analizando diferentes escenarios.

Quezada *et al.*, (2020) en la investigación que tuvo como objetivo, encontrar la asignación de lotes para su procesamiento en las líneas de producción, que optimicen el tiempo total de procesamiento, así como el tiempo total de demora. Concluyeron que: para lograr el objetivo se evalúan soluciones en un simulador estadístico del sistema productivo; la optimización de las funciones objetivo le corresponde al algoritmo PSO (Particle Swarm Optimization). La optimización se realiza primero

para cada función objetivo y después para ambas considerando pesos ponderados. Los resultados muestran correlación en los valores de las funciones objetivo, sin embargo, la solución del óptimo de la función objetivo 1 no lo es para la función objetivo 2 y viceversa. Una limitante en el proceso de optimización es la aleatoriedad que existe en el sistema de producción, lo que implica tener valores diferentes para una misma solución. No obstante, el proceso de optimización mantiene la solución óptima.

Como se puede observar en los resultados expuestos en el punto anterior, las empresas que han puesto en práctica como filosofía de trabajo las herramientas Lean Manufacturing han logrado reducciones significativas en los costos de producción, los inventarios, costos de compra, costos de calidad y *lead time*. El incremento de su productividad, flexibilidad, mejoran la calidad, hacen más eficiente al personal y logran un mejor uso de maquinarias y del espacio.

Dentro de los principales problemas que se pueden identificar que llevan al éxito o fracaso de toda empresa u organización son la forma de administración, el manejo de los recursos y la toma de decisiones que efectúan los directivos, especialmente en los tiempos de crisis que actualmente vive la economía mundial generadas por el COVID 19 y las malas gestiones de los gobiernos, además de la pérdida de los consumidores por falta de confianza en los producto o servicios que se prestan, y a su vez la insatisfacción de los clientes que son la razón de ser de la compañía.

2.2. Estado del Arte

2.2.1. Modelo estadístico

Un modelo es una representación formal de un sistema real, con el que se pretende aumentar su comprensión, hacer predicciones y ayudar a su control. Los modelos pueden ser físicos (descritos por variables medibles), análogos (diagrama de flujo) y simbólicos (matemáticos, lingüísticos, esquemáticos). Los modelos matemáticos o cuantitativos son descritos por un conjunto de símbolos y relaciones lógico-matemáticas (Aguado, 2015; Benavides, 2016; Ruiz-Gálvez, 2018). Para la construcción de un buen modelo es necesario contar con leyes (por ejemplo, físicas) que describan el comportamiento del sistema. También es importante la experiencia, la intuición, la imaginación, la simplicidad y la habilidad para seleccionar el subconjunto más pequeño de variables. El primer paso es establecer el problema en forma clara y lógica delimitando sus fronteras; luego viene la recogida y depuración

de datos; el diseño del experimento; las pruebas de contrastes; la verificación del modelo y la validación de las hipótesis. Por ejemplo, un análisis de sensibilidad determinará el grado de influencia en la solución del modelo debido a variaciones en los parámetros (robustez de un modelo). Un modelo debe ser una buena aproximación al sistema real, debe incorporar los aspectos importantes del sistema y debe resultar fácil de comprender y manejar (Campoverde, Romero, Naula, Loyola, & Coronel, 2019). Un factor muy importante es que haya una alta correlación entre lo que predice el modelo y lo que actualmente ocurre en el sistema real (Figura 1-2).

Un sistema puede ser descrito mediante una función que relaciona un conjunto de datos u observaciones (d , variables de respuesta) con un grupo de parámetros P (m_1, m_2, \dots); cada grupo de valores específicos de este grupo de parámetros proporciona un modelo (m) diferente.

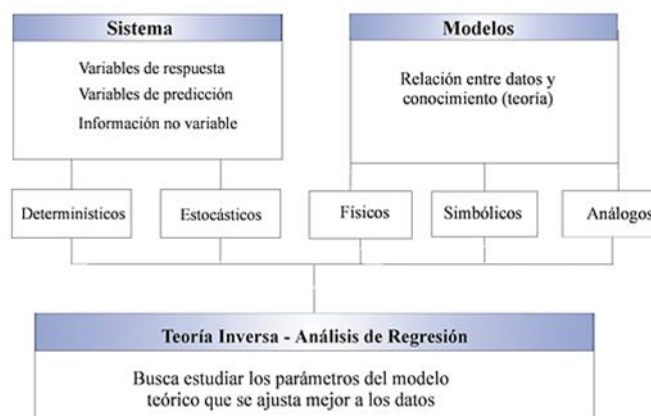


Figura 1-2: Relación entre sistemas y modelos
Fuente: (Escobar, 2019)

Si se dispone de un modelo físico (G) que obtenido a partir de la teoría relaciona los datos observados con los parámetros conocidos –variables–, se tiene entonces una relación funcional $G \Rightarrow F(d, m)$ que describe el fenómeno; si esta relación es lineal, se define entonces como $Gm = d$. Aquí se pueden tener dos situaciones diferentes: se conocen los parámetros del modelo, pero es necesario conocer la respuesta de ese sistema, esta situación es conocida como el problema directo; o de lo contrario, se dispone de observaciones de las variables de predicción y de respuesta, pero se desconocen los parámetros del modelo que expliquen mejor la relación entre esas variables, aquí se habla del problema inverso, el cual se resuelve mediante regresión estadística. Resolver el problema inverso consiste en estimar los valores del modelo

(*m*) que expliquen mejor las observaciones (Muyulema, 2017; Castillo & Aguirre, 2018; Escobar, 2019).

Por otro lado, Sablón *et al.*, (2018); Escobar (2019) proponen que antes de formular la solución a un problema inverso es necesario que sea;

- Valida tanto para problemas lineales como para problemas no lineales, tanto para problemas bien determinados (suficientes datos para la estimación, matrices invertibles) como para problemas mal determinados (información insuficiente o inconsistente)
- Consistente con respecto a un cambio de variables: el cual no es el caso con aproximaciones ordinarias
- Suficientemente general para permitir diferentes distribuciones para el error en los datos (gaussiana, no gaussiana, simétrica, asimétrica, etc.), para permitir la incorporación formal de cada supuesto y para incorporar errores teóricos en una forma natural.

Afirman también, que estas restricciones pueden cumplirse si se formula el problema usando teoría de probabilidades y toda la información disponible (Inferencia bayesiana), estudiando sistemas que puedan ser descritos con un finito grupo de parámetros donde las características cuantitativas del sistema sean definidas como funciones de probabilidad (para datos y parámetros) más que como parámetros discretos (p.e. medias). Sin embargo, existen diversos métodos estadísticos de estimación que, aunque no cumplen todas las restricciones anteriores, de igual manera y para problemas específicos proporcionan estimadores con propiedades deseables. Además, debido a la complejidad de algunos problemas y al exhaustivo requerimiento computacional de los métodos bayesianos, estimadores de esta clase son poco comunes en la práctica.

Con base en las anteriores premisas podemos concluir que no hay una sola técnica que se pueda usar para resolver los problemas, sino que ésta depende del tipo y la complejidad del modelo; así se tiene diferentes técnicas:

- 1) Programación Lineal. - Es la más usada para modelos con restricciones y funciones con objetivos lineales.

- 2) Programación Entera. - Las variables tienen valores exactos.
- 3) Programación Dinámica. - El modelo inicial puede subdividirse en problemas más pequeños y fáciles de resolver.
- 4) Programación de red. - El problema es creado como una red.
- 5) Programación no lineal. - Cuando las funciones del modelo no son lineales.

Estas técnicas descritas se consideran las más usadas para la resolución de los problemas, en los cuales deben reconocerse la naturaleza del modelo para poder usar la herramienta correcta de solución.

2.2.2. Planeación de la producción

Según Aguado (2015); Benavides (2016); Camino-Mogro (2017); Castillo & Aguirre (2018) la planificación de la producción no es más que, dada la previsión de ventas para un horizonte de tiempo, hallar la combinación de producciones, de stocks y de recursos globales de la empresa que consiguen cumplir con la demanda de la mejor forma posible. Durante muchos años los sistemas clásicos, como el método de la cantidad económica de pedido (EOQ, Economic Order Quantity) o el método de la cantidad de pedido periódica (POQ, Periodic Order Quantity), fueron empleados para superar los problemas surgidos como consecuencia de la incertidumbre de la demanda y de las dificultades en la correcta predicción de los plazos de realización de las tareas. Posteriormente, a partir de estos conceptos, se desarrollaron nuevos métodos que planteaban mejores soluciones a problemas más complejos de planificación y control de la producción (Turgay, Kubat et al., 2007). Existen disímiles sistemas y herramientas que permiten efectuar la planificación y control de la producción tales como: MRP (planificación de requerimientos materiales), HPP (planificación jerárquica de la producción), Kanban/JIT (just in time o justo a tiempo), CONWIP, PL (programación lineal), entre otras herramientas. A continuación, se comentan las más ahondadas en la literatura.

2.2.2.1. MRP (Planificación de Requerimientos de Materiales)

Kim (2014) expone que un sistema MRP transforma un plan maestro de producción (MPS) en un programa detallado de necesidades de materiales y componentes requeridos para la fabricación de los productos finales utilizando, para ello, las listas de materiales. El MRP se basa en dos conceptos fundamentales: la explosión bruta a

neto y la programación hacia atrás de las necesidades. La planeación de requerimientos de materiales es un sistema de información que se usa para planear y controlar los procesos de manufactura. Existen 3 tipos de sistema de MRP:

- Tipo I, un sistema de control de inventarios.
- Tipo II, un sistema de control de la producción y de los inventarios.
- Tipo III, un sistema de planeación de los recursos de manufactura.

Cada uno de estos sistemas aumenta el alcance y el uso de la planeación de requerimientos de materiales.

2.2.2.2. HPP (Planificación Jerárquica de la Producción)

Zotelo, *et al.*, (2017) por ejemplo, describen que el HPP difiere marcadamente del MRP y no ha conseguido el mismo grado de aceptación. Si bien el MRP podría considerarse como un procedimiento jerárquico, la HPP lo es realmente y se basa en la división del problema de la planificación de la producción en varios niveles.

2.2.2.3. KANBAN (tarjeta de información)

Los entornos de producción JIT están caracterizados por el trabajo en pequeños lotes y el control de la producción por medio de un sistema de información denominado Kanban. En japonés, “Kanban” significa “etiqueta de información”. La etiqueta Kanban contiene información que sirve como orden de trabajo. En otras palabras, es un dispositivo de dirección automático que nos da información acerca de qué se va a producir, en qué cantidad, mediante qué medios y cómo transportarlo (Gutiérrez, 2013).

En tanto Krishnaiyer & Chen (2017) expresan que el objetivo principal es satisfacer la demanda real del público consumidor, al mismo tiempo que minimizar los tiempos de entrega, la cantidad en stock y los costos. Permitir que sea el mercado quien tire de las ventas, que sea el pedido el que ponga en marcha la producción, y no la producción la que se ponga a buscar un comprador. Es por esto que Kanban, es considerado como un sistema de control de producción del tipo Pull.

2.2.2.4. CONWIP (Inventario Constante en Proceso)

La mayoría de los autores utilizan el término CONWIP para referirse a los sistemas que tratan de mantener constante el inventario en proceso. Por tanto, el objetivo de este sistema es reducir el inventario en proceso, con lo que se reducen los costes, pero manteniendo una tasa de salida razonable. Esto se puede conseguir aplicando la filosofía de “inventario constante en proceso” (Gutiérrez, 2013).

El sistema CONWIP emplea tarjetas para controlar el nivel de inventario en proceso. Las tarjetas son asignadas a cada pieza al comienzo de la línea. Cuando la pieza es procesada en la última estación, la tarjeta es liberada para ser de nuevo enviada al comienzo de la línea, donde será asignada a otra pieza para ser procesada. Ninguna pieza puede entrar en la línea sin que esté acompañada de su tarjeta (Jaegler, Burlat, Lamouri, & Trentesaux, 2018).

2.2.2.5. Programación Lineal

La Programación Lineal, en este contexto, puede verse como un procedimiento o algoritmo matemático mediante el cual se resuelve un problema indeterminado, formulado a través de ecuaciones lineales, optimizando la función objetivo, también lineal. Básicamente, consiste en optimizar (minimizar o maximizar) una función lineal, denominada “función objetivo”, de tal forma que las variables de dicha función estén sujetas a una serie de restricciones que expresamos mediante un sistema de inecuaciones lineales. Presenta restricciones, además de las funciones objetivos, que buscan que la variable de decisión se ajuste a las características del problema en cuestión (Ortiz, 2017).

Por otro lado, Bautista, Batet, & Mateo (2020) la Programación Lineal es una herramienta fundamental de planificación, aunque una de sus limitaciones más relevantes es el requerimiento de que toda la información se conozca con certidumbre, algo que no siempre es posible suponer.

2.2.2.6. Estrategias de planificación de la producción

En esencia, en la Tabla 1-2 se presenta las estrategias de planificación de producción, aplicadas comúnmente en la industria.

Tabla 1-2: Estrategias de planificación de producción

N.º	Estrategia	Particularidades
1	Estrategia de ajuste	Igualar el índice de producción con el índice de pedidos, contratar y despedir empleados conforme varía el índice de pedidos. El éxito de esta estrategia depende de tener un grupo de candidatos a los que se les pueda capacitar con rapidez y de dónde tomar empleados cuando aumente el volumen de pedidos.
2	Mano de obra estable, horas de trabajo variables	Variar la producción ajustando el número de horas trabajadas por medio de horarios laborales flexibles u horas extra. Al variar el número de horas, es posible igualar las cantidades de la producción con los pedidos. Esta estrategia ofrece continuidad a la mano de obra y evita muchos de los costos emocionales y tangibles de la contratación y despidos relacionados con la estrategia de ajuste
3	Estrategia de nivel.	Mantener una mano de obra estable con un índice de producción constante. La escasez y el superávit se absorben mediante la fluctuación de los niveles de inventario, pedidos acumulados y ventas perdidas. Los empleados se benefician con un horario estable a expensas de niveles de servicio a clientes potencialmente más bajos y un mayor costo de inventario. Cuando solo se utiliza una de estas variables para absorber las fluctuaciones de la demanda, se conoce como estrategia pura; dos o más estrategias combinadas constituyen una estrategia mixta. Como puede imaginar, las estrategias mixtas son más frecuentes en la industria
4	Subcontratación	Además de estas estrategias, los gerentes también pueden subcontratar parte de la producción. Esta estrategia es similar a la de ajuste, pero las contrataciones y despidos se cambian por la decisión de subcontratar o no. Cierta nivel de subcontratación es necesario para ajustarse a las fluctuaciones en la demanda. Sin embargo, a menos que la relación con el proveedor sea muy fuerte, un fabricante pierde cierto control sobre la programación y la calidad.

Fuente: (Aguado, 2015; Benavides, 2016; Camino-Mogro, 2017; Zotelo, Mula, Díaz, & González, 2017)

2.2.2.7. Control de producción

Se refiere esencialmente a la cantidad de fabricación de artículos y vigilar que se haga como se planeó, es decir, el control se refiere a la verificación para que se cumpla con lo planeado, reduciendo a un mínimo las diferencias del plan original, por los resultados y práctica obtenidos (Zotelo, Mula, Díaz, & González, 2017).

Por otro lado, Gutiérrez (2013), denomina al control de producción como el conjunto de técnicas y procedimientos que se sirve a la dirección para orientar, supervisar y controlar todas las etapas aludidas hasta la obtención de un producto de la calidad deseada. Según la noción de González & Moreno (2015), es la acción de inspeccionar un estándar en la elaboración un producto o prestar un servicio tomando en cuenta los procedimientos a emplear, así como el tiempo y la frecuencia de las revisiones o pruebas que deben realizarse en el método afín de asegurar que cumpla con la especificación que se presenta en el diseño del producto o servicio.

De lo antes expuesto se puede considerar que el control de producción es la documentación o métodos generados para identificar y controlar aquellas operaciones y actividades relacionadas con los aspectos significativos identificados dentro de la organización.


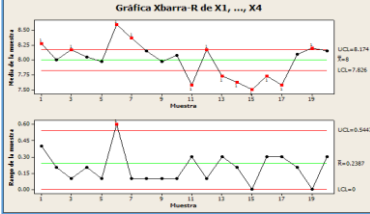

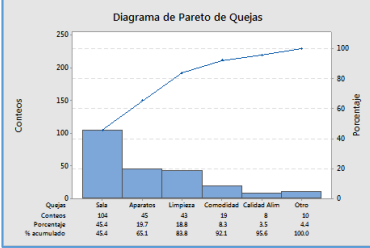
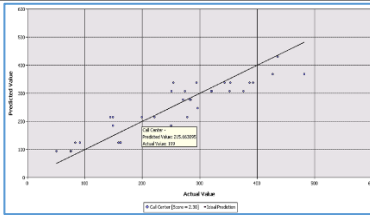
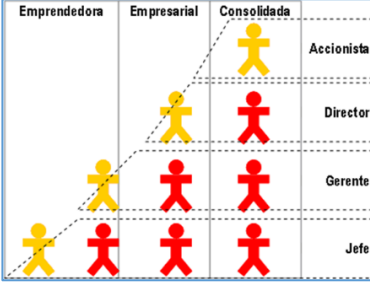
2.2.2.8. Las siete herramientas básicas del control de producción

Estas herramientas, que posteriormente fueron denominadas “las siete herramientas básicas de la calidad”, pueden ser descritas genéricamente como métodos para la mejora continua y la solución de problemas (Gutiérrez, 2013).

Las siete herramientas básicas de control de producción son:

Tabla 2-2: Siete herramientas básicas del control operacional

N.º	Herramientas	Particularidades	Esquema
1	Diagrama Causa – Efecto	Ayuda a identificar, clasificar y poner de manifiesto posibles causas, tanto de problemas específicos como de efectos deseados.	<p>El diagrama de causa-efecto muestra un flujo de información de izquierda a derecha. En la parte superior, tres cuadros azules etiquetados 'Método', 'Mano de Obra' y 'Medidas' tienen flechas que apuntan hacia un cuadro central 'Inspección'. 'Método' incluye 'Instrucción - Información - Procedimiento'. 'Mano de Obra' incluye 'Física - Mental'. 'Medidas' incluye 'Instrumento - Condiciones - locales'. 'Inspección' tiene flechas que apuntan hacia un cuadro central 'Deterioro'. 'Deterioro' incluye 'Oficina - Mantenimiento'. 'Material' incluye 'Proveedores - Proveedor - Propio'. 'Medio Ambiente' incluye 'Clima'. 'Maquinaria' incluye 'Mantenimiento'. En la parte inferior, tres cuadros azules etiquetados 'Material', 'Medio Ambiente' y 'Maquinaria' tienen flechas que apuntan hacia un cuadro central 'Efecto'. 'Efecto' incluye 'Características'.</p>

2	Hoja de Comprobación	Registro de datos relativos a la ocurrencia de determinados sucesos, mediante un método sencillo.	
3	Gráficos de Control	Herramienta estadística utilizada para controlar y mejorar un proceso mediante el análisis de su variación a través del tiempo.	
4	Histograma.	Gráfico de barras verticales que representa la distribución de frecuencias de un conjunto de datos.	
5	Diagrama de Pareto.	Método de análisis que permite discriminar entre las causas más importantes de un problema (los pocos y vitales) y las que lo son menos (los muchos y triviales).	
6	Diagrama de Dispersión	Herramienta que ayuda a identificar la posible relación entre dos variables.	
7	Estratificación.	Este Procedimiento consistente en clasificar los datos disponibles por grupos con similares características que muestra gráficamente la distribución de los datos que proceden de fuentes o condiciones diferentes.	

Fuente: (Gutiérrez, 2013; Muyulema, 2017)

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

El éxito de estas herramientas radica en la capacidad que han demostrado para ser aplicadas en un amplio rango de problemas, desde el control operacional hasta las áreas de producción (control de calidad), marketing (niveles de percepción del cliente) y

administración (cumplimiento de objetivos). Las organizaciones de servicios también son susceptibles de aplicarlas, aunque su uso comenzara en el ámbito industrial (Zotelo, Mula, Díaz, & González, 2017).

Estas técnicas pueden ser manejadas por personas con una formación media, lo que ha hecho que sean la base de las estrategias de resolución de problemas en los círculos de calidad y, en general, en los equipos de trabajo conformados para acometer mejoras en actividades y procesos (Gutiérrez, 2013).

2.2.3. Metodología Lean Manufacturing

La metodología Lean Manufacturing o producción esbelta, es un conjunto de técnicas desarrolladas por la compañía Toyota a partir del decenio de 1950, que sirven para mejorar y optimizar los procesos operativos de cualquier compañía industrial, independientemente de su tamaño (Costa *et al.*, 2019). Las técnicas de Lean Manufacturing se están utilizando en la optimización de las operaciones de forma que se puedan obtener tiempos de reacción más cortos, mejor atención servicio al cliente, mejor calidad, costos más bajos, eliminación de cualquier actividad que no agregue valor al producto, servicio o proceso, eliminación de cualquier tipo de desperdicio (sobreproducción, retrasos, transporte, el proceso, inventarios, movimientos y calidad), mayor eficiencia del equipo, entre otros (Amrutha & Geetha, 2020). Lean Manufacturing se apoya en una serie de herramientas como son: los sistemas kanban, el mantenimiento total productivo, los sistemas Kaizen, las 5's, Seis Sigma, Poka Yoke, Jidokas, entre otros (Vargas, Muratalla, & Jiménez, 2018).

En la última década el interés por la implementación de Lean Manufacturing ha incrementado drásticamente, debido a que las empresas han visto la necesidad de hacerlo para permanecer competitivas en el mercado mundial actual (Costa *et al.*, 2019). Adoptar esta filosofía requiere explorar las herramientas de manufactura esbelta ya que buscan mejorar las utilidades y eliminar la mayor cantidad de desperdicios como son movimientos innecesarios, pasos de producción que no generan valor agregado y el exceso de inventarios en la cadena productiva (Gandhi, Thanki, & Thakkar, 2018).

2.2.3.1. Seis Sigma

Es una estrategia de mejora continua del negocio que busca optimizar el desempeño de los procesos de una organización y reducir su variación; con ello es posible encontrar y eliminar las causas de los errores, defectos y retrasos en los procesos del negocio. En todo momento se toma como referencia a los clientes y sus necesidades (Message, Godinho, Fredendall, & Devós, 2020).

La estrategia Seis Sigma se apoya en una metodología fundamentada en las herramientas y el pensamiento estadístico. Asimismo, tiene tres áreas prioritarias de acción: satisfacción del cliente, reducción del tiempo de ciclo y disminución de los defectos (Gutiérrez, 2013).

El objetivo principal de ésta metodología es generar 3.4 defectos por millón de oportunidades. Esta meta se pretende alcanzar mediante un proceso vigoroso de mejora. La calidad Seis Sigma se refieren a un concepto que plantea a una aspiración o meta común en calidad para todos los procesos de una organización (Muyulema, 2017).

2.2.3.2. Just in Time (JIT)

Es un sistema de producción orientado al mercado que descansa enteramente en el fundamento de servir las necesidades del cliente. Las palabras “Just In Time” se refieren a que los artículos se entregan a las líneas de producción Justo a Tiempo de usarse, justamente en las cantidades inmediatamente necesarias y justo cuando los procesos de producción los necesitan (Aguado, 2015).

Para implementar estos sistemas, es necesario realizar ciertas mejoras. Éstas se enuncian a continuación: fabricación de flujo, manejo multiproceso, kanban, reducción del personal, control visual, cambio de útiles, asegurar la calidad, operaciones estándares, Jidoka, entre otras (Costa *et al.*, 2019).

2.2.3.3. Poka Yoke

Se refiere al diseño de dispositivos a prueba de errores y olvidos. La inspección o detección de los defectos por si sola no mejora el desempeño de un proceso. La inspección y el monitoreo de procesos debe enfocarse a detectar la regularidad estadística de las fallas para identificar donde, cuando y como están ocurriendo las fallas a fin de enfocar mejor las acciones correctivas (Gutiérrez, 2013). Sumado al

riesgo del proceso, el factor humano es una de las causas principales de error en los procesos, ya que las personas tienen olvidos y la rutina del trabajo la pueden llevar a descuidos (Vargas, Muratalla, & Jiménez, 2018).

2.2.3.4. SMED

El sistema SMED (Single Minute Exchange of Die), que en su traducción al español significa “cambio de matriz en menos de 10 minutos”, nació por necesidad para lograr la producción JIT, una de las piedras angulares del Sistema de Producción Toyota (“Lean Manufacturing”). Este sistema fue desarrollado para acortar los tiempos de la preparación de máquinas, posibilitando hacer lotes más pequeños (Karam, Liviu, Veres, & Radu, 2018).

2.2.3.5. 5S’s

El método de las 5S’s, así denominado por la primera letra del nombre que en japonés designa cada una de sus cinco etapas, es una técnica de gestión japonesa basada en cinco principios simples (Gutiérrez, 2013). Cuyos caracteres comienzan con la letra “S” y corresponden a:

Tabla 3-2: Las cinco palabras japonesas cuyos caracteres comienzan “S”

N.º	Estrategia	Particularidades
1	Seiri (arreglo apropiado)	Consiste en distinguir claramente entre los ítems necesarios e innecesarios y desechar éstos últimos.
2	Seiton (orden)	Se basa en mantener siempre los ítems necesarios en el lugar correcto, de forma que cualquiera pueda encontrarlos inmediatamente.
3	Seiso (limpieza)	Se debe mantener la fábrica lavada y limpia.
4	Seiketsu (pureza o extremadamente limpio)	Ésta es la condición cuando mantenemos las tres primeras S. Estandarizar.
5	Shitsuke (disciplina)	Consiste en hacer un hábito de mantener los procedimientos establecidos. (Hirano, 2001).

Fuente: (Gutiérrez, 2013)

Dentro de los principales beneficios de las 5’s están:

Tabla 4-2: Los principales beneficios de las 5's

N.º	Estrategia	Particularidades
1	Cero despilfarro	Menores costes y capacidad más elevada.
2	Cero daños	Mejora en la seguridad.
3	Cero averías	Mejor mantenimiento.
4	Cero defectos	Calidad más elevada.
5	Cero cambio de útiles	Facilitando la diversificación de la producción.
6	Cero retrasos	Confiabilidad en las entregas.
7	Cero quejas	Aumentando la fiabilidad y la confianza.

Fuente: (Gutiérrez, 2013)

2.2.3.6. Value Stream Mapping

Es una herramienta donde se visualizan todas las actividades que se producen desde que está la materia prima hasta que se transforma en producto terminado. El mapeo se enfoca a niveles de eficiencia total y no a la eficiencia generada por células individuales o grupos de trabajo (Huang, Kim, Sadri, Dowey, & Dargusch, 2019).

Un mapa de cadena de valor contiene toda la información relevante del flujo hacia el cliente y tiene en cuenta tanto actividades que agregan valor como las que no lo hacen (Escobar, 2019).

2.2.3.7. Fábrica Visual

Es un sistema de ayudas para organizar y controlar el entorno de trabajo, asegurar una calidad consistente, y proporcionar apoyo a los estándares de productividad. Este sistema promueve una comunicación efectiva en toda la organización mediante la creación de un lenguaje visual para todo el lugar de trabajo (Gutiérrez, 2013). El lenguaje visual permite a los operadores y administradores distinguir rápidamente entre la situación deseada (lo normal) y anomalías en el proceso de fabricación (Aguado, 2015).

En el lugar de trabajo de una fábrica visual, cada elemento que se considere necesario tiene un lugar designado y debe permanecer allí excepto cuando se esté utilizando (Costa, y otros, 2019). Dentro de los beneficios de la fábrica visual se encuentran: promueve cero defectos, alerta a todo el personal de anomalías, elimina desperdicio, apoya a la mejora continua, entre otras (Gutiérrez, 2013).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

3.1.1. Datos de la empresa

Tabla 1-3: Datos de la empresa

Empresa	CIAUTO Cía. Ltda.
Nombre Completo:	Ciudad del Auto Ciauto Cía. Ltda.
Principales Actividades:	Comerciantes al por Mayor de Vehículos Motorizados y Partes y Suministros de Vehículos Motorizados
Dirección	Provincia: Tungurahua
	Ciudad: Ambato
	Dirección: Camino Real, Parroquia Unamuncho, Sector El Conde.
Número teléfono	0999909314
Contacto	Juan Carlos Escobar
Cargo:	Jefe de Producción
Correo electrónico	jcescobar@ciauto.ec
Página web	www.ciauto.ec

Fuente: CIAUTO Cía. Ltda.

3.1.2. Localización de la empresa

La empresa se localiza en el Sector El Conde de la Parroquia Unamuncho, al Norte de Ambato, a -1.6667 de Latitud y a -78.5833 de Longitud.



Figura 1-3: Localización de la empresa

3.2. Equipos y materiales

A continuación, se enlistarán los materiales y equipos utilizados dentro del trabajo investigativo:

- Equipos
 - Computador portátil
 - Impresora

- Materiales
 - Libreta de campo
 - Letreros de identificación

3.3. Tipo de investigación

Hernández, Fernández y Bautista (2014), en su obra Metodología de la Investigación, sostienen que todo trabajo de investigación se sustenta en dos enfoques principales: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo, los cuales de manera conjunta forman un tercer enfoque: El enfoque mixto.

- El enfoque cualitativo, fue precisamente requerido para la emisión de un diagnóstico sobre ítems vinculados con las variables de investigación: Seleccionar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Disciplina, Herramientas Lean Manufacturing y Planeación de la producción, permitiendo a su vez dar las correspondientes conclusiones y recomendaciones del análisis realizado.

- El enfoque cuantitativo, permitió la determinación del porcentaje de cada uno de ítems vinculados con las variables de investigación, para la evaluación y diagnóstico de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., tomada como caso de estudio.

Al utilizar los enfoques se busca alcanzar la exactitud en las mediciones de datos para fundamentar el conocimiento y por medio de un análisis estadístico lograr probar la hipótesis establecida previamente para establecer con fidelidad patrones de comportamiento en la población de estudio.

3.4. Prueba de Hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se procedió a un análisis de varianza mediante un ANOVA (Analysis of Variance) basado en un diseño en bloques completos al azar, el mismo que trata de comparar tres fuentes de variabilidad: el factor de tratamientos, el factor de bloques y el error aleatorio. El adjetivo completo se refiere a que en cada bloque se prueban todos los tratamientos. La aleatorización se hace dentro de cada bloque. Los resultados establecieron el contraste de la variable independiente (Herramientas Lean Manufacturing) con respecto a la variable dependiente (planeación de la producción), tomando como:

- *Tratamientos.* - los ítems de implementación requeridos como son; Seleccionar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Autodisciplina, Estructura Lean y Planeación de la producción.
- *Bloques.* - las opciones de respuesta como son C (Cumplimiento) CP (Cumplimiento Parcial) y NC (No Cumplimiento).

3.4.1. Hipótesis de investigación o partida

Por definición sabemos que una hipótesis es una afirmación que involucra uno o varios parámetros poblacionales, dicha afirmación será confirmada o negada en función de la afirmación contenida en una muestra aleatoria.

De esto sabemos que la hipótesis nula (H_0), es la afirmación principal a ser confirmada o negada por la evidencia empírica que da la muestra, y la hipótesis alternativa (H_a) es la afirmación que se confirmaría en el caso de que la evidencia empírica niegue la hipótesis nula. (Ponsot, 2020)

3.4.1.1. P- Valor

P-Valor es un estadístico de prueba y la probabilidad de rechazo que implica, si $P < \alpha$ entonces H_0 debe rechazarse. De esta manera, la hipótesis nula planteada para el presente trabajo de investigación es:

H_0 . La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos en Ciauto Cia. Ltda. No incide en la técnica de planeación de la producción.

Ha. La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos en Ciauto Cia. Ltda. incide en la técnica de planeación de la producción.

3.4.2. Señalamiento de variables

3.4.2.1. Variable independiente

- Herramientas Lean Manufacturing.

3.4.2.2. Variable dependiente

- Planificación de la producción

3.4.3. Unidad de observación

- Ensambladora de vehículos

3.5. Población o muestra

3.5.1. Población

Según Hernández, Fernández, & Baptista (2014), afirman que la población es la colección bien definida de individuos o personajes que poseen parecidas características. Este grupo para investigar es fundamental que tengan características similares para determinar la relación de las características del problema de investigación.

Las unidades que son necesarias para la investigación son tomadas de la estructura de procesos de la ensambladora de vehículos de Ciauto Cía. Ltda., de esta manera las personas involucradas con el sistema de producción y la aplicación de herramientas Lean, ascienden a 48 personas detalladas en la siguiente tabla:

Tabla 2-3: Población del proceso de ensamblaje de vehículos Ciauto Cía. Ltda.

Personal	Frecuencia	Porcentaje
Coordinador de ensamble	1	2,1%
Supervisor de ensamble	1	2,1%
Coordinador de calidad	1	2,1%

Asistente de calidad	1	2,1%
Operadores de ensamble	44	91,6%
Total	48	100.00%

Fuente: Ciauto Cía. Ltda. 2020.

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

3.5.2. Muestra

Se selecciona una muestra no aleatoria de la población en estudio, y se definen los parámetros muestrales (Stracuzzi & Pestana, 2012), establecen que en caso de tener un número poblacional reducido no es necesario precisar la muestra para trabajar con el total de elementos de estudio y mantener el nivel de confianza de los datos a analizar; de esta manera se considera la muestra a las 48 personas involucradas en el proceso de ensamblaje, ya que son las personas que emplean las herramientas Lean Manufacturing.

3.6. Recolección de información

3.6.1. Métodos

- *Método Deductivo.* – Es necesario analizar el problema de estudio desde su globalidad para establecer criterios específicos estos permiten determinar la relación de la planificación de la producción y las herramientas de Lean Manufacturing, establecidas por el investigador, para llegar a la particularidad de la planificación de la ensambladora de vehículos.
- *Método Analítico.* – Este proceso de la investigación consiste en determinar a profundidad la información y los criterios de análisis que ayudan a determinar los criterios de acción para establecer el modelo estadístico, y de esta manera comprender el comportamiento de la aplicabilidad de las herramientas Lean Manufacturing.
- *Método Correlacional.* – En este proceso investigativo se analiza la interacción de las variables de estudio de esta manera se puede especificar la relación de los fenómenos que no son susceptibles de manipulación y de esta manera establecer los criterios de aceptación de la relación y aprobación de las hipótesis investigativas, permitiendo posteriormente formular una propuesta de solución al problema investigado.

3.6.2. Técnicas

- *Fuentes Primarias.* – Esta técnica es de vital importancia para la recolección de información y datos como son: observación y análisis.
 - Análisis. – Para analizar la información obtenida es necesario utilizar un instrumento de recolección de la información un Checklist estructurado en el cual se pudo evidenciar los criterios de acción de mejora de los procesos de planificación de la producción y el apoyo de las nuevas herramientas Lean Manufacturing, en la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda.
 - Observación directa. – en este ítem de investigación se logró establecer criterios del contexto de la organización y se recopiló la información de la cual se determina el avance de las herramientas de recolección de información aplicadas, y verificando de manera directa el fenómeno a investigar en la ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda.
- *Fuentes Secundarias.* – Este tipo de técnica se recopila la información de revistas, libros, internet, considerando la fiabilidad de las fuentes de información y las fechas de actualización para la estructuración correcta del contexto investigativo.

3.6.3. Instrumentos

Se establece el instrumento de recolección de información del cuestionario de evaluación inicial 5'S, y las 7 MUDAS de las herramientas Lean Manufacturing (Garcia, 2011), y los criterios de planificación de la producción establecida en Ciauto Cía. Ltda. La validación de los datos obtenidos con los instrumentos que se utilizan se realiza mediante un análisis de confiabilidad de datos con la técnica “Alfa de Cronbach”, definiendo la técnica en un Checklist estructurado, con su instrumento en una ficha de observación.

- Fichas de observación, aplicados como un instrumento de la investigación cuantitativa que permite tomar y registrar notas o datos de las acciones realizadas, obteniendo la información en la investigación de campo.
- Utilizar herramientas tecnológicas, así como R, Lingo 18, para la obtención de datos, y la comprobación de la relación de las variables de investigación y

posteriormente el análisis de datos de la planificación de la producción en Microsoft Excel.

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico

3.7.1. Plan de procesamiento de información

Según Álvarez (2012), la modalidad de procesamiento y análisis de la información es vital para la obtención de resultados positivos el mismo que contiene información estructurada y segmentada en las estrategias metodológicas necesarias para el desarrollo y demostración de los objetivos e hipótesis de investigación planteadas, y se formuló de acuerdo con las siguientes interrogaciones:

Tabla 3-3: Plan para la recolección de información

N.º	Preguntas	Explicación
1	¿Para qué?	Estudiar los métodos de planificación de la producción en la ensambladora de vehículos, para medir la injerencia de las herramientas Lean.
2	¿De qué personas u objetos?	De la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda., a todas las personas involucradas en el proceso.
3	¿Sobre qué aspectos?	Las herramientas de planificación de los procesos de la línea de ensamblaje.
4	¿Quién o quiénes?	Exclusivo del investigador: Ing. José Gavidia.
5	¿A quiénes?	A los Encargados de la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda., como al coordinador de producción, supervisor de producción, coordinador de calidad, asistente de calidad y operadores de producción. .
6	¿Cuándo?	El desarrollo del trabajo de campo se realizó en el periodo del 1 de mayo al 30 de mayo del 2020.
7	¿Dónde?	En la provincia de Tungurahua.
8	¿Cuántas veces?	La técnica de recolección de información ha sido aplicada por una sola vez.
9	¿Cómo?	Con técnicas de recolección de la información como: <ul style="list-style-type: none"> - Cuestionario estructurado o Checklist - Operacionalización de variables

- Matriz de correlación.
- Análisis situacional de procesos actuales

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

3.7.2. Plan para el análisis estadístico descriptivo de información

Hernández, Fernández, & Baptista (2014), enfatiza que es necesario procesar la información o generar datos agrupados, estos se procedieron a ordenarlos para que faciliten al investigador el análisis descriptivo de la información, esto enmarcado a los objetivos, hipótesis y preguntas identificadas en la operacionalización por medio de datos numéricos que se procesaron y se actualizan de acuerdo con el avance de la investigación y la madurez del sistema.

Tabla 4-3: Plan de procesamiento de la información

N.º	Plan	Procedimiento
1	Procesamiento de datos	a). Revisión sistematizada de la información recogida
		b). Validación de la recolección, para corregir fallas de contestación o espacios en blanco.
		c). Tabulación descriptiva de variables.
2	Presentación de datos	a). Representación Escrita
		b). Representación Tabular
		c). Representación Gráfica
3	Observación y medición	a). Medición de la utilización de los principales recursos utilizados para la producción.

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

3.8. Variables de respuesta o resultados alcanzados

Tabla 5-3: Matriz de consistencia de las variables

Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Indicadores	Índices	Técnicas	Instrumentos
Modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing	La implementación de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda., incide en la técnica de planificación de la producción.	Variable Independiente •Herramientas Lean Manufacturing	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo • Transporte. • Procesos • Inventario. • Movimientos. • Defectos • Sobreproducción 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de entrega • Cantidad de entrega. • Número de operaciones. • Capacidad del inventario. • Tiempos de producción. • Porcentaje de defectuosos. • Stock de seguridad 	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de observación
		Variable Dependiente Planificación de la producción.	<ul style="list-style-type: none"> • Materiales • Trabajadores • Producción 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de materiales. • Cantidad de trabajadores. • Capacidad de producción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Checklist 	<ul style="list-style-type: none"> • Fichas de observación.

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Análisis de los resultados

Una vez aplicado los instrumentos para el levantamiento de la información, se procedió a realizar el tratamiento de cada uno de los datos recolectados, para el análisis de estos. El cual se realizó mediante dos tareas íntimamente ligadas: el análisis y la interpretación de resultados.

Con el objetivo primordial de resumir las observaciones que se llevaron a cabo y buscar si responden a las interrogantes planteadas en el trabajo de investigación se trazó el plan de análisis e interpretación de resultados dentro del cual se abarcó los siguientes aspectos:

Tabla 1-4: Plan de análisis e interpretación de resultados

N.º	Objetivos	Aspectos	Particularidades
1	Objetivo 1: Diagnosticar los procesos actuales del área de ensamble de vehículos, a través de entrevistas y toma de datos, para el establecimiento de la causa raíz del problema.	Levantamiento de la información. Procesamiento y análisis de los datos derivados.	Realizado mediante la técnica de Checklist estructurado basado en los puntos de evaluación de Lean Manufacturing, donde se enfatiza una estimación con un enfoque por procesos, la población objeto de investigación estuvo compuesto por 48 individuos que tienen relación directa con el ensamble de vehículos.
		Comprobación de hipótesis.	Se procedió a un análisis de varianza mediante un ANOVA utilizando un diseño de experimentos con bloques completamente aleatorizados donde se determina el contraste de la variable independiente (Herramientas Lean Manufacturing) con respecto a la variable dependiente (planeación de la producción). Para ello se tomó en consideración la evaluación integrada ISO 9001:2015, tomando en

			consideración las tres escalas de evaluación: i) Cumple (c); ii) Cumple Parcialmente (C/P) y No Cumple (NC).
2	Objetivo 2: Analizar el método de planeación de la producción utilizado, mediante el contraste con el pronóstico de ventas y el histórico de producción de los periodos anteriores.	Levantamiento de la información. Procesamiento y análisis de los datos obtenidos.	Posterior a la demostración sobre si la “La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos, incide en la técnica de planificación de la producción.”, se procede a identificar exactamente la afectación, a través de un análisis de la planificación vs la producción real mismo que tiene como finalidad entender de manera generalizada la situación actual.
3	Objetivo 3: Plantear un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos.	Generación de matrices de contingencia.	Extraer las matrices de contingencia que contienen los datos previamente recolectados, procesados y analizados. Con estas premisas se planteó un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos, reduciendo los desperdicios enlistados en la identificación y también mejorando los tiempos de producción siendo así un avance en la estandarización de métodos de trabajo.
		Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.	Las conclusiones establecidas son el resultado del cumplimiento de los objetivos específicos; mientras que, las recomendaciones provendrán de hitos a ejecutar que se establecerán en la propuesta del presente trabajo.

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

En la investigación desarrollada, se evidencian las directrices para el diagnóstico y los procesos actuales del área de ensamble de vehículos, a través de entrevistas y toma de datos, de esta manera se establece el criterio para a toma de decisiones.

Con este fundamento se puede analizar el mejor método de planeación de la producción, mediante el contraste con el pronóstico de ventas y el histórico de producción de los periodos anteriores, siendo la premisa principal para la identificación del desarrollo del modelo estadístico.

Para posteriormente, con estas premisas plantear un modelo estadístico para la planeación de la producción, basada en la metodología Lean Manufacturing, que permita la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos, reduciendo los desperdicios enlistados en la identificación y también mejorando los tiempos de producción siendo así un avance en la estandarización de métodos de trabajo.

4.2. Diagnóstico de los procesos actuales del área de ensamble de vehículos

El nivel de referencia tomado para identificar si la implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda., incide en la técnica de planificación de la producción, esta proporcionada por una técnica de *Check List de diagnóstico*, tomando en consideración la evaluación integrada ISO 9001:2015, la misma que proporciona tres escalas de evaluación:

C = Cumplimiento

C/P= Cumplimiento Parcial

NC= No Cumplimiento

Posteriormente se desarrolló un análisis por cada una de las preguntas que componen el *Check List* de diagnóstico, se procede a tomar en cuenta la proporción de los resultados respecto de la totalidad de los puntos evaluados, para su posterior comprobación.

Para la comprobación de la hipótesis se requirió un análisis de varianza mediante un ANOVA utilizando un diseño de experimentos con bloques completamente aleatorizados donde se determina el contraste de la variable independiente (Herramientas Lean Manufacturing) con respectó a la variable dependiente (planeación de la producción).

Un diseño de bloques aleatorizados es un diseño frecuentemente utilizado para minimizar el efecto de la variabilidad cuando se asocia con unidades discretas (por

ejemplo, ubicación, operador, planta, lote, tiempo). El caso usual consiste en distribuir aleatoriamente una réplica de cada combinación de tratamientos dentro de cada bloque. Por lo general, no hay un interés intrínseco en los bloques, y se considera que éstos son factores aleatorios. La suposición habitual es que el bloque por interacción de tratamiento es cero, y esta interacción pasa a ser el término de error. Para probar los efectos del tratamiento se designa la variable de respuesta como Bloque, los términos en el modelo serían entonces Bloque, A, B y A*B. También especificaría el Bloque como el factor aleatorio, y los tratamiento son los ítems.

Tabla 2-4: Checklist de diagnóstico – Lean Manufacturing

GUÍA DE CALIFICACIÓN - LEAN MANUFACTURING					
Referencia: Área de ensamble de vehículos Código: MEP-CCT-02 Fecha: 30/05/2020					
Responsable: Ing. Juan Carlos Escobar Evaluador: Ing. José Luis Gavidia					
Área Evaluada: Ensamble					
CHECKLIST DE DIAGNÓSTICO SITUACIONAL					
No.	ÍTEMS	C	C/P	NC	TOTAL
1	SELECCIONAR				
1.1	¿Hay cosas inútiles que pueden molestar en el entorno de trabajo?	9	25	14	48
1.2	¿Hay algún tipo de herramienta, tornillería, pieza de repuesto, útiles o similar en el entorno de trabajo?	18	17	13	48
1.3	¿Están los objetos, de uso frecuente, ordenados en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?	13	18	17	48
1.4	¿Están todos los elementos de limpieza: trapos, escobas, guantes, productos en su ubicación y correctamente identificados?	19	17	12	48
1.5	¿Existe maquinaria inutilizada en el entorno de trabajo?	28	12	8	48
1.6	¿Están los elementos innecesarios identificados como tal?	15	26	7	48
	<i>Suma</i>	102	115	71	288
2	ORDENAR				
2.1	¿Hay materiales y/o herramientas fuera de su lugar o carecen de lugar asignado?	4	28	16	48
2.2	¿Son necesarias todas las herramientas disponibles y fácilmente identificables?	18	18	12	48
2.3	¿Están diferenciados e identificados los materiales o semielaborados del producto final?	16	21	11	48
2.4	¿Hay algún tipo de obstáculo cerca del elemento de extinción de incendios más cercano?	22	11	15	48
2.5	¿Están las estanterías u otras áreas de almacenamiento en el lugar adecuado y debidamente identificadas?	25	5	18	48
2.6	¿Están indicadas las cantidades máximas y mínimas admisibles y el formato de almacenamiento?	31	5	12	48

2.7	¿Hay líneas u otros marcadores para indicar claramente los pasillos y áreas de almacenamiento?	13	18	17	48
<i>Suma</i>		129	106	101	336
3	LIMPIAR				
3.1	¿Revise cuidadosamente el suelo, los pasos de acceso y los alrededores de los equipos! ¿Puedes encontrar manchas de aceite, polvo o residuos?	9	13	26	48
3.2	¿Hay partes de las máquinas o equipos sucios? ¿Puedes encontrar manchas de aceite, polvo o residuos?	10	17	21	48
3.3	¿Hay elementos de la luminaria defectuoso (total o parcialmente)?	18	24	6	48
3.4	¿Se mantienen las paredes, suelo y techo limpios, libres de residuos?	5	17	30	52
3.5	¿Se realizan periódicamente tareas de limpieza juntamente con el mantenimiento de la planta?	18	17	13	48
3.6	¿Existe una persona o equipo de personas responsable de supervisar las operaciones de limpieza?	16	21	11	48
3.7	¿Se barre y limpia el suelo y los equipos normalmente sin ser dicho?	33	11	4	48
<i>Suma</i>		109	120	111	340
4	ESTANDARIZAR				
4.1	¿El personal conoce y realiza la operación de forma adecuada?	9	13	26	48
4.2	¿La ropa que usa el personal es inapropiada o está sucia?	11	16	21	48
4.3	¿Hay habilitadas zonas de descanso, comida y espacios habilitados para fumar?	17	25	6	48
4.4	¿Se aplican las 3 primeras “S”?	5	15	28	48
4.5	¿Se aplica el CONTROL VISUAL?	18	18	12	48
4.6	¿Existen procedimientos escritos estándar y se utilizan activamente?	15	21	12	48
<i>Suma</i>		75	108	105	288
5	AUTODISCIPLINA				
5.1	¿Se realiza un control de limpieza?	7	13	28	48
5.2	¿Se realizan los informes de auditoría correctamente y a su debido tiempo?	11	20	17	48
5.3	¿Se aplican las cuatro primeras “S”?	17	23	8	48
5.4	¿El personal conoce las 5’S?, ha recibido capacitación al respecto?	5	28	15	48
5.5	¿Se aplica la cultura de las 5’S?, se practican continuamente los principios de clasificación, orden y limpieza?	1	18	29	48
5.6	¿Se utiliza el uniforme reglamentario, así como el material de protección diario para las actividades que se llevan a cabo?	2	22	24	48
<i>Suma</i>		43	124	121	288
6	Estructura Lean				
6.1	¿El tiempo de ensamblaje cumple con el tiempo programado?	28	13	7	48
6.2	¿Existen tiempos muertos en el periodo de ensamblaje?	16	25	7	48
6.3	¿El transporte entre operaciones presenta demoras?	17	25	6	48

6.4	¿Existen tiempos muertos de operaciones?	5	28	15	48
6.5	¿Existe un VMS de la interacción de los procesos?	18	17	13	48
6.6	¿Existen evaluaciones de los tiempos de mantenimiento?	16	21	11	48
6.7	¿Análisis del flujo del proceso- cuellos de botella?	33	11	4	48
6.8	¿Se mantiene el actualizado el flujo de los inventarios reales?	7	33	8	48
6.9	¿Mantienen actualizados los indicadores del número de defectuosos?	5	31	12	48
6.10	¿Se evidencia la capacidad de la producción?	18	15	15	48
Suma		163	219	98	480
7	Planeación de la producción				
7.1	¿Hay materias primas, semielaborados o residuos no necesarios en el entorno de trabajo?	8	27	13	48
7.2	¿Mantiene indicadores de productividad del área de ensamblaje?	16	18	14	48
7.3	¿Mantiene relación la productividad y la mano de obra?	14	22	12	48
7.4	¿Tiene relación la demanda del mercado y la planificación de la producción?	20	16	12	48
7.5	¿Se realiza un análisis DAFO como dato preliminar de la planeación de la producción?	28	12	8	48
7.6	¿Menciona en el plan de producción los costes de producción?	15	26	7	48
7.7	¿El método de planeación de la producción contempla la creación de nuevos productos?	14	27	7	48
7.8	¿En la creación de nuevos productos se mantiene la generación de ideas como línea base del desarrollo?	5	31	12	48
7.9	¿Mantiene un modelo de Gestión de Calidad Total TQM con orientación a la planeación de la producción de la línea de ensamblaje?	18	17	13	48
7.10	¿Se mantienen controladas las variables en el proceso de planeación de la producción y el enfoque de mejora continua?	15	22	11	48
Suma		153	218	109	480
TOTAL		<u>774</u>	<u>1010</u>	<u>716</u>	<u>2500</u>

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Tabla 3-4: Matriz de contingencias del diagnóstico situacional

No.	ÍTEMS	C	CP	NC	TOTAL
1	Seleccionar	102	115	71	288
2	Ordenar	129	106	101	336
3	Limpiar	109	120	111	340
4	Estandarizar	75	108	105	288
5	Autodisciplina	43	124	121	288
6	Estructura Lean	163	219	98	480
7	Planeación de la producción	153	218	109	480
TOTAL		774	1010	716	2500

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Tabla 4-4: Matriz de contingencias del diagnóstico situacional en porcentajes

No.	ÍTEMS	C	CP	NC	TOTAL
1	Seleccionar	4.1%	4.6%	2.8%	11.5%
2	Ordenar	5.2%	4.2%	4.0%	13.4%
3	Limpiar	4.4%	4.8%	4.4%	13.6%
4	Estandarizar	3.0%	4.3%	4.2%	11.5%
5	Autodisciplina	1.7%	5.0%	4.8%	11.5%
6	Estructura Lean	6.5%	8.8%	3.9%	19.2%
7	Planeación de la producción	6.1%	8.7%	4.4%	19.2%
TOTAL		31.0%	40.4%	28.6%	100.0%

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

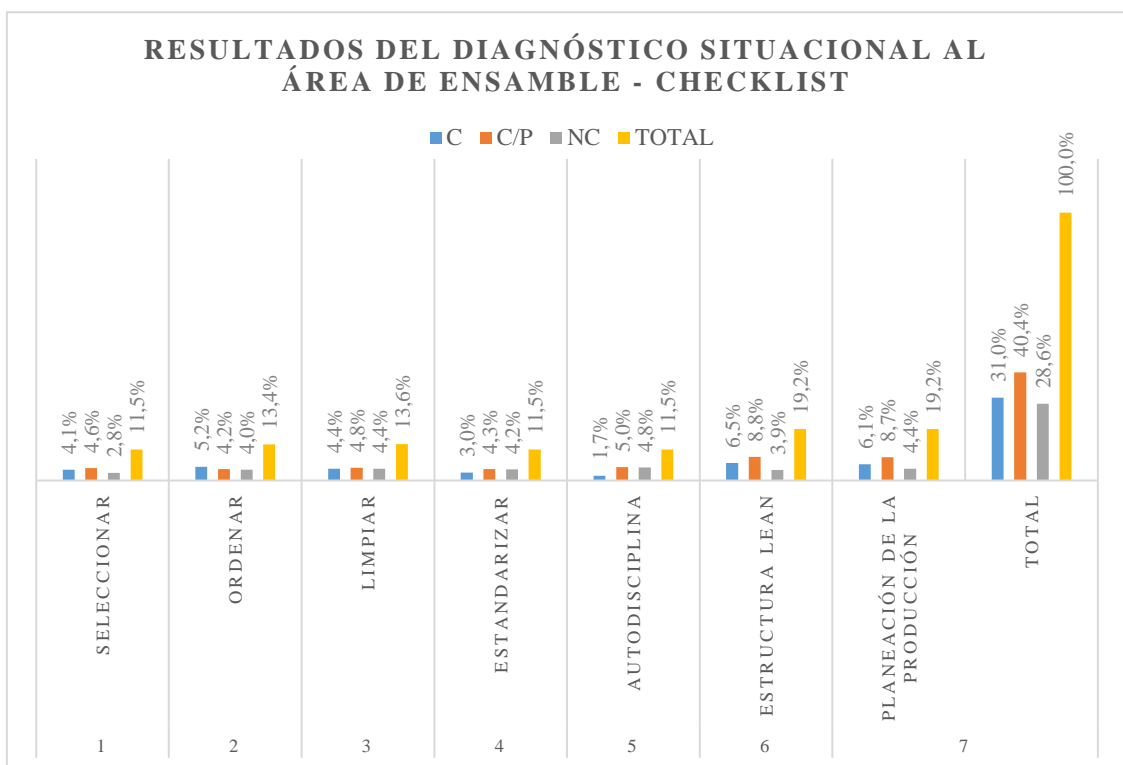


Figura 1-4: Resultados del diagnóstico situacional al área de ensamble - Checklist

Fuente: Tabla 4-4. Matriz de contingencias del diagnóstico situacional en porcentajes

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Análisis e Interpretación:

La utilización de la técnica de Checklist permitió evidenciar que; de los 48 elementos tomados como puntos referentes para efectuar el diagnóstico del buen uso de Lean Manufacturing en el área de ensamble de Ciauto Cía. Ltda., el 40.4% muestran un cumplimiento parcial (CP) en el uso de las herramientas de Lean, el 31.0% de los evaluados resaltan un total cumplimiento (C), y finalmente el 28.6% de estas indican

que se tiene un no cumplimiento (NC) de las herramientas. De esta manera, se obtiene una lectura fácil sobre cuáles deben ser las causas del problema que deben ser atacadas.

4.2.1. Análisis descriptivo de cada componente evaluado

A continuación, se presenta un análisis estadístico descriptivo en el mismo que se obtiene, organiza, presenta y describe el conjunto de datos del análisis de la Lista de Chequeo. En este se analiza los Ítems vinculados con las variables de investigación, que se hallan dentro de cada ítems o herramienta evaluada, que son: Seleccionar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Autodisciplina, Estructura Lean Manufacturing y Planeación de la producción.

- 1. Seleccionar.** – De las 7 herramientas evaluadas, el ítem seleccionar representa el 11.5% del total de importancia, de este el 4.6% exponen un cumplimiento parcial (C/P), el 4.1% muestran un cumplimiento (C) de los puntos evaluados y el 2.8% de los puntos resaltan un no cumplimiento (NC). por lo que se ve necesaria la intervención para clasificar y separar los stocks innecesarios de los necesarios dentro del proceso de ensamble.
- 2. Ordenar.** - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem ordenar representa el 13.4% del total de importancia, de este el 5.2% muestran un cumplimiento (C) de los puntos evaluados, el 4.2% exponen un cumplimiento parcial (CP) y el 4% de los puntos resaltan un no cumplimiento (NC); por lo que se ve necesaria la intervención para situar en forma ordenada todos los elementos que quedan una vez que se ha llevado a cabo la selección.
- 3. Limpiar.** - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem limpiar representa el 13.6% del total de importancia, de este el 4.8% muestran un cumplimiento parcial (CP) de los puntos evaluados, el 4.4% exponen un no cumplimiento (NC) y el 4.4% de los puntos resaltan un cumplimiento (C); por lo que se ve necesaria la intervención para adecuar el entorno de trabajo, incluidas las máquinas y herramientas, lo mismo que pavimentos, paredes y otras áreas de trabajo. Implica inspeccionar el equipo durante el proceso de limpieza. Con la limpieza los trabajadores verifican y conocen las maquinas que utilizan, El Orden y Limpieza reducen el estrés laboral.
- 4. Estandarizar.** - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem estandarizar representa el 11.5% del total de importancia, de este el 4.3% muestran un cumplimiento

parcial (CP) de los puntos evaluados, el 4.2% exponen un no cumplimiento (NC) y el 3% de los puntos resaltan un cumplimiento (C); por lo que se ve necesaria la intervención para pasar a practicar continuamente los tres pasos anteriores siguiendo una serie de normas y frecuencias. En esta fase los operarios tienen que implicarse y ponerse los límites de limpieza y de inspección para realizar acciones de autocontrol, buscando: i) Mantener el estado de limpieza alcanzado; ii) las normas deben contener los elementos necesarios para realizar el trabajo de limpieza, tiempo empleado, medidas de seguridad a tener en cuenta y procedimiento a seguir en caso de identificar algo anormal; y iii) en lo posible se deben emplear fotografías de cómo se debe mantener el equipo y las zonas de cuidado.

- 5. Autodisciplina.** - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem autodisciplina representa el 11.5% del total de importancia, de este, el 5.0% exponen un cumplimiento parcial (CP), el 4.8% muestran un no cumplimiento (NP) de los puntos evaluados y el 1.7% de los puntos resaltan un total cumplimiento (C); por lo que se ve necesaria la intervención ya que se puede realizarse de diferentes maneras: i) Autoevaluación; ii) Evaluación por parte de un superior. iii) Evaluación por parte de un consultor externo. Esto permitirá obtener los siguientes beneficios; a) Fomento de la sensibilidad, el respeto y el cuidado de los recursos de la empresa; b) incremento de la moral en el trabajo; c) el cliente se sentirá más satisfecho ya que los niveles de calidad serán superiores debido a que se han respetado íntegramente los procedimientos y normas establecidas; d) el sitio de trabajo será un lugar donde realmente sea atractivo llegar cada día; y e) el trabajador se disciplina así mismo para mantener vivo el plan, ya que los beneficios y ventajas las ve cada día.
- 6. Estructura Lean.** - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem Estructura Lean representa el 19.2% del total de importancia, de este el 8.8% muestran un cumplimiento parcial (CP) de los puntos evaluados, el 6.5% exponen un cumplimiento (C) y el 3.9% de los puntos resaltan un no cumplimiento (NC); por lo que se ve necesaria la intervención puesto que los resultados evidencian un manejo inadecuado de las herramientas a la perfección, por ende, este involucra la falta de aplicabilidad del sistema y su vinculación directa con la programación de la producción y el control.

7. Planeación de la producción. - De las 7 herramientas evaluadas, el ítem Planeación de la Producción, representa el 19.2% del total de importancia, de este el 8.7% muestran un cumplimiento parcial (CP) de los puntos evaluados, el 6.1% exponen un cumplimiento (C) y el 4.4% de los puntos resaltan un no cumplimiento (NC); por lo que se ve necesaria la intervención puesto que se detecta falencias en la correcta coordinación de los diferentes engranajes que intervienen en la fase de planificación de la producción, y esta es de significativa importancia puesto que es la que permitirá fabricar cada producto de forma óptima y ordenada con los niveles de calidad adecuados en el plazo adecuado. La compañía ensambladora de autos al seguir con estas deficiencias al corto plazo no estará en capacidad de adoptar compromisos de entrega, planificar el transporte, almacenaje, expedición, entre otros., de todos y cada uno de sus productos de forma coordinada.

4.2.2. Análisis inferencial

4.2.2.1. Comprobación de la hipótesis

Un análisis de varianza (ANOVA) prueba la hipótesis mediante el contraste de dos o más variables de investigación (Gutiérrez, 2013). Los ANOVA evalúan la importancia de uno o más factores al comparar las medias de la variable de respuesta en los diferentes niveles de los factores. La hipótesis nula establece que todas las medias de la población evaluada (medias de los niveles de los factores) son iguales mientras que la hipótesis alternativa establece que al menos una es diferente (Ruiz & Cruz, 2016).

El modelo de diseño de experimentos con bloques completamente aleatorizados estudia la influencia de un factor tratamiento (Ta) con (I) niveles en una variable de interés en presencia de una variable extraña. Cuando el diseño se utiliza con eficacia, el cuadrado medio del error en la tabla ANOVA se reduce, y la probabilidad de rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa es evidente.

En ese sentido se procedió a un análisis de varianza mediante un ANOVA utilizando diseño de experimentos con bloques completamente aleatorizados donde se determina el contraste de la variable independiente (Herramientas Lean Manufacturing) con respecto a la variable dependiente (planeación de la producción), tomando como tratamientos los puntos requeridos de implementación (ítems) y como bloques las opciones de respuesta (C, CP y NC).

4.2.2.2. Planteamiento de hipótesis

- Hipótesis nula (**H₀**)

La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos en Ciauto Cía. Ltda., no incide en la técnica de planificación de la producción.

- Hipótesis alternativa (**H_a**)

La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos en Ciauto Cía. Ltda., incide en la técnica de planificación de la producción.

4.2.2.3. Verificación de hipótesis

Para la verificación de la hipótesis se procedió a un análisis de varianza mediante un ANOVA utilizando un diseño de experimentos con bloques completamente aleatorizados donde se determina el contraste de la variable independiente (Herramientas Lean Manufacturing) con respecto a la variable dependiente (planeación de la producción), tomando como:

- **Tratamientos.** - Los ítems de implementación requeridos como son; Seleccionar, Ordenar, Limpiar, Estandarizar, Autodisciplina, Estructura Lean y Planeación de la producción
- **Bloques.** - Las opciones de respuesta como son C (Cumplimiento) CP (Cumplimiento Parcial) y NC (No Cumplimiento).

a. Regla de decisión

- Se acepta la **hipótesis nula** si el valor de Fisher calculado (**F_c**) es **igual o menor** a Fisher tabulado (**F_T**).
- Se acepta la **hipótesis alternativa** si el valor de Fisher calculado (**F_c**) es **igual o mayor** a Fisher tabulado (**F_T**)

En un diseño de bloques completamente al azar se presenta el siguiente modelo estadístico:

$$y_e = \mu + r_i + B_j + E_{ij} \quad (1)$$

Donde: μ : Media global

r_i : Efecto del tratamiento

B_j : Efecto del bloque

E_{ij} : Efecto del error i-ésimo (ij)

El modelo de comprobación de Hipótesis por un diseño de bloques completamente aleatorizados se resume en la siguiente tabla:

Tabla 5-4: Modelo de diseño de bloques completamente aleatorizados

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio (MS)	F_0	F_0 Crítica
Tratamientos	$SS_{Tratamientos}$	a-1	$\frac{SS_{Tratamientos}}{a - 1}$	$\frac{MS_{Tratamientos}}{MS_E}$	Tabla F al 5%
Bloque	SS_{Bloque}	b-1	$\frac{SS_{Bloque}}{b - 1}$		
Error	SS_E	(a-1)(b-1)	$\frac{SS_E}{(a - 1)(b - 1)}$		
Total	SS_T	N-1			

Fuente: Montgomery (2004)

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Las fórmulas para el respectivo cálculo de suma de cuadrados y cuadrado medio se muestran a continuación:

b. Suma de cuadrados del tratamiento

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N} \quad (2)$$

$$SS_{Tratamientos} = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^a Y_i^2 - \frac{y^2}{N} \quad (3)$$

$$SS_{Bloques} = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a Y_j^2 - \frac{y^2}{N} \quad (4)$$

$$SS_E = SS_T - SS_{Tratamiento} - SS_{Bloques} \quad (5)$$

Tabla 6-4: Matriz general de contingencias de la evaluación

No.	Ítems	C	CP	NC	TOTAL
1	Seleccionar	102.00	115.00	71.00	288.00
2	Ordenar	129.00	106.00	101.00	336.00
3	Limpiar	109.00	120.00	111.00	340.00
4	Estandarizar	75.00	108.00	105.00	288.00
5	Autodisciplina	43.00	124.00	121.00	288.00
6	Estructura Lean	163.00	219.00	98.00	480.00
7	Planeación de la producción	153.00	218.00	109.00	480.00
TOTAL		774.00	1,010.00	716.00	2,500.00

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

c. Sumatoria de los cuadrados totales

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b Y_{ij}^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_T = (102^2 + 115^2 + 71^2 + \dots + 109^2) - \frac{(2,500.00)^2}{(3)(7)}$$

$$SS_T = 320,706.00 - 297,619.05$$

$$SS_T = 23,086.95$$

d. Sumatoria de los cuadrados de los tratamientos

$$SS_{Tratamientos} = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^a Y_i^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Tratamientos} = \frac{1}{3} (288^2 + 336^2 + 340^2 + 288^2 + 288^2 + 480^2 + 480^2) - \frac{(2,500.00)^2}{(3)(7)}$$

$$SS_{Tratamientos} = 312,709.33 - 297,619.05$$

$$SS_{Tratamientos} = 15,090.29$$

e. Sumatoria de los cuadrados de los bloques

$$SS_{Bloque} = \frac{1}{N_t} \sum_{i=1}^a Y_i^2 - \frac{y^2}{N}$$

$$SS_{Bloque} = \frac{1}{7} (774^2 + 1010^2 + 716^2) - \frac{(2,500.00)^2}{(3)(7)}$$

$$SS_{Bloque} = 304,547.43 - 297,619.05$$

$$SS_{Bloque} = 6,928.38$$

f. Sumatoria de los cuadrados del error

$$SS_E = SS_T - SS_{Tratamiento} - SS_{Bloque}$$

$$SS_E = 23,086.95 - 15,090.29 - 6,928.38$$

$$SS_E = 1,068.29$$

Los resultados del análisis de suma de cuadrados y cuadrados medios para determinar el F_0 , o F calculado se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 7-4: ANOVA de la determinación de F_0 calculado

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio (MS)	F_0	F_0 Critico
Tratamientos	15,090.29	6	2,515.05	28.25	2.996
Bloque	6,928.38	2	3,464.19		
Error	1,068.29	12	89.02		
Total	23,086.95	20			

Fuente: Tabla 5-4. Modelo de diseño de bloques completamente aleatorizados

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

El F crítico se determina con los grados de libertad de tratamientos sobre los grados de libertad del error, identificados en la tabla de la distribución F (0.05), el mismo que asciende 2,996. (Anexo II)

- Si F calculado $F_c = 28,25 < F$ de la tabla $F_t = 2,996$ aceptamos la Hipótesis nula (H_0) y rechazamos la Hipótesis alternativa (H_1)
- Si F calculado $F_c = 28,25 > F$ de la tabla $F_t = 2,996$, rechazamos la Hipótesis nula (H_0) en favor de la Hipótesis alternativa (H_1)

En virtud de los resultados observados en el cuadro anterior, el valor del estadístico F-Fisher calculado es mayor que el F-Fisher de la tabla, por lo cual cae en la zona de rechazo de la Hipótesis nula (H0), por lo que se procede a aceptar Hipótesis alternativa (H1), la cual indica que: *“La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos en Ciauto Cía. Ltda., incide en la técnica de planificación de la producción”*.

4.2.2.4. Análisis de fiabilidad con Alfa de Cronbach

El Alfa de Cronbach se emplea para verificar la fiabilidad del instrumento utilizado para la toma de datos, este indicador se lo puede obtener aplicando el software estadístico SPSS, R o Excel. Para lo cual se utiliza la encuesta planteada con todas las preguntas o ítems, la misma que determina el nivel de aceptación de las personas encuestadas en la ensambladora de vehículos Ciauto Cia. Ltda.

- **Cálculo del Alfa de Cronbach**

Para el Cálculo del Alfa de Cronbach aplicamos la tabla 8-4, donde se obtiene la varianza de cada ítems y la varianza total para un K=3, y aplicamos la fórmula 6.

$$\alpha = \frac{K}{K - 1} * \left[1 - \frac{\sum V_i}{V_t} \right] \quad (6)$$

Donde:

α (Alfa)

K(Número de ítems)

V_i (Varianza de cada ítems)

V_t (Varianza Total)

Para evaluar los coeficientes de alfa de Cronbach se recomienda considerar los siguientes criterios generales. (Santacruz, 2015)

- Coeficiente alfa >.9 es excelente
- Coeficiente alfa >.8 es bueno
- Coeficiente alfa >.7 es aceptable

- Coeficiente alfa $>.6$ es cuestionable
- Coeficiente alfa $>.5$ es pobre
- Coeficiente alfa $<.5$ es inaceptable

En la siguiente tabla tenemos el número de casos, es decir el número de personas que han respondido a la encuesta, en este caso las 48 respuestas de personas a ser analizadas.

Tabla 8-4: Estadística de fiabilidad con Alfa de Cronbach

Items	C	CP	NC	Total
Seleccionar	102	115	71	288
Ordenar	129	106	101	336
Limpiar	109	138	111	358
Estandarizar	75	108	105	288
Autodisciplina	43	124	121	288
Estructura Lean	163	219	98	480
Planeación de la Prod.	153	218	109	480
Varianza:	1542,244898	2151,55102	1827,38776	Vt
Alfa=	0,8270199			
K=	3			
$\Sigma Vi=$	5521,183673			
Vt=	12306,12245			

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

De la tabla 8-4 se determina el Alfa de Cronbach general, tomando en cuenta todas las preguntas, y aplicando la fórmula seis (6), donde el valor de este indicador es igual a 0,827, siendo un valor bueno según la escala.

Una vez procedida la demostración sobre si la “La implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de vehículos, incide en la técnica de planificación de la producción.”, se procede a identificar exactamente la afectación, a través de un análisis de la planificación vs la producción real, el mismo que tiene como finalidad entender de manera generalizada la situación actual.

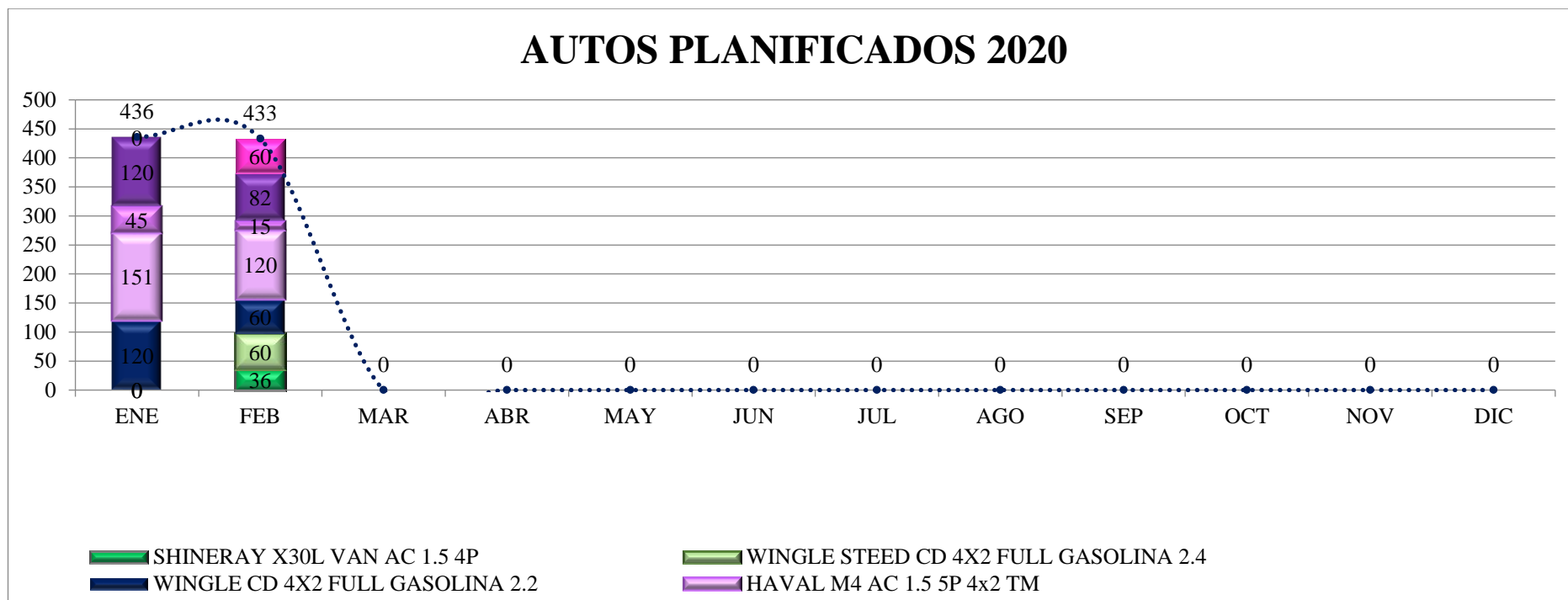


Figura 2-4: Autos planificados para producción

Fuente: Ciauto Cia. Ltda. (2020)

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

En la Figura 2-4, se aprecia la planificación de la producción para los modelos de vehículos más comercializados. Del análisis a los datos se pudo apreciar que el medio utilizado como patrón de planeación de producción no contempla el uso adecuado de las herramientas Lean Manufacturing para su ejecución, bajo este contexto incurre en bajos niveles de materiales disponibles, para sus plazos de entrega, no se establecieron adecuadamente el número de trabajadores y no se especificó la capacidad de producción de las máquinas y los empleados.

4.3.1. Análisis de la planificación vs la producción real

Las Tablas 10- 4 y 11- 4, presentan los registros de unidades planificadas y producidas respectivamente. Los datos evidencian que en los meses de enero y febrero la producción es estable y garantiza un correcto análisis de los datos, considerando que es un análisis preliminar de los históricos de producción y siguen una tendencia a los datos actuales.

Tabla 9-4: Registro de planificados del año 2020

Modelo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
SHINERAY X30L VAN AC 1.5 4P	0	36	76										112
WINGLE STEED CD 4X2 FULL GASOLINA 2.4	0	60	100										160
WINGLE CD 4X2 FULL GASOLINA 2.2	120	60	60										240
WINGLE 7 CD 4X4 FULL DIESEL 2.0	120	82	98										300
WINGLE 7 CD 4X2 FULL DIESEL 2.0	0	60	60										120
HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM	151	120	120										391
HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 AMT	45	15	0										60
TOTAL	436	433	514	0	0	0	0	0	0	0	0	0	869

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Tabla 10-4: Registro de producidos en año 2020

Modelo	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
SHINERAY X30L VAN AC 1.5 4P	0	30											30
WINGLE STEED CD 4X2 FULL GASOLINA 2.4	0	55											55
WINGLE CD 4X2 FULL GASOLINA 2.2	60	50											110
WINGLE 7 CD 4X4 FULL DIESEL 2.0	120	80								120			200
WINGLE 7 CD 4X2 FULL DIESEL 2.0	0	55											55
HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM	146	115											261
HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 AMT	0	0											0
TOTAL	326	385	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	711

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

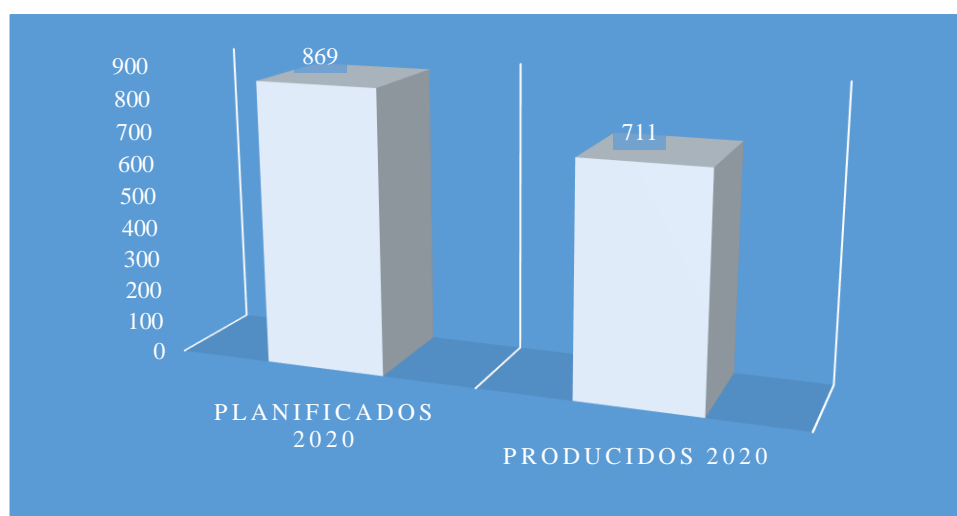


Figura 3-4: Comparativo del plan de producción

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

La Figura 3-4, presenta la variación de unidades planificadas y producidas respectivamente, en la misma se puede evidenciar claramente que se alcanza un 82% de cumplimiento de la planificación de producción versus producción real, siendo trascendental un aspecto a considerar para proponer el diseño de un adecuado modelo estadístico para la planeación de la producción, que subsane cada deficiencia detectada en los diversos análisis realizados.

Para poder separar gráficamente los aspectos más significativos del problema detectados, con el objeto de que se puedan focalizar los esfuerzos en ellos, para mejorar la situación dentro de la planta Ciauto Cía. Ltda. En la tabla 12- 4 se ejecuta un análisis estadístico del proceso de ensamblaje del modelo HAVAL M4. Modelo más significativo en términos de producción y ventas.

Tabla 11-4: Análisis estadístico del proceso de ensamblaje del modelo HAVAL M4

HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM			
Atividades	Tiempo (s)	% Acumulado	Tiempo Acumulado (s)
Ensamble de partes	2,866.066	37,47%	5,068.690
Control de calidad	2,202.628	53,75%	7,271.320
Armado de partes	1,936.080	68,06%	9,207.400
Desempaque y clasificación de piezas	1,809.104	81,43%	11,016.510
Conectado de partes	771.540	87,13%	11,788.050
Tapizado de asientos	667.266	92,06%	12,455.310
Preparado de materiales	422.970	95,19%	12,878.280
Embalaje	350.749	97,78%	13,229.030
Transporte	159.834	98,96%	13,388.870
Lubricación	44.468	99,29%	13,433.330
Calibración	40.542	99,59%	13,473.880
Registro de vehiculos	38.038	99,87%	13,511.910
Levantamiento	17.074	100,00%	13,528.990

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Posteriormente, para un mayor entendimiento, de la Tabla 12- 4, se presenta el Gráfico 4- 4, correspondientes al diagrama de Pareto, donde se muestra que la actividad crítica es el ensamble de partes. El diagrama de Pareto es una herramienta de análisis de datos muy extendida y útil en la determinación de la causa principal durante un proceso de evaluación y resolución de los problemas, permitiendo determinar cuáles son los problemas más grandes e interesarse en su resolución.

En este se analiza los posibles errores que componen los datos (muchos triviales), que están dentro del 80% de errores comunes para el plan de producción.

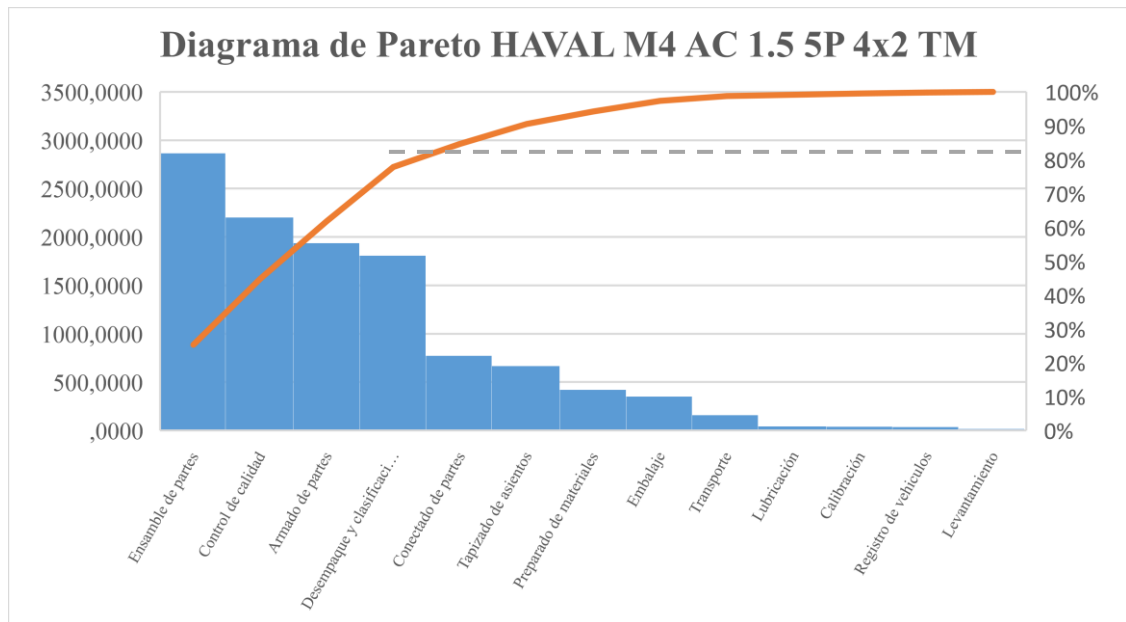


Figura 4-4: Diagrama de Pareto HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM
Elaborado por: (Gavidia, 2021).

En lo que se refiere a la empresa Ciauto Cía. Ltda., al realizar un análisis de todos los modelos, se determinó que el modelo HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM es el que ocupa un mayor tiempo de ensamble, esto se debe principalmente a que el modelo tiene más componentes de materia prima y, por ende, la colocación y ensamble de las piezas toma mayor duración.

Además, hay que tomar en cuenta que las empresas invierten considerablemente en la mejora de la calidad y de los procesos productivos, por tal razón su aplicabilidad se direcciona al modelo más significativo de la organización, como en este caso es el HAVAL M4 AC 1.5 5P 4x2 TM.

Los datos muestran que los mayores problemas se encuentran en la producción a gran escala, es decir, cuando se planifica producir más cantidad de vehículos estos se desacoplan del cumplimiento de la planificación inicial, lo que demuestra la falta de una adecuada aplicación de herramientas Lean Manufacturing en la planeación de la producción eficiente, contemplando la necesidad fehaciente de buscar una mejora de este sistema con la vinculación de las variables Lean Manufacturing en la programación de un adecuado modelo estadístico para que este sea más eficiente y

exacto al momento de ensamblar vehículos y estos presenten los menores errores posibles.

Esto también se contrasta con la comprobación de las hipótesis en el análisis inferencial puesto que el desconocimiento de las herramientas Lean y la aplicación inadecuada de recursos y materiales, muestra un déficit significativo en la planeación de la producción.

4.4. Modelo estadístico para la planificación de la producción en una ensambladora de vehículos, mediante la metodología Lean Manufacturing.

4.4.1. Área de Estudio

La determinación del modelo estadístico para la planeación de la producción se lo hace en el área de ensamble de la línea productiva de vehículos compactos, conformada por diez estaciones de trabajo denominadas: E1, E2, E3, E4, E5, E6, E7, E8, E9, E10, distribuidas en las tres líneas de ensamble que la constituyen siendo estas: Línea TRIM, Línea Chasis, Línea Liberación. (Ver Figura 5-4)

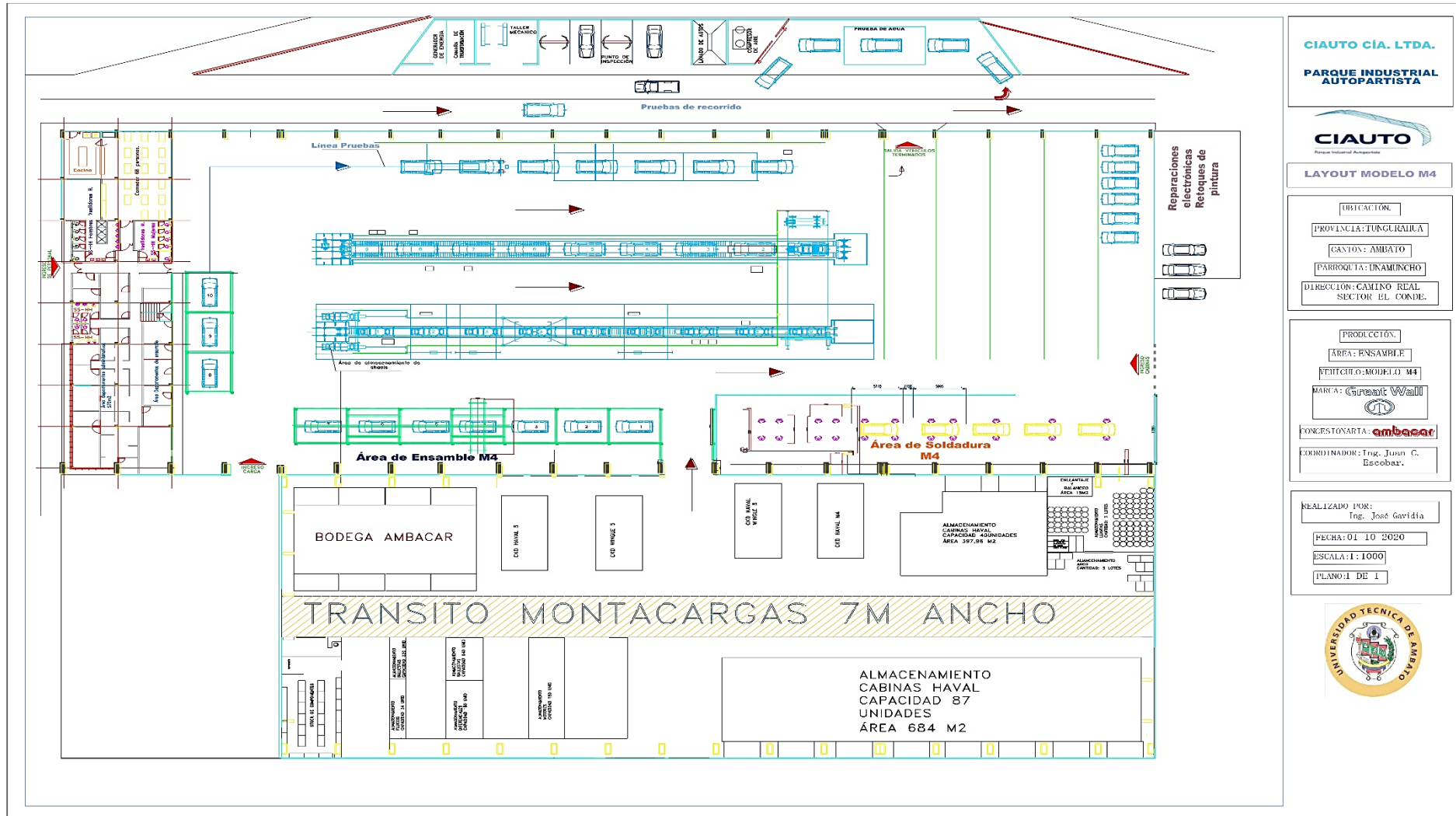


Figura 5-4: Layout del área de ensamble - Modelo M4
 Elaborado por: (Gavidia, 2021).

4.4.2. Producto Ensamblado

En la Figura 6-4, se ilustra el Vehículo Haval M4 AC 1.5 5P 4x2 TM resultante de la línea de ensamble. El proceso se desarrolla a medida que el auto pasa por las diferentes estaciones de trabajo (E1 al E10) dentro del área de ensamble, posteriormente pasa por las estaciones de pruebas de calidad, hasta obtener el producto final que será dispuesto en el mercado nacional.





Figura 6-4: Vehículo Great Wall M4, 1.5
Fuente: CIAUTO, (2019)

4.4.3. Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4

En las instalaciones del área de producción de vehículos compactos de la empresa CIAUTO se ejecutan diversas actividades para obtener el Modelo M4 totalmente armado, para ello a continuación se detalla con la minuciosidad el diagrama de proceso de ensamble del modelo M4, tomando en cuenta que el proceso de ensamble demanda la utilización de herramientas e instrumentos de trabajo calibrados para realizar las operaciones adecuadamente. (Ver anexo C)

A continuación, se describen las actividades que se realizan en el área de ensamble del vehículo M4, tomando en cuenta el orden establecido en el diagrama de proceso.

Tabla 12-4: Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CENTRO DE POSGRAD PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA								
DIAGRAMA DE PROCESO										
EMPRESA:	CIAUTO CIA.LTDA	MÉTODO ACTUAL: <input checked="" type="checkbox"/>	MÉTODO PROPUESTO: <input type="checkbox"/>	HOJA #:	1 de 1					
PRODUCTO ANALIZADO:	VEHICULOS COMPACTOS	AUTO:	MODELO M4	FECHA:	01/10/2020					
DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN	REALIZADO POR:	Ing. José Gavidia	DIAGRAMA #:	1					
ÁREA:	ENSAMBLE	JEFE ENSAMBLE:	Ing. Juan Carlos Escobar	Equipo: Cronómetro	Apr: hh:mm:ss					
ESTACIÓN ANALIZADA:	TODAS	OPERARIO(S) A CARGO:	TODOS							
SUB-ESTACIÓN ANALIZADA:	TODAS	OPERACIÓN:	TODAS	LÍNEA:	TODAS					
Identificación de Operaciones		Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (hh:mm:ss)	Símbolos del Diagrama					Observaciones
Nº	Descripción de Operaciones				●	➔	□	D	▽	
1	Trasladar la cabina a la estación de inicio de la línea TRIM	1	10	0:02:57	○	➔	□	D	▽	
2	Revisar la cabina para verificar que este en perfecto estado.	1	-----	0:02:55	○	➔	□	D	▽	
3	Instalación de componentes de Compuerta	-----	-----	0:35:03	●	➔	□	D	▽	
4	Instalación de componentes de Piso	-----	-----	0:33:02	●	➔	□	D	▽	
5	Instalación de componentes de Trim Motor	-----	-----	0:39:08	●	➔	□	D	▽	
6	Instalación de componentes de Techo	-----	-----	0:36:01	●	➔	□	D	▽	
7	Realizar autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:05:07	○	➔	□	D	▽	
8	Mover la cabina a la siguiente estación	1	1	0:01:53	○	➔	□	D	▽	
9	Realizar el ensamble del tablero	1	-----	0:26:31	●	➔	□	D	▽	
10	Instalar componentes previos a la instalación del tablero	-----	-----	0:12:53	●	➔	□	D	▽	
11	Trasladar el tablero a la cabina	1	3	0:01:57	○	➔	□	D	▽	
12	Montaje del tablero	1	-----	0:27:25	●	➔	□	D	▽	
13	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:03:11	○	➔	□	D	▽	
14	Instalación de componentes del Trim Interno	-----	-----	0:41:03	●	➔	□	D	▽	
15	Instalación de componentes del Trim Externo	-----	-----	0:37:04	●	➔	□	D	▽	
16	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:58	○	➔	□	D	▽	
17	Traslado de la cabina a la siguiente estación	1	2	0:01:55	○	➔	□	D	▽	
18	Instalación de componentes del habitaculo del motor	-----	-----	0:42:17	●	➔	□	D	▽	
19	Instalación de componentes de las puertas del lado RH	-----	-----	1:20:04	●	➔	□	D	▽	
20	Instalación de componentes de las puertas del lado LH	-----	-----	1:17:06	●	➔	□	D	▽	
21	Realizar las actividades previas a la instalación de parabrisas	-----	-----	0:35:04	●	➔	□	D	▽	
22	Colocación de parabrisas y ventoleras	-----	-----	0:45:15	●	➔	□	D	▽	
23	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:03:56	○	➔	□	D	▽	
24	Inspección de toda la unidad antes de que siga a la línea Chasis	1	-----	0:14:57	○	➔	□	D	▽	
25	Trasladar la cabina a la línea chasis mediante el tecla	1	2	0:02:03	○	➔	□	D	▽	
26	Espera hasta que el tecla posicione correctamente a la cabina.	1	-----	0:01:01	○	➔	□	D	▽	
27	Instalación de componentes que se realizan sobre cabeza	-----	-----	1:02:58	●	➔	□	D	▽	
28	Realizar el ensamble del motor	-----	-----	1:07:51	●	➔	□	D	▽	
29	Trasladar el motor ensamblado a la sub estación de tren motriz.	1	4	0:01:56	○	➔	□	D	▽	
30	Ensamble de ejes	-----	-----	0:30:03	●	➔	□	D	▽	
31	Acople de ejes al motor	-----	-----	0:10:04	●	➔	□	D	▽	
32	Montaje del Tren motriz	1	-----	0:50:12	●	➔	□	D	▽	
33	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:56	○	➔	□	D	▽	
34	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecla	1	2	0:01:57	○	➔	□	D	▽	
35	Espera hasta que el tecla posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:58	○	➔	□	D	▽	
36	Instalación de batería, calefacción y fluidos de motor	-----	-----	0:40:09	●	➔	□	D	▽	
37	Instalación de consola Central	-----	-----	0:30:21	●	➔	□	D	▽	
38	Instalación de guardachoque posterior	-----	-----	0:41:11	●	➔	□	D	▽	
39	Instalación de guardachoque delantero	-----	-----	0:36:52	●	➔	□	D	▽	
40	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:53	○	➔	□	D	▽	
41	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecla	1	2	0:01:54	○	➔	□	D	▽	
42	Espera hasta que el tecla posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:59	○	➔	□	D	▽	
43	Instalación de ruedas y guardalodos	-----	-----	0:30:16	●	➔	□	D	▽	
44	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:57	○	➔	□	D	▽	
45	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecla	1	2	0:01:58	○	➔	□	D	▽	

46	Espera hasta que el tecele posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:59	○	⇒	□	●	▽	
47	Instalación de asientos	-----	-----	0:32:10	●	⇒	□	D	▽	
48	Colocación de todos los acabados del vehículo	-----	-----	0:39:11	●	⇒	□	D	▽	
49	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:54	○	⇒	■	D	▽	
50	Inspección de todo el vehículo antes de que siga a la línea Liberación	1	-----	0:10:53	○	⇒	■	D	▽	
51	Trasladar el vehículo a la línea liberación	1	3	0:02:54	○	⇒	□	D	▽	
52	Llenado de fluidos 1	-----	-----	0:40:15	●	⇒	□	D	▽	
53	Cuadratura de carrocería	-----	-----	0:35:36	●	⇒	□	D	▽	
54	Trasladar el vehículo a la siguiente estación	1	1	0:00:58	○	⇒	□	D	▽	
55	Llenado de fluidos 2	-----	-----	0:40:18	●	⇒	□	D	▽	
56	Trasladar el vehículo a la siguiente estación	1	1	0:00:59	○	⇒	□	D	▽	
57	Reparación de problemas encontrados	-----	-----	0:35:10	●	⇒	□	D	▽	
58	Inspección de toda la unidad	1	-----	0:25:04	○	⇒	■	D	▽	
59	Liberación del vehículo	1	4	0:15:02	○	⇒	□	D	▽	

Fuente: Anexo C

Tabla 13-4: Matriz resumen del Diagrama de Proceso de ensamble - Modelo M4

RESUMEN PROCESO						
Actividad		Cantidad	Tiempo (min)	Distancia (m)	Ahorro (\$)	Observaciones
Operación	●	30	19:50:33		
Transporte	⇒	13	0:38:28	37		
Inspección	■	12	1:20:41		
Demora	●	4	0:03:57		
Almacenaje	▽	0	0		
Total			21:53:34	37		

Fuente: Anexo C

4.4.4. Determinación de tiempos de las actividades que se ejecutan en cada estación de trabajo

Para la obtención de los tiempos cronometrados de cada área de trabajo a lo largo de la línea de ensamble en la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., se considera en primera instancia la jornada laboral con la que se maneja la organización, para lo cual el personal se acoge a una jornada de trabajo que comprende un horario de 7am a 4pm, detallada en la Tabla 15-4, de esta se tiene que el tiempo disponible de ensamblaje es de 7 horas con 40 minutos correspondiente a 460 minutos.

Tabla 14-4: Jornada Laboral CIAUTO.

No	Actividad	Hora
1	Ingreso	07:00
2	Periodo de Reunión diaria con el LET	07:10
3	Inicio del Breack (periodo de descanso)	09:45
4	Regreso a los puestos de trabajo	10:00
5	Inicio del periodo de almuerzo	12:45

6	Ingreso a los puestos de trabajo	13:30
7	Fin de jornada	15:50
8	Limpeza de estaciones y entrega de herramientas	16:00
9	Salida	16:00
Total Tiempo Disponible		7h:40 min = 460 min

Elaborado por: Gavidia (2021).

4.4.5. Balance de las líneas de producción en el área de ensamble del Modelo M4

Con el fin de equilibrar las cargas de trabajo en las estaciones del área de ensamble de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., se realiza el balance de las líneas productivas desarrollando en primera instancia el cálculo del takt time y el número de estaciones, para mediante esto realizar el diagrama de equilibrio de la línea de ensamble.

Mediante el método de balanceo de líneas se agrupa las operaciones consecutivamente de tal forma que los operarios tengan una misma cantidad de carga de trabajo con el fin de aprovechar al máximo la mano de obra, la utilización del equipo de manera que el tiempo inactivo de todas las estaciones de trabajo sea el menor posible en la producción del modelo M4, para ello se analiza la jornada laboral de la organización como base fundamental del cálculo del takt time con el propósito de que todas las estaciones se ajusten al plan de producción establecido de doce (12) unidades o vehículos diarios

4.4.5.1. Cálculo del Takt Time

Del análisis precedentemente realizado de la jornada laboral de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., detallada en la Tabla 15-4 se tiene que el tiempo disponible es de 7 horas con 40 minutos correspondiente a 460 minutos utilizables por el operario de cada subestación para cumplir el ensamble de 12 unidades.

$$Takt\ Time(TT) = \frac{Tiempo\ Disponible\ de\ Trabajo}{Demanda\ de\ Producción} \quad (7)$$

$$Takt\ Time(TT) = \frac{460min}{12\ unidades}$$

$$Takt\ Time(TT) = 38,33 \frac{min}{unidad}$$

$$Takt\ Time(TT) = 38:33 \approx 39 \frac{min}{unidad}$$

El Takt Time calculado indica que el ritmo de producción de los automóviles modelo M4 demandado por el cliente debe finalizar en una duración de 38 minutos con 33 segundos mismo que se aproxima a 39 minutos, es decir en este ciclo de tiempo debe salir un auto completamente ensamblado.

4.4.5.2. Análisis de la capacidad instalada en el área de ensamble de CIAUTO

Con el fin de conocer el volumen de producción que la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda., podría generar en base a su infraestructura y adecuación de sus instalaciones, de acuerdo con las máquinas-herramientas con la que cuenta cada estación de trabajo, se realizan diferentes cálculos que ayuden a la empresa a identificar su producción máxima generando una estrategia competitiva acorde a la demanda del cliente.

a) Cálculo del Índice de Productividad (IP)

Para la obtención del IP se emplea la ecuación (8), ocupando los datos presentes en la Tabla 16-4.

Tabla 15-4: Datos para la planificación de producción

No	Actividad	Hora
1	T Laboral (min)	480
2	T Reuniones (min)	20
3	T Disponible (min)	460
4	Unidades Planificadas (u)	12
5	Takt time (minutos)	38
6	Suplementos	1,11
7	TT con suplementos(min)	0:46:37

Elaborado por: Gavidia (2021).

$$IP = \frac{Producción\ diaria}{Tiempo\ disponible} \quad (8)$$

$$IP = \frac{12 \text{ vehiculos}}{460 \text{ minutos}}$$

$$IP = 0.026 \frac{\text{vehiculos}}{\text{minutos}} * \frac{60 \text{ minutos}}{1h}$$

$$IP = 1.56 \frac{\text{vehiculos}}{\text{hora}}$$

Del cálculo se obtiene como resultado que en cada estación de trabajo de la Línea de ensamble de vehículos compactos se debe producir un vehículo completamente armado y un avance del 56% en el ensamblaje del siguiente vehículo en el transcurso de cada hora de la jornada laboral.

b) Cálculo de la Productividad

Para proceder a realizar el respectivo análisis de productividad se toma el valor del número de operarios reales (NOR=30) que están presentes en el área de ensamble del Modelo M4, esto con el fin de establecer un dato verídico con respecto al aprovechamiento que se le da sus recursos existentes en las instalaciones de la organización. Se emplea la ecuación (9) mediante la cual se procede hacer el cálculo pertinente.

$$Productividad = \frac{Producción \text{ diaria}}{NOR} \quad (9)$$

$$Productividad = \frac{12 \text{ vehiculos/dia}}{30 \text{ opererios}}$$

$$Productividad = 0.40 \frac{\text{vehiculos}}{\text{día} * \text{opererios}}$$

$$Productividad = \frac{1.56 \text{ vehiculos/hora}}{30 \text{ operarios}}$$

$$Productividad = 0.052 \frac{\text{vehiculos}}{\text{hora} * \text{operario}}$$

Del cálculo realizado se establece que la productividad diaria es de 0,40 esto significa que un operario es capaz de ensamblar diariamente un 40% de un vehículo esto hablando en términos porcentuales para mayor entendimiento, de igual manera se obtuvo la productividad por hora en la cual se tiene un valor de 0,052, es decir que un

operario realiza aproximadamente un 5.2% del ensamble de un auto por cada hora de la jornada laboral

c) Obtención de la Capacidad Instalada (CI)

Con los cálculos previos realizados se procede a efectuar el respectivo análisis de la Capacidad Instalada, para ello se emplea la ecuación (10).

$$CI = \frac{\text{vehículos}}{\text{min}} * \text{min diarios trabajados} * \text{dias trabajados} \quad (10)$$

$$CI = 0.026 \frac{\text{vehículos}}{\text{min}} * 460 \text{ min} * 5 \text{ dias}$$

$$CI = 59,8 \frac{\text{vehículos}}{\text{semanales}}$$

$$CI = 59,8 \frac{\text{vehículos}}{\text{semanales}} * \frac{1 \text{ semana}}{5 \text{ días}}$$

$$CI = 11.96 \frac{\text{vehículos}}{\text{diarios}}$$

Del cálculo realizado se obtiene que la Capacidad Instalada en la Línea de ensamble de vehículos compactos es de 59,8 vehículos/semanales, esto significa que la ensambladora en base a sus recursos, equipamiento e infraestructura está en la capacidad de ensamblar el 50% de un Modelos M4 semanalmente. Del cálculo desarrollado para conocer la CI diaria se obtiene como resultado 11,96 \approx 12 vehículos/diarios, (6 Modelos M4) este valor ratifica que el plan de producción fijado por el coordinador de ensamble para el Modelos M4 está bien dispuesto.

4.4.6. Modelo Estadístico de Programación Lineal

Existen varias alternativas de solución para encontrar el plan de producción ideal, pues ahora se empieza a trabajar con el método matemático de Hansmann, F. y Hess, ya que es el modelo que más se acopla con la realidad del proceso de ensamble de la empresa, en donde se comienza definiendo cada uno de los parámetros o variables que intervienen en este problema, los cuales se aprecian en el siguiente cuadro.

Tabla 16-4: Interpretación de Variables

No.	Variable	Interpretación
1	$t =$	Indica el número de periodos, $t = 1, 2, \dots, T$.
2	$C_t^W =$	Costo de un trabajador en el periodo t .
3	$C_t^C =$	Costo de contratar un trabajador en el periodo t
4	$C_t^D =$	Costo de despedir a un trabajador en el periodo t
5	$C_t^I =$	Costo de mantener una unidad en inventario en el periodo t
6	$C_t^F =$	Costo del faltante de una unidad en el periodo t .
7	$P_t =$	Número de unidades producidas en el periodo t
8	$W_t =$	Número de trabajadores en el periodo t .
9	$C_t =$	Número de trabajadores contratados en el periodo t .
10	$D_t =$	Pronóstico de la demanda en el periodo t
11	$I_t =$	Número de unidades en inventario en el periodo t
12	$F_t =$	Número de unidades faltantes en el periodo t
13	$n_t =$	Número de unidades que realiza un trabajador en el periodo t

Elaborado por: Gavidia (2021).

El objetivo de este modelo es minimizar cada uno de los costos que intervienen en la producción, por lo cual se procede a armar la siguiente función objetivo, donde intervienen cada uno de los costos para así optimizar cada uno de los recursos de la Ensambladora de vehículos Ciauto Cía. Ltda.

$$\text{minimizar} = \sum_{t=1}^T C_t^W * P_t + C_t^C * C_t + C_t^D * D_t + C_t^I * I_t + C_t^F * F_t \quad (11)$$

A continuación, se procede a armar cada una de las restricciones vitales para el modelo de programación lineal, ya que dichas restricciones son de gran ayuda para la respectiva solución del problema.

1. Se calcula el número de unidades que se puede producir en cada periodo, y esto con la ayuda de multiplicar el número de unidades que una persona puede realizar en un mes, por la variable del número de trabajadores disponibles en el mes.

$$P_t \leq n_t * W_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (12)$$

2. Se calcula el número de trabajadores necesarios en cada periodo, y esto mediante la suma de los trabajadores al inicio del año, más el número de trabajadores contratados, menos el número de trabajadores despedidos en el mes, lo que se detalla a continuación.

$$W_t = W_{t-1} + C_t - D_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (13)$$

3. Finalmente, se encuentra el dato del número de inventario que va a existir en cada mes del año 2019, y esto a través de la operación algebraica del número de inventario en existencia, menos el número de inventario faltante, más la producción en cada mes y menos la demanda de unidades estipuladas para el año 2020.

$$I_t - F_t = I_{t-1} - F_{t-1} + P_t - D_t; \quad 1 \leq t \leq T \quad (14)$$

Donde I_{t-1} y F_{t-1} son inventario inicial y ordenes atrasadas respectivamente, además cabe mencionar que todas estas variables se deben mostrar en forma entera positiva.

4.4.7. Plan agregado en ensamble

El proceso para obtener el Modelo M4 totalmente armado para ello se establece el tipo de producción apropiada para los 12 meses del año 2020 que optimice todos sus recursos y genere menos costos. Con una demanda con variación estacional, se establece trabajar inicialmente con 30 operarios, además se determina los costos de producción para el plan agregado, los que se muestran en la Tabla 23-4.

La función objetivo para el Modelo M4 se la plantea a través de la ecuación (15), utilizando para las constantes la información detallada en la Tabla 22-4. Una vez planteada la función objetivo, se procede a diseñar cada una de las restricciones, armadas dentro del programa Lingo 18. En la Figura 7-4, se presenta la codificación del modelo matemático, donde primero se muestra la declaración de variables de tipo vectorial y matricial, posterior a ello se les asigna valores a las constantes del modelo y luego se plantea la función objetivo; las restricciones para conocer la producción, luego la del número de trabajadores y por último la del número de inventario total de cada mes se presentan al final.

Tabla 17-4: Datos de producción al Año 2020 para el proceso de ensamble del modelo M4

Demanda	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	146	115	120	123	148	116	150	122	120	150	120	120
Número de días hábiles	23	20	21	22	23	20	23	22	21	23	21	22

Elaborado por: Gavidia (2021).

Para encontrar el número de unidades que un trabajador puede realizar en un día, se utiliza el tiempo estándar del proceso, para luego realizar la siguiente regla de tres, tal como se la calculó anteriormente en los planes de producción tradicionales para el proceso de ensamble del Modelo M4, se muestra a continuación.

30 operarios durante 0.641 horas ensamblan 1 unidad del Modelo M4. ¿Cuántas unidades del Modelo M4 ensamblara un operario en 7h:40 min = 7,67h?

Operarios	Horas	Ensamble M4
------------------	--------------	--------------------

30	0.641	1
----	-------	---

1	8	x
---	---	---

$$30 * \frac{0.364}{7.67} = \frac{1}{x} ; \frac{19.23}{7.67} = \frac{1}{x} \approx 0.40 \frac{M4}{día}$$

Luego calculamos los días disponible por mes, que resulta del producto días hábiles por 50%, este número multiplicamos por el número de unidades del Modelo M4 que realiza un operario en un día, y se obtiene el total de unidades que un trabajador puede producir en un mes.

Tabla 18-4: Número de unidades que ensambla un trabajador al mes, del Modelo M4

Detalles\Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
# de unidades que realiza 1 trabajador en un día	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
# de días disponibles en cada mes	11.5	10.0	10.5	11.0	11.5	10.0	11.5	11.0	10.5	11.5	10.5	11.0
# de unidades que 1 trabajador realiza en el mes (nt)	5	4	4	4	5	4	5	4	4	5	4	4

Elaborado por: Gavidia (2021).

4.4.8. Resolución con el método de programación lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4

Una vez que se conoce cada uno de los datos que forman parte de la producción con sus respectivas variables, se comienza a armar el modelo de programación lineal dentro del programa Lingo 18.

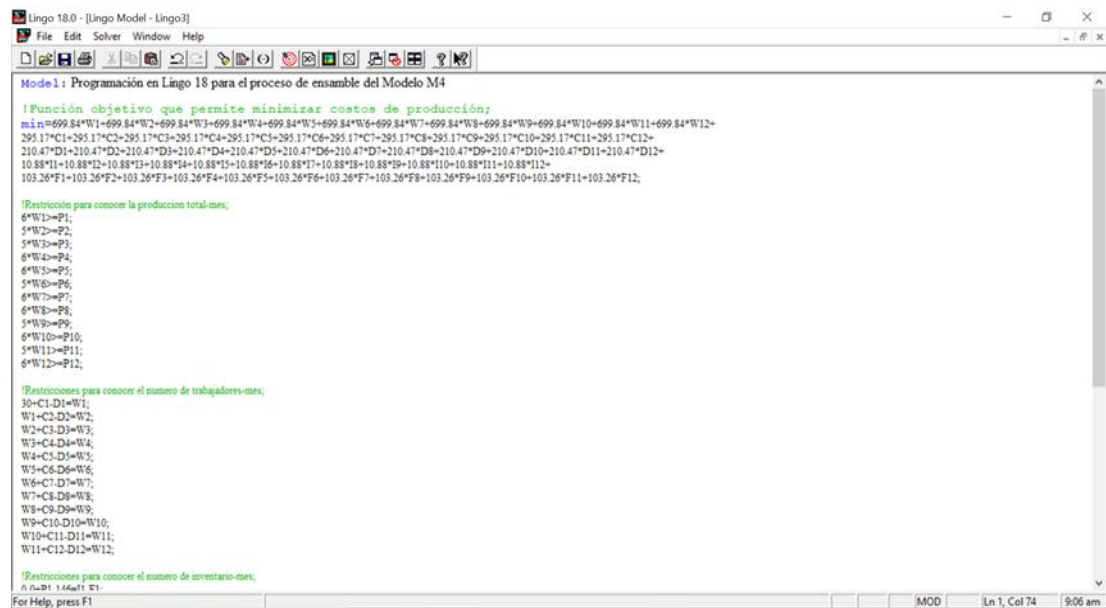


Figura 7-4: Programación en Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

La Figura 8-4 muestra a detalle la transcripción de la función objetivo dentro del programa Lingo 18.

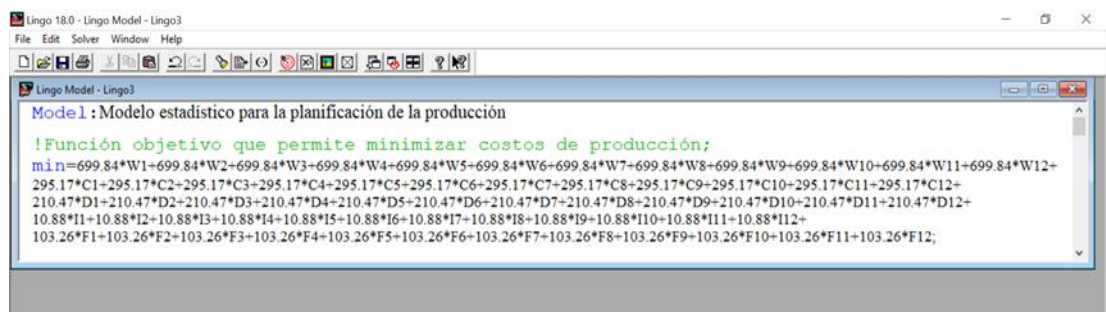


Figura 8-4: Función Objetivo en Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

Luego de armar la función objetivo en el programa, se procede a escribir cada una de las restricciones planteadas en el modelo matemático que se muestra a continuación.

1. Cálculo de producción en cada mes.

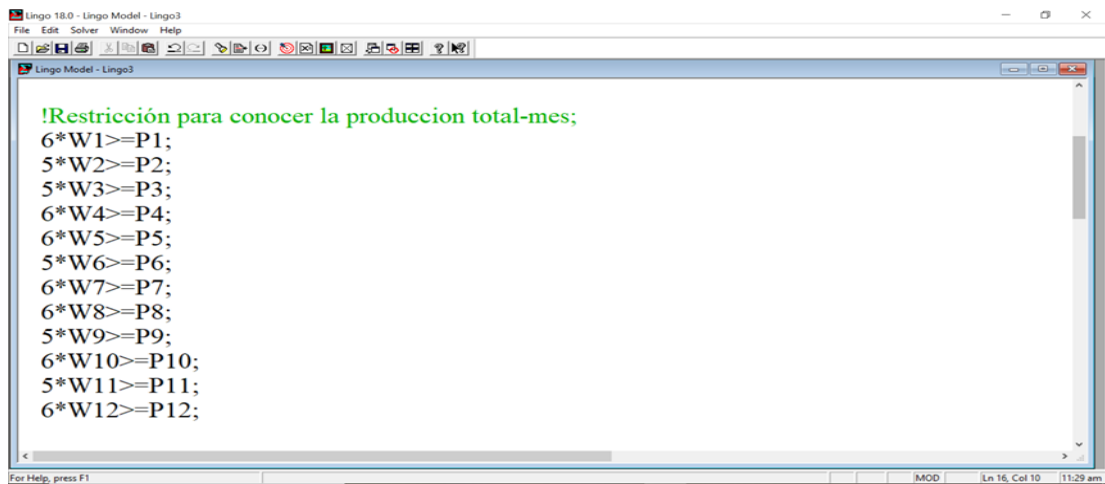


Figura 2-4: Restricción 1 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

2. Cálculo de trabajadores en cada mes.

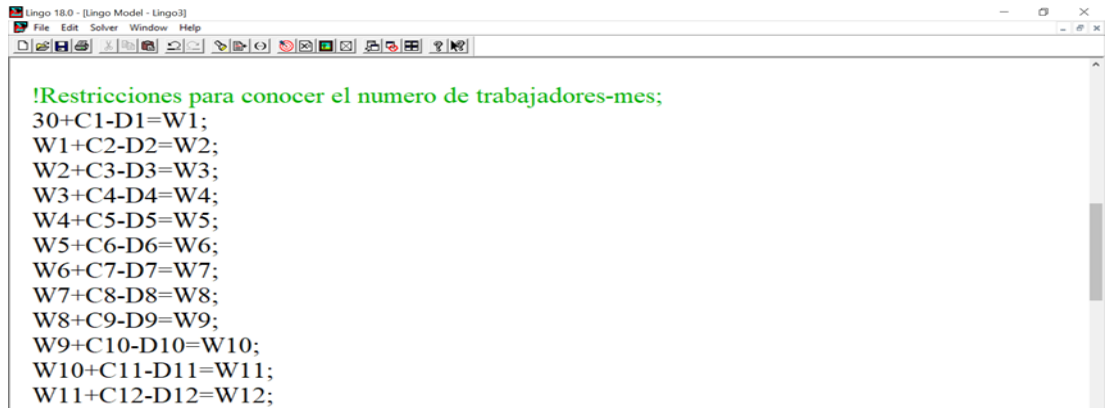


Figura 3-4: Restricción 2 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

3. Cálculo de inventario en cada mes.

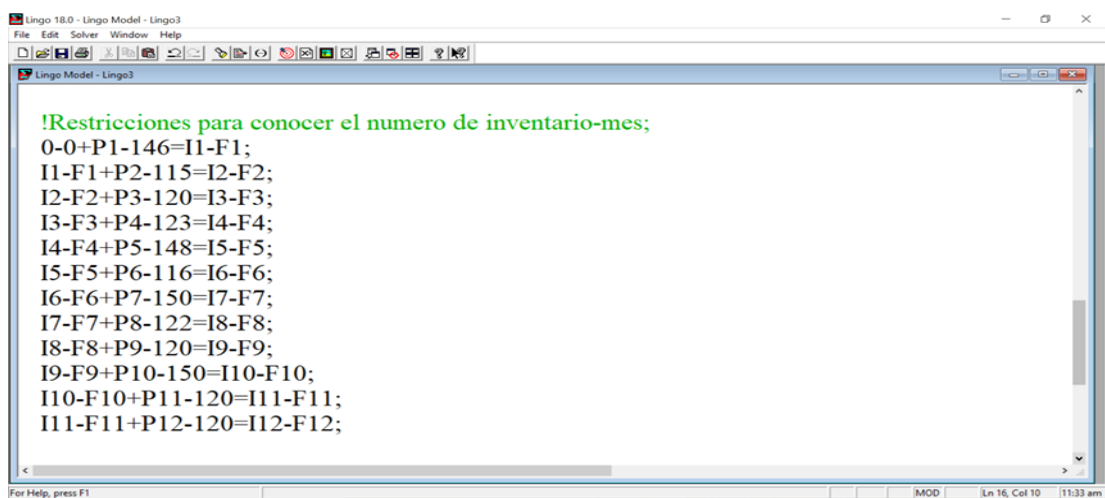


Figura 4-4: Restricción 3 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

4. Programar las variables a datos enteros.

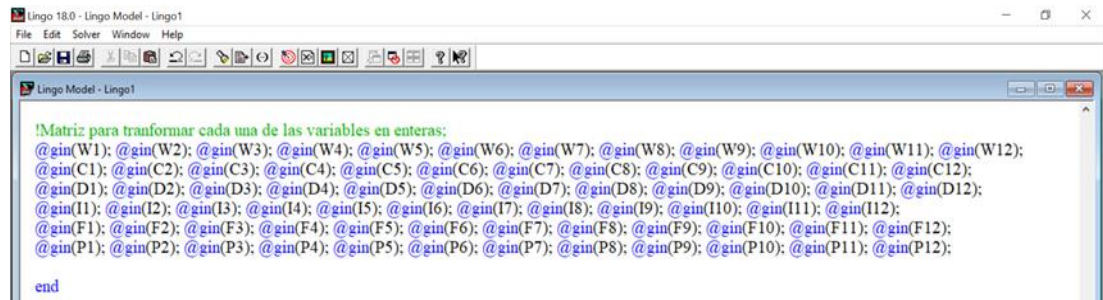


Figura 5-4: Transformar variables en valores enteros proceso de ensamble del Modelo M4

Fuente: Lingo 18

4.4.9. Resultados con el Método de Programación Lineal para el proceso de ensamble del Modelo M4

Tabla 19-4: Respuesta de Lingo 18 para el proceso de ensamble del Modelo M4

Resultados del Programa	Observaciones
<pre> Global optimal solution found. Objective value: 198052.5 Objective bound: 198052.5 Infeasibilities: 0.000000 Extended solver steps: 766 Total solver iterations: 6042 Elapsed runtime seconds: 0.37 Model Class: FILP Total variables: 72 Nonlinear variables: 0 Integer variables: 72 Total constraints: 37 Nonlinear constraints: 0 Total nonzeros: 189 Nonlinear nonzeros: 0 </pre>	<p>En esta parte se muestra la solución de la función objetivo, Costo total de Producción al año que es de \$198.052,50; además se detalla el número de pasos que se aplica para dar la solución que es de 766 pasos, 72 variables y el número de iteraciones que es 6042</p>
<pre> Elapsed runtime seconds: 0.37 Model Class: FILP Total variables: 72 Nonlinear variables: 0 Integer variables: 72 Total constraints: 37 Nonlinear constraints: 0 Total nonzeros: 189 Nonlinear nonzeros: 0 Variable Value Reduced Cost W1 25.00000 699.8400 W2 23.00000 699.8400 W3 23.00000 699.8400 W4 23.00000 699.8400 W5 23.00000 699.8400 W6 24.00000 699.8400 W7 24.00000 699.8400 W8 24.00000 699.8400 W9 23.00000 699.8400 W10 23.00000 699.8400 W11 23.00000 699.8400 W12 20.00000 699.8400 </pre>	<p>La segunda parte, da a conocer el número de operarios que deben existir en cada mes, expresado en la columna de Value, y el valor que debemos reducir para alterar la columna Value, expresada en la columna Reduced Cost. Que es el costo de un trabajador por mes, \$ 699.84.</p>

Variable	Value	Reduced Cost
C1	0.000000	295.1700
C2	0.000000	295.1700
C3	0.000000	295.1700
C4	0.000000	295.1700
C5	0.000000	295.1700
C6	1.000000	295.1700
C7	0.000000	295.1700
C8	0.000000	295.1700
C9	0.000000	295.1700
C10	0.000000	295.1700
C11	0.000000	295.1700
C12	0.000000	295.1700

La tercera llave enseña, el número de operarios contratados en cada periodo, expresado en la columna Value, y los costos a reducir en la columna Reduced Cost. Que es el costo de contratar y capacitar un trabajador por mes. \$ 295.17

Variable	Value	Reduced Cost
D1	5.000000	210.4700
D2	2.000000	210.4700
D3	0.000000	210.4700
D4	0.000000	210.4700
D5	0.000000	210.4700
D6	0.000000	210.4700
D7	0.000000	210.4700
D8	0.000000	210.4700
D9	1.000000	210.4700
D10	0.000000	210.4700
D11	0.000000	210.4700
D12	3.000000	210.4700

La cuarta llave enfatiza, el número de operarios despedidos en cada mes, mostrado en la columna Value con sus respectivos costos a reducir. \$210.47

Variable	Value	Reduced Cost
I1	4.000000	10.88000
I2	4.000000	10.88000
I3	0.000000	10.88000
I4	12.00000	10.88000
I5	2.000000	10.88000
I6	6.000000	10.88000
I7	0.000000	10.88000
I8	22.00000	10.88000
I9	17.00000	10.88000
I10	5.000000	10.88000
I11	0.000000	10.88000
I12	0.000000	10.88000

La quinta parte expresa, el número de Modelos M4 que deben existir en inventario, el cual se indica en la columna de Value con su respectivo valor para reducir los costos. \$10.88

Variable	Value	Reduced Cost
F1	0.000000	103.2600
F2	0.000000	103.2600
F3	1.000000	103.2600
F4	0.000000	103.2600
F5	0.000000	103.2600
F6	0.000000	103.2600
F7	0.000000	103.2600
F8	0.000000	103.2600
F9	0.000000	103.2600
F10	0.000000	103.2600
F11	0.000000	103.2600
F12	0.000000	103.2600

La sexta llave indica, los productos que pueden quedar sin entregar en cada mes, cuyo valor se muestra en la columna de Value, y el costo por inventario agotado. \$103.26 por mes.

Variable	Value	Reduced Cost
P1	150.0000	0.000000
P2	115.0000	0.000000
P3	115.0000	0.000000
P4	136.0000	0.000000
P5	138.0000	0.000000
P6	120.0000	0.000000
P7	144.0000	0.000000
P8	144.0000	0.000000
P9	115.0000	0.000000
P10	138.0000	0.000000
P11	115.0000	0.000000
P12	120.0000	0.000000

La séptima parte enseña, la producción que debería darse para satisfacer cada una de las restricciones ya plantadas, y así el costo de producción sea el óptimo. Columna Value.

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: Lingo 18

Para este modelo se prepara una tabla que indica los costos de producción que intervienen en los meses del año 2020.

Tabla 20-4: Matriz de Costos de Producción para el Modelo M4

Características\Meses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Costo de un trabajador en el mes (Wt)	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84	\$ 699,84
Costo de contratación y capacitación (Ct)	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17	\$ 295,17
Costo de despido (Dt)	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47	\$ 210,47
Costo de mantenimiento del inventario (It)	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88	\$ 10,88
Costo marginal del inventario agotado (Ft)	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26	\$ 103,26

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Tabla 21-4: Costos de producción en ensamble Modelo M4

No	Restricción	Costo
1	(Wt) Costo de un trabajador al mes	\$ 699,84 /trabajador
2	(Ct) Costo de contratación y capacitación	\$ 295,17 /trabajador
3	(Dt) Costo de despido	\$ 210,47 /trabajador
4	(It) Costo de mantenimiento del inventario	\$ 10,88 /modelo
5	(Ft) Costo marginal del inventario agotado	\$ 103,26 /modelo

Elaborado por: Gavidia (2021).

Reemplazando los valores de Costo de la tabla 22-4, se obtiene el **Modelo Estadístico de Programación Lineal** para minimizar los costos de producción del Modelo M4

$$\begin{aligned}
 \text{minimizar} = & 699,84 * \left(\sum_{t=1}^{12} W_t \right) + 295,17 * \left(\sum_{t=1}^{12} C_t \right) + 210,47 * \left(\sum_{t=1}^{12} D_t \right) + 10,88 * \left(\sum_{t=1}^{12} I_t \right) \\
 & + 103,26 * \left(\sum_{t=1}^{12} F_t \right) \qquad (15)
 \end{aligned}$$

4.4.10. Resumen de los Resultados para el proceso de ensamble del Modelo M4

Una vez mostrada la respuesta del programa lingo 18, se procede a realizar un resumen de esta en la Tabla 23-4, la cual muestra la: producción, número de trabajadores, contratos, despidos, inventarios y faltantes requerido en cada mes, para que el costo total de este plan en el año 2020 sea de \$ 198.052,50.

Tabla 22-4: Datos de producción proceso de ensamble del Modelo M4, 2019

Mes	Producción	Trabajadores	Contratación	Despido	Inventario	Faltantes
Enero	150	25	0	5	4	0
Febrero	115	23	0	2	4	0
Marzo	115	23	0	0	0	1
Abril	136	23	0	0	12	0
Mayo	138	23	0	0	2	0
Junio	120	24	1	0	6	0
Julio	144	24	0	0	0	0
Agosto	144	24	0	0	22	0
Septiembre	115	23	0	1	17	0
Octubre	138	23	0	0	5	0
Noviembre	115	23	0	0	0	0
Diciembre	120	20	0	3	0	0
<u>Costo total</u>						
						<u>198.052,50</u>

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

4.5. Modelo de Regresión Lineal Simple.

Este se utiliza con mayor frecuencia porque es mucho más simple de modelar

$$y = mx + b \quad (16)$$

Además, depende de los objetivos de estudio, ejemplo, (encontrar la relación de las variables), a mayor Calidad mayor Producción, es una relación directamente proporcional.

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i; i = 1, 2, 3 \dots \dots n \quad (17)$$

Donde ϵ_i es un error no observable.

Regresión significa ir hacia atrás, volver al origen, donde la variable independiente “x” se llama regresor porque de alguna manera contribuye a dar origen a la variable dependiente “y”.

Tal que $\epsilon_i; i = 1, 2, 3, \dots, n$, son variables aleatorias con esperanza igual a cero, $E[\epsilon_i] = 0$, y varianza $V[\epsilon_i] = \sigma^2$, además con Covarianza $Cov[\epsilon_i, \epsilon_j] = 0, \forall i \neq j$

Por lo que: $V[\epsilon_1] = V[\epsilon_5]$, Es decir que no tengo razón para sospechar que la varianza de ϵ_1 sea distinta que la varianza ϵ_5 , o sea normalmente tiene la misma varianza.

Si $Cov[\epsilon_i, \epsilon_j] = 0$, significa que ellos no se afectan mutuamente, es decir no hay ninguna asociación lineal, por ejemplo, entre ϵ_1 y ϵ_7 no hay ningún tipo de asociación Lineal.

Para $X_i, i = 1,2,3,\dots,n$, son constantes conocidas, además $Y_i, i = 1,2,3,\dots,n$ que resulta de sumar una constante a una variable aleatoria, entonces también es una variable aleatoria. Por ende:

$$E[y_i] = E[\beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i] = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (18)$$

$$V[y_i] = V[\beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i] = V[\epsilon_i] = \sigma^2 \quad (19)$$

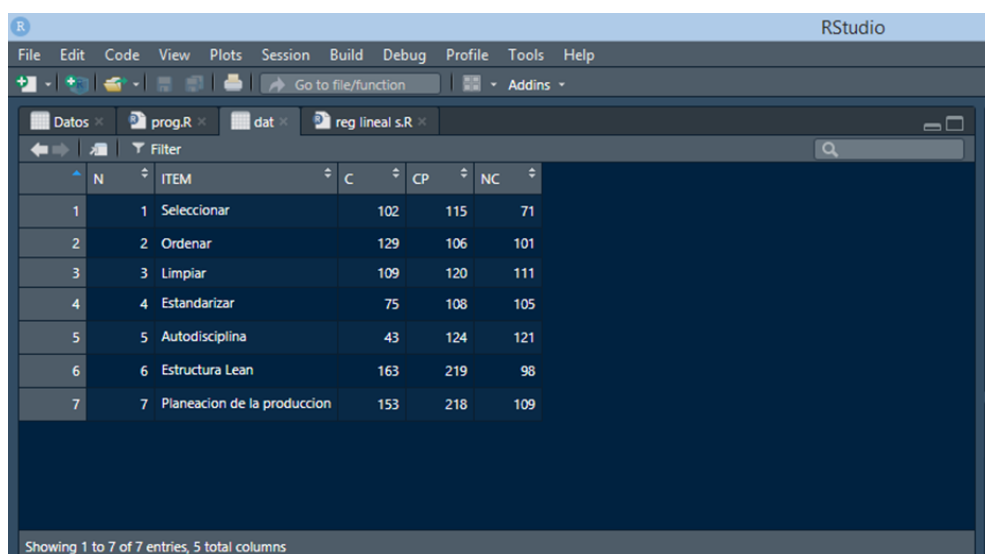
Por lo tanto " ϵ " y " y " son variables aleatorias, además β_0 y β_1 son constantes desconocidas también llamadas parámetro.

Donde β_0 es la intersección de la recta en el eje "y" y, β_1 es la pendiente. (Ponsot, 2020)

4.5.1. Determinación del Modelo Estadístico en R

Ingresamos los datos en R- Estudio

Tabla 23-4: Cumplimiento de las herramientas Lean Manufacturing – Ensamble M4



N	ITEM	C	CP	NC
1	1 Seleccionar	102	115	71
2	2 Ordenar	129	106	101
3	3 Limpiar	109	120	111
4	4 Estandarizar	75	108	105
5	5 Autodisciplina	43	124	121
6	6 Estructura Lean	163	219	98
7	7 Planeacion de la produccion	153	218	109

Elaborado por: (Gavidia, 2021)

Fuente: R – Studio

Script - Análisis del Cumplimiento de las Herramientas Lean Manufacturing en R.

```
solución: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
library(ggplot2)
library(tidyverse)
### Lectura de datos Herramientas Lean Manufacturing

dat <- read.table("D:/Documentos/escritorio/MAESTRIA MATE UTA/MODULO IX/ProyTesis/LMCiautoCialtda.csv",
                 header = T, sep = ";")

# Juntando C y C.P como SC (dicotomizando en SC/NC)
# También podría hacerse juntando C.P y NC como PNC
dat$SC <- dat$C+dat$C.P
### Sacando cuentas
dat$T <- dat$C+dat$C.P+dat$NC # Total de cumplimiento
# Porcentajes por cada ITEM
dat$p_C <- round(dat$C/dat$T,2)
dat$p_C.P <- round(dat$C.P/dat$T,2)
dat$p_NC <- round(dat$NC/dat$T,2)
```

```
### Transformando columnas en variables
dat_t <- dat %>%
  select(ITEMS, p_C, p_C.P, p_NC) %>%
  gather(p_C, p_C.P, p_NC, key = "Cumplimiento",
        value = "Porcentaje")
dat_t

### Graficando
p <- ggplot(dat_t, aes(x=ITEMS, y=Porcentaje,
                     fill=Cumplimiento)) +
  geom_bar(position="fill", stat="identity") +
  geom_text(aes(label = paste0(Porcentaje, "%")),
            position = position_fill(vjust = 0.5),
            size = 2)

p
png("fg_prop.png", width = 16, height = 12,
    units = "cm", res = 300)

p
dev.off()

### Regresión logística
# SC: Éxito, NC: Fracaso
mod <- glm(cbind(SC, NC)~ITEMS, data = dat,
          family = binomial(link = 'logit'), x=T)
mod
summary(mod)
```

```
### Calculando las posibilidades
res <- exp(mod$coefficients)
res
### Imprimiendo las conclusiones
for (i in 2:NROW(res)) {
  print(paste0(
    "El item ", substr(names(res)[i], 6, 6), " ",
    "multiplica las posibilidades de cumplimiento en ",
    round(res[i],2), " veces con respecto al item A. ",
    "Esto es: ",ifelse(res[i]<1, "disminuyen", "aumentan"))
  )
}
# Agregando la probabilidad predicha de cumplimiento
dat$Pred_SC <- predict(mod, type = "response")
dat
```

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R – Studio

Resultados obtenidos en R-Studio

```
[1] "El item B multiplica las posibilidades de cumplimiento en 0.76 veces con respecto al
item A. Esto es: disminuyen"
[1] "El item C multiplica las posibilidades de cumplimiento en 0.68 veces con respecto al
item A. Esto es: disminuyen"
[1] "El item D multiplica las posibilidades de cumplimiento en 0.57 veces con respecto al
item A. Esto es: disminuyen"
[1] "El item E multiplica las posibilidades de cumplimiento en 0.45 veces con respecto al
item A. Esto es: disminuyen"
[1] "El item F multiplica las posibilidades de cumplimiento en 1.28 veces con respecto al
item A. Esto es: aumentan"
[1] "El item G multiplica las posibilidades de cumplimiento en 1.11 veces con respecto al
item A. Esto es: aumentan"
```

Tabla 24-4: Cumplimiento Herramientas Lean Manufacturing Modelo M4

	ITEMS	C	C.P	NC	SC	T	p_C	p_C.P	p_NC	Pred_SC
1	A	102	115	71	217	288	0.35	0.40	0.25	0.7534722
2	B	129	106	101	235	336	0.38	0.32	0.30	0.6994048
3	C	109	120	111	229	340	0.32	0.35	0.33	0.6735294
4	D	75	108	105	183	288	0.26	0.38	0.36	0.6354167
5	E	43	124	121	167	288	0.15	0.43	0.42	0.5798611
6	F	163	219	98	382	480	0.34	0.46	0.20	0.7958333
7	G	153	218	109	371	480	0.32	0.45	0.23	0.7729167

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R - Studio

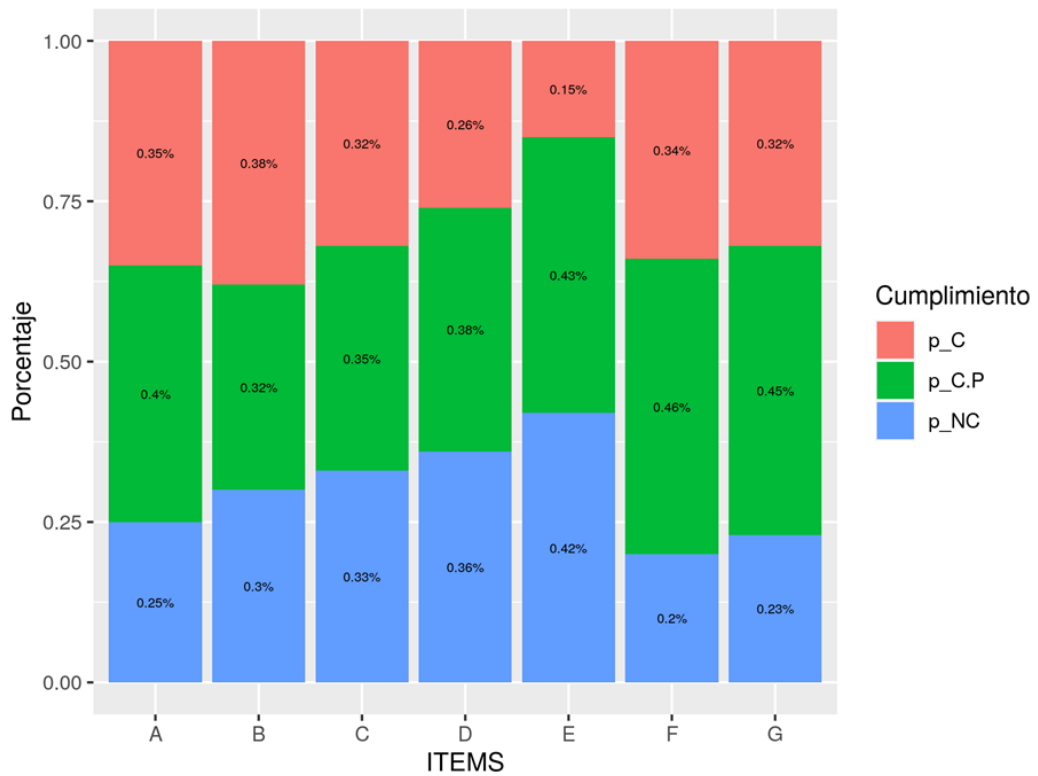


Figura 6-4:: Cumplimiento Herramientas Lean Manufacturing Modelo M4

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R - Studio

Tabla 25-4: Porcentajes totales de cumplimiento de las Herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamble del Modelo M4.

Items	Total %
Seleccionar	11,5
Ordenar	13,4
Limpiar	13,6
Estandarizar	11,5
Autodisciplina	11,5
Estructura Lean M.	19,2
Planeación de la Producción	19,2

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Análisis de las Herramientas Lean Manufacturing en R- Studio

```

Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# Porcentajes totales de cumplimiento de la Herramientas Lean M.
library(ggplot2)
data<-read.table("D:/Documentos/escriptorio/MAESTRIA MATE UTA/MODULO IX/HLMCiauto.csv",
                header=TRUE,
                dec=".",
                sep=";",
                stringsAsFactors = TRUE)

data

str(data)
# Boxplot
ggplot(data, aes(HLM, Total)) +
  geom_boxplot()
mod <- lm(Total~HLM, data=data, x=T)
mod
mod$x
summary(mod)
anova(mod)
contrasts(data$HLM)

```

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R – Studio

Resultados

```

Call:
lm(formula = Total ~ HLM, data = data, x = T)

Coefficients:
(Intercept)      1.150e+01      1.900e+00      2.100e+00      2.892e-15      4.615e-15      7.700e+00
      HLMG
      7.700e+00

> mod$x
(Intercept) HLMB HLMC HLMD HLME HLMF HLMG
1           1    0    0    0    0    0    0
2           1    1    0    0    0    0    0
3           1    0    1    0    0    0    0
4           1    0    0    1    0    0    0
5           1    0    0    0    1    0    0
6           1    0    0    0    0    1    0
7           1    0    0    0    0    0    1

attr(,"assign")
[1] 0 1 1 1 1 1 1
attr(,"contrasts")
attr(,"contrasts")$HLM
[1] "contr.treatment"

```

De esta manera se ha podido confirmar que las Herramientas Lean Manufacturing se afectan mutuamente, es decir, el no cumplimiento de la una afecta a la otra, con una buena gestión de las Herramientas Lean, se cumple con lo planificado de Producción, observamos que éstas tienen una relación directamente proporcional con la Calidad del Producto, mejor implementación de la metodología Lean, mayor calidad. Ahora, podemos observar claramente que entre la Calidad y la Producción existe una relación directamente proporcional, a mayor Calidad, mayor Producción. Tabla 29-4

Tabla 26-4: Producción vs. Calidad del Modelo M4 – 2019

Producción Modelo M4, 2019		
Mes	Producción (Und.)	Calidad (%)
Ene	150	92
Feb	115	78
Mar	115	80
Abr	136	82
May	138	84
Jun	120	81
Jul	144	88
Ago	144	90
Sept	115	79
Oct	138	87
Nov	115	78
Dic	120	82

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: Ciauto Cia. Ltda.

Ingresamos los Datos en R para determinar el Modelo de Regresión Lineal Simple

```

reg_simpleCiauto: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
## Modelo de Regresión Lineal Simple
##

dat <- data.frame(
  y=c(150, 115, 115, 136, 138, 120, 144, 144, 115, 138,
      115, 120),
  x=c(92, 78, 80, 82, 84, 81, 88, 90, 79, 87,
      78, 82))
n <- nrow(dat)
print(n)
attach(dat)
x
y
xy <- x*y
x2 <- x^2

```

```

sxy <- sum(xy)
sx2 <- sum(x2)
my <- mean(y)
mx <- mean(x)
b1 <- (n*mx*my - sxy)/(n*mx^2-sx2)
b0 <- my-mx*b1
cat('Beta0=', b0, 'Beta1=', b1, '\n')

rx <- 90
ry <- b0 + b1*rx # Estimando la E[y], a partir de x.
ry

# Gráfico de dispersión y recta de regresión
library(ggplot2)
ggplot(dat, aes(x = x, y = y)) +
  geom_point(colour="blue", shape=21, size=2) +
  geom_smooth(method="lm", colour="red",
              se=TRUE) +
  ylab("Producción Modelo M4 - 2019 (y)") +
  xlab("% de Calidad mensual (x)")

# Calculando s2 y s
s2 <- 0
for (i in 1:n) {
  s2 <- s2 + (y[i] - b0 - b1*x[i])^2
}
s2 <- s2 / (n-2)
s <- sqrt(s2)
# Calculando t de los datos (tc)
xt <- 0
i <- 1
while (i <= n) {
  xt <- xt + (x[i] - mx)^2
  i <- i + 1
}
tc <- b1 / (s / sqrt(xt))
cat('s2=', s2, 's=', s, 'tc=', tc, '\n')

# Calculando la t teórica
alpha <- 0.05
t <- qt(p=alpha/2, df=n-2, ncp=0,
        lower.tail = FALSE, log.p = FALSE)
# La conclusión
if (abs(tc) > t) {
  con <- "Rechazar Ho"
} else {
  con <- "No tenemos suficiente evidencia "
  con <- paste0(con, "para rechazar Ho")
}
cat('t-calculada = ', tc, ', t-teórica =', t, '\n',
    'p-valor = ', 2*(1-pt(abs(tc), df = n-2)),
    '. Conclusión: ', con, '\n')
# IC
cat('Beta1 en (', b1 - t*s/sqrt(xt), ';',
    b1 + t*s/sqrt(xt), ')\n')

# Calculando R2
SSR <- 0
SST <- 0
for (i in 1:n) {
  SSR <- SSR + (b0 + b1*x[i] - my)^2
  SST <- SST + (y[i] - my)^2
}
R2 <- SSR/SST
cat('R2 es ', R2, '; r es ', sqrt(R2), '\n')

```

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R - Studio

Si tenemos una variable cuantitativa “x” y que está asociada con la respuesta de interés, también cuantitativa “y”, entonces el **Modelo Estadístico** más simple que podemos postular es:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i; i = 1, 2, 3 \dots \dots \dots 12$$

Este es un Modelo de Regresión Lineal Simple, simple porque solo tenemos una variable independiente “x”, también llamada regresor. Lineal por que la relación es lineal en los β_s , donde β_0 y β_1 , son parámetros desconocidos en los \mathbb{R} que debemos estimar a partir de los datos, y ϵ_i es un error no observable que suponemos está presente en cada observación.

Tabla 27-4: Resultados en R-Studio Modelo de Regresión Lineal Simple

Variable	Value
alpha	0.05
b0	-93.9611424775925
b1	2.67485885088023
con	"Rechazar Ho"
i	12L
mx	83.4166666666667
my	129.166666666667
n	12L
R2	0.876742356543642
rx	90
ry	146.776154101628
s	5.02384880263763
s2	25.2390567917635
SSR	1795.2760987492
SST	2047.66666666667
sx2	83751
sxy	129967
t	2.22813885198627
tc	8.43391197695683
x2	num [1:12] 8464 6084 6400 6724 7056 ...
xt	250.916666666667

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R - Studio

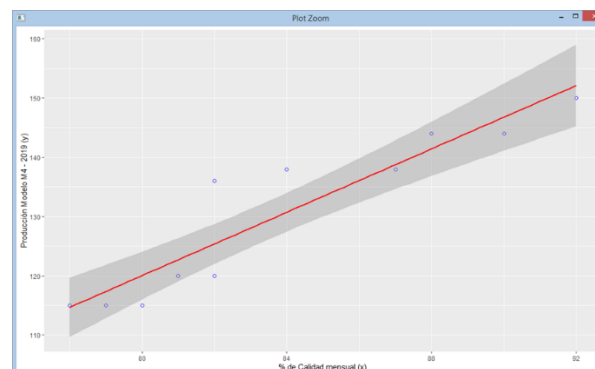


Figura 7-4: Regresión Lineal Simple Modelo M4

Elaborado por: (Gavidia, 2021).

Fuente: R – Studio

```
Beta0= -93.96114 Beta1= 2.674859
>
> rx <- 90
> ry <- b0 + b1*rx # Estimando la E[y], a partir de x.
> ry
[1] 146.7762
```

```
t-calculada = 8.433912 , t-teórica = 2.228139
p-valor = 7.392043e-06 . Conclusión: Rechazar Ho
> # IC
> cat('Beta1 en (', b1 - t*s/sqrt(xt), ';',
+      b1 + t*s/sqrt(xt), ')\n')
Beta1 en ( 1.968193 ; 3.381525 )
```

```
> modelo=lm(y~x)
> summary(modelo)

Call:
lm(formula = y ~ x)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.377 -2.721 -1.439  0.885 10.623

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -93.9611    26.4957  -3.546  0.0053 **
x              2.6749     0.3172   8.434 7.39e-06 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 5.024 on 10 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8767,    Adjusted R-squared:  0.8644
F-statistic: 71.13 on 1 and 10 DF,  p-value: 7.392e-06
```

```
> resid(modelo)
     1      2      3      4      5      6
-2.1258718  0.3221521 -5.0275656 10.6227167  7.2729990 -2.7024244
     7      8      9     10     11     12
 2.5735636 -2.7761541 -2.3527067 -0.7515775  0.3221521 -5.3772833
> shapiro.test(resid(modelo))

      Shapiro-Wilk normality test

data:  resid(modelo)
W = 0.87656, p-value = 0.0792

> view(dat)
>
```

Dados los resultados obtenidos en R, con $\beta_0 = -93.96$ y $\beta_1 = 2.67$ con un Alpha = 0.05; con dos grados de libertad, $i = 12$ L, de manera que el Modelo de Regresión Lineal Simple es:

$$y_i = -93.96 + 2.67 x_i + \epsilon_i$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, 12$$

El dato del p-valor = $7.392043e-06 < \alpha$, indica que se debe rechazar la H_0 en favor de H_a , además el valor de $R^2 = 87.67\%$ indica que el modelo explica la variación de la producción del modelo M4 con este porcentaje.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Se diagnosticó los procesos actuales del área de ensamble de vehículos, en la empresa Ciato Cía. Ltda., a través de entrevistas y toma de datos en la cual se evidencio que un problema fundamental es la incongruencia de la planificación de la producción y la aplicación de herramientas Lean por lo que se concluye en la necesidad de implementar un modelo estadístico para mejorar el plan de producción.
- Se revisó el método de planeación de la producción que actualmente utilizan, en base al histórico de planeación vs lo producido obteniendo que solo se tiene un cumplimiento del 82 por ciento viendo la necesidad de incrementar los índices de producción.
- Los datos resaltan la necesidad de dotar de una herramienta estadística que guie de forma eficiente y sostenible a corto, mediano y largo plazo la planeación de la producción en el área de ensamble de la empresa Ciato Cía. Ltda., con el fin de generar una gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos.
- En función a la relación entre Calidad y Producción, se determinó un Modelo de Regresión Lineal Simple, donde para una Calidad de 90 %, obtenida bajo una buena gestión de las Herramientas Lean Manufacturing, se puede llegar a alcanzar una producción de 146 vehículos mensuales aproximadamente.
- Se diseñó un modelo estadístico basado en la metodología Lean Manufacturing la misma que permite acortar la brecha entre lo planificado y la producción real, además se planteó una función objetivo que minimiza los costos de producción, lo cual permite la gestión eficiente de los recursos en una empresa ensambladora de vehículos.

5.2. Recomendaciones

- Diagnosticar los procesos de forma sistemática y cotidiana, se puede diseñar una lista de chequeo a través de ítems de cumplimiento obligatorio para la toma de

datos, el cual permita evidenciar de forma contundente el problema. Estos datos servirán de fundamento para las proyecciones y toma adecuada de decisiones.

- Se recomienda la actividad relativa a la planificación de la producción estar destinada a relacionar apropiadamente la demanda, a través de una labor comercial, con la oferta externa dentro de un plano temporal definido a medio y largo plazo de manera que se pueden concretar planes de producción con cantidades específicas de cada producto en virtud de una serie de etapas o periodos, tratando de estar dentro de los límites de la capacidad instalada y bajo los criterios de disposición de flujos sobre materiales y recursos técnicos, lo que configura un esquema adecuado para satisfacer dicha demanda.
- Se recomienda diseñar e implementar un modelo de planeación de la producción en función de las herramientas Lean manufacturing ya aplicados en la empresa, puesto que si no se tiene una infraestructura Lean no se puede relacionar las variables para su óptimo funcionamiento.
 - a) El modelo se debe actualizar de acuerdo con la proporción de la línea de ensamblaje y considerando la magnitud de las líneas de ensamblaje.
 - b) Adicionalmente se deberá mantener un análisis preliminar de datos en base a todos los históricos de ventas, de planeación y de operación de los índices de producción.
- Se recomienda hacer uso del presente trabajo de investigación para aplicar en otras áreas de una empresa ensambladora de vehículos, como por ejemplo en el área de solda, pintura, desempaque del CKD. Para varios modelos y versiones.

BIBLIOGRAFÍA

- Muyulema, A. J. (2017). *Modelo de medición del desempeño global corporativo, a través de la integración del Seis Sigma Integral Multivariado con el Balanced Scorecard, en la industria avícola de la provincia de Chimborazo*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Altamirano, H. A. (2017). *Modelo econométrico de consumo privado para el Ecuador en el período 1990-2015*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato. Obtenido de <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/25800/1/T4032e.pdf>
- Álvarez, R. (2012). *Metodología de la investigación: Operacionalización de Variables*. Medellín: McGraw-Hill.
- Ortiz, Z. J. (2017). *Modelo matemático para la planificación de la producción del sector Cuero en la parroquia de Quisapincha*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Amrutha, V. N., & Geetha, S. N. (2020). A systematic review on green human resource management: Implications for social sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119131. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119131>
- Bautista, J., Batet, L., & Mateo, M. (2020). Minimización del coste de almacenaje de combustible nuclear gastado en cápsulas MPC-32 con programación lineal entera mixta: Caso de carga en una etapa. *Universitat Politècnica de Catalunya*, 1-15. doi:<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.36331.90407>
- Benavides, P. M. (2016). *Aplicación del modelo econométrico de SOLOW para el diagnóstico de la productividad por el uso de la tecnología en las PYMES del sector textil del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional. Obtenido de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/16578/1/CD-7235.pdf>
- Brenes-Gamboa, S. (2017). Parámetros de producción y calidad de los cultivares de banano FHIA-17, FHIA-25 y Yangambi. *Revista Agronomía Mesoamericana*, 28(3), 719-733. doi:10.15517/ma.v28i3.21902

- Camino-Mogro, S. (2017). Estimación de una función de producción y análisis de la productividad: el sector de innovación global en mercados locales. *Estudios Gerenciales*, 33(145), 400-411. doi:<https://doi.org/10.1016/j.estger.2017.10.004>
- Campoverde, J. A., Romero, C. A., Naula, F. B., Loyola, D. M., & Coronel, K. T. (2019). Aplicación de un modelo matemático para el diseño de la cadena de suministro en el sector de neumáticos en Ecuador. *Espacios*, 40(13), 10-21.
- Castillo, E. B., & Aguirre, M. Z. (2018). Modelación del raleo mediante el uso de la programación lineal en plantaciones de *Pinus caribaea* Morelet de la Empresa Agroforestal Pinar del Río, Cuba. *Arnaldoa*, 25(2), 597-614. doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.252.25215>
- Costa, F., Lispi, L., Portioli-Staudacher, A., Rossini, M., Kundu, K., & Cifone, F. D. (2019). How to foster Sustainable Continuous Improvement: A cause-effect relations map of Lean soft practices. *Operations Research Perspectives*, 6, 100091. doi:<https://doi.org/10.1016/j.orp.2018.100091>
- Díaz, M. M., Mula, J., & Peidro, D. (2014). A review of discrete-time optimization models for tactical production planning. *International Journal of Production Research*, 52(17), 5171–5205. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2014.899721>
- Escobar, S. J. (2019). Modelo de estimación estadística «Programa Inclusión Productiva» MIPRO-Ecuador. *Retos. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(18), 303-325. doi:<https://doi.org/10.17163/ret.n18.2019.08>
- Espinosa-Ruiz, C. G., Muyulema-Allaica, J. C., Sánchez-Macías, R. A., & Usca-Veloz, R. B. (2019). Los retos sostenibilistas de las Pymes textiles de la provincia de Tungurahua – Ecuador. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica – RIIT*, 1-19.
- Farias, S. L., Santos, L., Gohr, C. F., Oliveira, L., & Amorim, M. H. (2019). Criteria and practices for lean and green performance assessment: Systematic review and conceptual framework. *Journal of Cleaner Production*, 218, 746-762. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.042>

- Gandhi, N. S., Thanki, S. J., & Thakkar, J. J. (2018). Ranking of drivers for integrated lean-green manufacturing for Indian manufacturing SMEs. *Journal of Cleaner Production*, 171, 675-689. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.041>
- Garcia, E. (2011). *Herramientas de la planificación de la producción empresarial*. Lima: Gestipolis.
- Gonzalez, O. Ó. (2016). *Sistema de gestión de calidad: Teoría y práctica bajo la norma ISO 2015*. Bogotá: Eco Ediciones.
- González, R. L., & Moreno, P. M. (2015). Procedimiento para implementación de un sistema de gestión de costos de calidad. *Ciencias Holguín*, XXI (4), 1-17.
- Gunaki, P. T., & Siddiqui, F. (2015). A Review Paper on Productivity Improvement by Value Stream Mapping. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research. JETIR*, 2(4), 1119-1124.
- Gutiérrez, P. H. (2013). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma* (3 ed.). México, D. F.: McGraw-Hill.
- Hernández, S. R., Fernández, C. C., & Baptista, L. M. (2014). *Metodología de la Investigación*, 6 ed. México D.F. : McGraw-Hill Education.
- Huang, Z., Kim, J., Sadri, A., Dowey, S., & Dargusch, M. S. (2019). Industry 4.0: Development of a multi-agent system for dynamic value stream mapping in SMEs. *Journal of Manufacturing Systems*, 52(A), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>
- Jaegler, Y., Burlat, P., Lamouri, S., & Trentesaux, D. (2018). The ConWip production control system: a systematic review and classification. *Revista Internacional de Investigación de Producción*, 56(17), 5736-5757. doi:<https://doi.org/10.1080/00207543.2017.1380325>
- Karam, A.-A., Liviu, M., Veres, C., & Radu, H. (2018). The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED projec. *Procedia Manufacturing*, 22, 886-892. doi:<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.125>

- Quezada, A. V., Seck, T.-M. J., Quezada, Q. J., & Cuatepotzo, B. A. (2020). Sistema de producción multi-línea optimizado por PSO. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, XXI(1), 1-11. doi:<http://dx.doi.org/10.22201/fi.25940732e.2020.21n1.006>
- Rodríguez, A. L., Loyo, Q. J., López, O. M., & González, S. J. (2019). Simulación dinámica de un sistema de producción retroalimentado Ingeniería Industrial. *Ingeniería Industrial*, XL(2), 171-182.
- Ruiz, P. A., & Cruz, R. F. (2016). Las hipótesis de Fisher en Latinoamérica: un análisis de cointegración. *Revista Finanzas y Política Económica*, 8 (2), 301-326.
- Sablón, C. N., Orozco, C. E., Lomas, R. C., & Montero, Y. (2018). Plan maestro de producción de una empresa textil. Caso de estudio de Imbabura, Ecuador. *EPISTEME. Revista digital de Ciencia, Tecnología e Innovación*, 5(4), 448-462.
- Stracuzzi, S. P., & Pestana, F. M. (2012). *Metodología de la Investigación Cuantitativa*. Caracas, Venezuela: Fedupel.
- Vargas, H. J., Muratalla, B. G., & Jiménez, C. M. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta lean manufacturing. *Ciencias Administrativas*, 11(1), 1-21.
- Zamora, M. J., & Eguía, Á. A. (2015). Modelo de Gestión Empresarial Balanced Scorecard. *TECTZAPIC Revista de divulgación científica y tecnológica*, 94, 98.
- Zotelo, Y. R., Mula, J., Díaz, M. M., & González, E. G. (2017). Plan maestro de producción basado en programación lineal entera para una empresa de productos químicos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 24, 147-168. doi:<http://hdl.handle.net/10419/195385>

ANEXOS



Anexo A: Checklist

EVALUACIÓN INICIAL DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING EN ENSAMBLADORA DE VEHÍCULOS CIAUTO

El nivel de referencia tomado para identificar si la implementación inadecuada de las herramientas Lean Manufacturing en la línea de ensamblaje de Ciauto Cía. Ltda., incide en la técnica de planificación de la producción, esta proporcionada por una técnica de Checklist de diagnóstico, tomando en consideración la evaluación integrada ISO 9001:2015, misma que proporciona tres escalas de evaluación:

C = Cumplimiento
C/P= Cumplimiento Parcial
NC= No Cumplimiento

GUÍA DE CALIFICACIÓN

Referencia: Área de ensamble de vehículos Código: MEP-CCT-02 Fecha: 30/05/2020

Responsable: Ing. Juan Carlos Escobar Evaluador: Ing. José Luis Gavidia

Área Evaluada: Ensamble

CHECKLIST DE DIAGNÓSTICO SITUACIONAL					
No.	ÍTEM	C	C/P	NC	TOTAL
1	SELECCIONAR				
1.1	¿Hay cosas inútiles que pueden molestar en el entorno de trabajo?				
1.2	¿Hay algún tipo de herramienta, tornillería, pieza de repuesto, útiles o similar en el entorno de trabajo?				
1.3	¿Están los objetos, de uso frecuente, ordenados en su ubicación y correctamente identificados en el entorno laboral?				
1.4	¿Están todos los elementos de limpieza: trapos, escobas, guantes, productos en su ubicación y correctamente identificados?				
1.5	¿Existe maquinaria inutilizada en el entorno de trabajo?				
1.6	¿Están los elementos innecesarios identificados como tal?				
	<i>Suma</i>				
2	ORDENAR				
2.1	¿Hay materiales y/o herramientas fuera de su lugar o carecen de lugar asignado?				
2.2	¿Son necesarias todas las herramientas disponibles y fácilmente identificables?				
2.3	¿Están diferenciados e identificados los materiales o semielaborados del producto final?				

2.4	¿Hay algún tipo de obstáculo cerca del elemento de extinción de incendios más cercano?				
2.5	¿Están las estanterías u otras áreas de almacenamiento en el lugar adecuado y debidamente identificadas?				
2.6	¿Están indicadas las cantidades máximas y mínimas admisibles y el formato de almacenamiento?				
2.7	¿Hay líneas u otros marcadores para indicar claramente los pasillos y áreas de almacenamiento?				
	Suma				
3	LIMPIAR				
3.1	¿Revise cuidadosamente el suelo, los pasos de acceso y los alrededores de los equipos! ¿Puedes encontrar manchas de aceite, polvo o residuos?				
3.2	¿Hay partes de las máquinas o equipos sucios? ¿Puedes encontrar manchas de aceite, polvo o residuos?				
3.3	¿Hay elementos de la luminaria defectuoso (total o parcialmente)?				
3.4	¿Se mantienen las paredes, suelo y techo limpios, libres de residuos?				
3.5	¿Se realizan periódicamente tareas de limpieza conjuntamente con el mantenimiento de la planta?				
3.6	¿Existe una persona o equipo de personas responsable de supervisar las operaciones de limpieza?				
3.7	¿Se barre y limpia el suelo y los equipos normalmente sin ser dicho?				
	Suma				
4	ESTANDARIZAR				
4.1	¿El personal conoce y realiza la operación de forma adecuada?				
4.2	¿La ropa que usa el personal es inapropiada o está sucia?				
4.3	¿Hay habilitadas zonas de descanso, comida y espacios habilitados para fumar?				
4.4	¿Se aplican las 3 primeras "S"?				
4.5	¿Se aplica el CONTROL VISUAL?				
4.6	¿Existen procedimientos escritos estándar y se utilizan activamente?				
	Suma				
5	AUTODISCIPLINA				
5.1	¿Se realiza un control de limpieza?				
5.2	¿Se realizan los informes de auditoría correctamente y a su debido tiempo?				
5.3	¿Se aplican las cuatro primeras "S"?				
5.4	¿El personal conoce las 5'S, ha recibido capacitación al respecto?				
5.5	¿Se aplica la cultura de las 5'S, se practican continuamente los principios de clasificación, orden y limpieza?				
5.6	¿Se utiliza el uniforme reglamentario así como el material de protección diario para las actividades que se llevan a cabo?				
	Suma				

6	Estructura Lean				
6.1	¿El tiempo de ensamblaje cumple con el tiempo programado?				
6.2	¿Existen tiempos muertos en el periodo de ensamblaje?				
6.3	¿El transporte entre operaciones presenta demoras?				
6.4	¿Existen tiempos muertos de operaciones?				
6.5	¿Existe un VMS de la interacción de los procesos?				
6.6	¿Existen evaluaciones de los tiempos de mantenimiento?				
6.7	¿Análisis del flujo del proceso- cuellos de botella?				
6.8	¿Se mantiene el actualizado el flujo de los inventarios reales?				
6.9	¿Mantienen actualizados los indicadores del número de defectuosos?				
6.10	¿Se evidencia la capacidad de la producción?				
	<i>Suma</i>				
7	Planeación de la producción				
7.1	¿Hay materias primas, semielaborados o residuos no necesarios en el entorno de trabajo?				
7.2	¿Mantiene indicadores de productividad del área de ensamblaje?				
7.3	¿Mantiene relación la productividad y la mano de obra?				
7.4	¿Tiene relación la demanda del mercado y la planificación de la producción?				
7.5	¿Se realiza un análisis DAFO como dato preliminar de la planeación de la producción ?				
7.6	¿Menciona en el plan de producción los costes de producción?				
7.7	¿El método de planeación de la producción contempla la creación de nuevos productos?				
7.8	¿En la creación de nuevos productos se mantiene la generación de ideas como línea base del desarrollo?				
7.9	¿Mantiene un modelos de Gestión de Calidad Total TQM con orientación a la planeación de la producción de la línea de ensamblaje?				
7.10	¿Se mantienen controladas las variables en el proceso de planeación de la producción y el enfoque de mejora continua?				
	<i>Suma</i>				
TOTAL					

Anexo B: Tabla distribución F, en función del tratamiento y el error.

Cátedra: Probabilidad y Estadística
Facultad Regional Mendoza
UTN

Tabla D.9: VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN F (0,05)



Grados de libertad del Numerador

Grados de libertad del Denominador

área a la derecha del valor crítico = 0,05

g.d.l.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	g.d.l.
1	161,4	199,5	215,7	224,6	230,2	234,0	236,8	238,9	240,5	241,9	243,0	243,9	244,7	245,4	245,9	1
2	18,513	19,000	19,164	19,247	19,296	19,330	19,353	19,371	19,385	19,396	19,405	19,413	19,419	19,424	19,429	2
3	10,128	9,532	9,277	9,117	9,013	8,941	8,887	8,845	8,812	8,786	8,763	8,745	8,729	8,715	8,703	3
4	7,709	6,944	6,591	6,388	6,256	6,163	6,094	6,041	5,999	5,964	5,936	5,912	5,891	5,873	5,858	4
5	6,608	5,786	5,409	5,192	5,050	4,950	4,876	4,818	4,772	4,735	4,704	4,678	4,655	4,636	4,619	5
6	5,987	5,143	4,757	4,534	4,387	4,284	4,207	4,147	4,099	4,060	4,027	4,000	3,976	3,956	3,938	6
7	5,591	4,737	4,347	4,120	3,972	3,866	3,787	3,726	3,677	3,637	3,603	3,575	3,550	3,529	3,511	7
8	5,318	4,459	4,066	3,838	3,687	3,581	3,500	3,438	3,388	3,347	3,313	3,284	3,259	3,237	3,218	8
9	5,117	4,256	3,863	3,633	3,482	3,374	3,293	3,230	3,179	3,137	3,102	3,073	3,048	3,025	3,006	9
10	4,965	4,103	3,708	3,478	3,326	3,217	3,135	3,072	3,020	2,978	2,943	2,913	2,887	2,865	2,845	10
11	4,844	3,982	3,587	3,357	3,204	3,095	3,012	2,948	2,896	2,854	2,818	2,788	2,761	2,739	2,719	11
12	4,747	3,885	3,490	3,259	3,106	2,996	2,913	2,849	2,796	2,753	2,717	2,687	2,660	2,637	2,617	12
13	4,667	3,806	3,411	3,179	3,025	2,915	2,832	2,767	2,714	2,671	2,635	2,604	2,577	2,554	2,533	13
14	4,600	3,739	3,344	3,112	2,958	2,848	2,764	2,699	2,646	2,602	2,565	2,534	2,507	2,484	2,463	14
15	4,543	3,682	3,287	3,056	2,901	2,790	2,707	2,641	2,588	2,544	2,507	2,475	2,448	2,424	2,403	15
16	4,494	3,634	3,239	3,007	2,852	2,741	2,657	2,591	2,538	2,494	2,456	2,425	2,397	2,373	2,352	16
17	4,451	3,592	3,197	2,965	2,810	2,699	2,614	2,548	2,494	2,450	2,411	2,381	2,353	2,329	2,308	17
18	4,414	3,555	3,160	2,928	2,773	2,661	2,576	2,510	2,456	2,412	2,374	2,344	2,316	2,290	2,269	18
19	4,381	3,522	3,127	2,895	2,740	2,628	2,542	2,476	2,422	2,378	2,340	2,310	2,282	2,256	2,234	19
20	4,351	3,493	3,098	2,866	2,711	2,599	2,513	2,447	2,393	2,348	2,310	2,278	2,250	2,225	2,203	20
21	4,325	3,467	3,072	2,840	2,685	2,573	2,487	2,420	2,366	2,321	2,283	2,250	2,222	2,197	2,176	21
22	4,301	3,443	3,048	2,817	2,661	2,549	2,463	2,396	2,342	2,297	2,259	2,226	2,198	2,173	2,151	22
23	4,279	3,422	3,027	2,796	2,640	2,528	2,442	2,375	2,320	2,275	2,236	2,204	2,176	2,150	2,128	23
24	4,260	3,403	3,009	2,776	2,620	2,508	2,422	2,355	2,300	2,255	2,216	2,183	2,155	2,130	2,108	24
25	4,242	3,385	2,991	2,759	2,603	2,490	2,404	2,337	2,282	2,236	2,198	2,165	2,136	2,111	2,089	25
26	4,225	3,369	2,975	2,743	2,587	2,474	2,388	2,321	2,265	2,220	2,181	2,148	2,119	2,094	2,072	26
27	4,210	3,354	2,960	2,728	2,572	2,459	2,373	2,305	2,250	2,204	2,166	2,132	2,103	2,078	2,056	27
28	4,196	3,340	2,947	2,714	2,558	2,445	2,359	2,291	2,236	2,190	2,151	2,118	2,089	2,064	2,041	28
29	4,183	3,328	2,934	2,701	2,545	2,432	2,346	2,278	2,223	2,177	2,138	2,104	2,075	2,050	2,027	29
30	4,171	3,316	2,922	2,690	2,534	2,421	2,334	2,266	2,211	2,165	2,126	2,092	2,063	2,037	2,015	30
31	4,160	3,305	2,911	2,679	2,523	2,409	2,322	2,255	2,199	2,153	2,114	2,080	2,051	2,026	2,003	31
32	4,149	3,295	2,901	2,668	2,512	2,399	2,311	2,244	2,188	2,142	2,103	2,069	2,040	2,015	1,992	32
33	4,139	3,285	2,892	2,659	2,503	2,389	2,301	2,234	2,178	2,132	2,093	2,060	2,030	2,004	1,982	33
34	4,130	3,276	2,883	2,650	2,494	2,380	2,292	2,225	2,169	2,123	2,084	2,050	2,021	1,995	1,972	34
35	4,121	3,267	2,874	2,641	2,485	2,372	2,284	2,217	2,161	2,114	2,075	2,041	2,012	1,986	1,963	35
40	4,085	3,232	2,839	2,606	2,449	2,336	2,248	2,180	2,124	2,077	2,038	2,003	1,974	1,948	1,924	40
60	4,001	3,150	2,758	2,525	2,368	2,254	2,166	2,097	2,040	1,993	1,952	1,917	1,887	1,860	1,836	60
80	3,960	3,111	2,719	2,486	2,329	2,214	2,126	2,056	1,999	1,951	1,910	1,875	1,845	1,817	1,793	80
90	3,947	3,098	2,706	2,473	2,316	2,201	2,113	2,043	1,986	1,938	1,897	1,861	1,830	1,803	1,779	90
100	3,936	3,087	2,696	2,463	2,306	2,191	2,103	2,033	1,976	1,928	1,886	1,850	1,819	1,792	1,768	100
120	3,920	3,072	2,680	2,447	2,290	2,175	2,087	2,016	1,959	1,910	1,869	1,834	1,803	1,775	1,750	120
inf.	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831	1,789	1,752	1,720	1,692	1,666	inf.

Anexo C: Diagrama de proceso

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO CENTRO DE POSGRAD PROGRAMA DE MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA								
DIAGRAMA DE PROCESO										
EMPRESA:	<input type="checkbox"/> CIAUTO CIA.LTDA <input checked="" type="checkbox"/> MÉTODO ACTUAL <input type="checkbox"/> MÉTODO PROPUESTO	MÉTODO ACTUAL	<input checked="" type="checkbox"/>	MÉTODO PROPUESTO	<input type="checkbox"/>	HOJA #:	1 de 1			
PRODUCTO ANALIZADO:	VEHICULOS COMPACTOS	AUTO:		MODELO M4		FECHA:	01/10/2020			
DEPARTAMENTO:	PRODUCCIÓN	REALIZADO POR:		Ing. José Gavidia		DIAGRAMA #:	1			
ÁREA:	ENSAMBLE	JEFE ENSAMBLE :		Ing. Juan Carlos Escobar		Equipo: Cronómetro	Apr: hh:mm:ss			
ESTACIÓN ANALIZADA:	TODAS	OPERARIO(S) A CARGO:		TODOS		Técnica: vuelta.cem				
SUB-ESTACIÓN ANALIZADA:	TODAS	OPERACIÓN:		TODAS		LÍNEA:	TODAS			
Identificación de Operaciones		Cantidad	Distancia (m)	Tiempo (hh:mm:ss)	Símbolos del Diagrama					Observaciones
Nº	Descripción de Operaciones				●	→	□	D	▽	
1	Trasladar la cabina a la estación de inicio de la línea TRIM	1	10	0:02:57	○	→	□	D	▽	
2	Revisar la cabina para verificar que este en perfecto estado.	1	-----	0:02:55	○	→	□	D	▽	
3	Instalación de componentes de Compuerta	-----	-----	0:35:03	●	→	□	D	▽	
4	Instalación de componentes de Piso	-----	-----	0:33:02	●	→	□	D	▽	
5	Instalación de componentes de Trim Motor	-----	-----	0:39:08	●	→	□	D	▽	
6	Instalación de componentes de Techo	-----	-----	0:36:01	●	→	□	D	▽	
7	Realizar autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:05:07	○	→	□	D	▽	
8	Mover la cabina a la siguiente estación	1	1	0:01:53	○	→	□	D	▽	
9	Realizar el ensamble del tablero	1	-----	0:26:31	●	→	□	D	▽	
10	Instalar componentes previos a la instalación del tablero	-----	-----	0:12:53	●	→	□	D	▽	
11	Trasladar el tablero a la cabina	1	3	0:01:57	○	→	□	D	▽	
12	Montaje del tablero	1	-----	0:27:25	●	→	□	D	▽	
13	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:03:11	○	→	□	D	▽	
14	Instalación de componentes del Trim Interno	-----	-----	0:41:03	●	→	□	D	▽	
15	Instalación de componentes del Trim Externo	-----	-----	0:37:04	●	→	□	D	▽	
16	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:58	○	→	□	D	▽	
17	Traslado de la cabina a la siguiente estación	1	2	0:01:55	○	→	□	D	▽	
18	Instalación de componentes del habitaculo del motor	-----	-----	0:42:17	●	→	□	D	▽	
19	Instalación de componentes de las puertas del lado RH	-----	-----	1:20:04	●	→	□	D	▽	
20	Instalación de componentes de las puertas del lado LH	-----	-----	1:17:06	●	→	□	D	▽	
21	Realizar las actividades previas a la instalación de parabrisas	-----	-----	0:35:04	●	→	□	D	▽	
22	Colocación de parabrisas y ventoleras	-----	-----	0:45:15	●	→	□	D	▽	
23	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:03:56	○	→	□	D	▽	
24	Inspección de toda la unidad antes de que siga a la línea Chasis	1	-----	0:14:57	○	→	□	D	▽	
25	Trasladar la cabina a la línea chasis mediante el tecele	1	2	0:02:03	○	→	□	D	▽	
26	Espera hasta que el tecele posicione correctamente a la cabina.	1	-----	0:01:01	○	→	□	D	▽	
27	Instalación de componentes que se realizan sobre cabeza	-----	-----	1:02:58	●	→	□	D	▽	
28	Realizar el ensamble del motor	-----	-----	1:07:51	●	→	□	D	▽	
29	Trasladar el motor ensamblado a la sub estación de tren motriz	1	4	0:01:56	○	→	□	D	▽	
30	Ensamble de ejes	-----	-----	0:30:03	●	→	□	D	▽	
31	Acople de ejes al motor	-----	-----	0:10:04	●	→	□	D	▽	
32	Montaje del Tren motriz	1	-----	0:50:12	●	→	□	D	▽	
33	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:56	○	→	□	D	▽	
34	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecele	1	2	0:01:57	○	→	□	D	▽	
35	Espera hasta que el tecele posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:58	○	→	□	D	▽	
36	Instalación de batería, calefacción y fluidos de motor	-----	-----	0:40:09	●	→	□	D	▽	
37	Instalación de consola Central	-----	-----	0:30:21	●	→	□	D	▽	
38	Instalación de guardachoque posterior	-----	-----	0:41:11	●	→	□	D	▽	
39	Instalación de guardachoque delantero	-----	-----	0:36:52	●	→	□	D	▽	
40	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:53	○	→	□	D	▽	
41	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecele	1	2	0:01:54	○	→	□	D	▽	
42	Espera hasta que el tecele posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:59	○	→	□	D	▽	
43	Instalación de ruedas y guardalodos	-----	-----	0:30:16	●	→	□	D	▽	
44	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:57	○	→	□	D	▽	
45	Trasladar la unidad a la siguiente estación mediante el tecele	1	2	0:01:58	○	→	□	D	▽	

46	Espera hasta que el tecla posicione correctamente a la unidad.	1	-----	0:00:59	○	⇒	□	●	▽	
47	Instalacion de asientos	-----	-----	0:32:10	●	⇒	□	D	▽	
48	Colocación de todos los acabados del vehículo	-----	-----	0:39:11	●	⇒	□	D	▽	
49	Autoinspección de todos los componentes instalados	-----	-----	0:02:54	○	⇒	■	D	▽	
50	Inspección de todo el vehiculo antes de que siga a la línea Liberación	1	-----	0:10:53	○	⇒	■	D	▽	
51	Trasladar el vehiculo a la linea liberación	1	3	0:02:54	○	⇒	□	D	▽	
52	Lenado de fluidos 1	-----	-----	0:40:15	●	⇒	□	D	▽	
53	Cuadratura de carroceria	-----	-----	0:35:36	●	⇒	□	D	▽	
54	Trasladar el vehiculo a la siguiente estación	1	1	0:00:58	○	⇒	□	D	▽	
55	Lenado de fluidos 2	-----	-----	0:40:18	●	⇒	□	D	▽	
56	Trasladar el vehiculo a la siguiente estación	1	1	0:00:59	○	⇒	□	D	▽	
57	Reparación de problemas encontrados	-----	-----	0:35:10	●	⇒	□	D	▽	
58	Inspección de toda la unidad	1	-----	0:25:04	○	⇒	■	D	▽	
59	Liberación del vehiculo	1	4	0:15:02	○	⇒	□	D	▽	
RESUMEN										
ACTIVIDAD		CANTIDAD	TIEMPO (min)	DISTANCIA (m)	AIORRO (S)	OBSERVACIONES				
OPERACIÓN	●	30	19:50:33	-----						
TRANSPORTE	⇒	13	0:38:23	37						
INSPECCIÓN	■	12	1:20:41	-----						
DEMORA	●	4	0:03:57	-----						
ALMACENAJE	▽	0	0	-----						
TOTAL		59	21:53:34	37						

Anexo D: Ficha Técnica Modelo M4

FICHA TÉCNICA MODELO M4

Vehículo	Haval M4	
Versiones	Mecatrónica	Manual
Tipo de Motor	1.5 L 16 válvulas, 4 cilindros en línea con tecnología VVT	
Potencia (Hp/rpm)	105/6000	
Torque Máximo (Nm/rpm)	138/4200	
Transmisión	4×2 Mecatrónica	4×2 Mecánica
Suspensión Frontal	Independiente McPherson con barra estabilizadora.	
Vidrios tinturados	Posteriores.	
Suspensión Posterior	Eje de torsión con barra estabilizadora	
Frenos	De disco autoventilados en las 4 ruedas	
Largo X Ancho X Alto (mm)	3995 x 1728 x 1617	
Distancia entre ejes (mm)	2383	
Masa neta del vehículo (kg)	1106	
Llantas	R16	
Computadora abordo	Si	
SunRoof	Si	No
Seguridad	ABS + EBD + BA + ESP + Asistencia en salida de pendientes	ABS + EBD + BA + ESP + Asistencia en salida de pendientes
Equipamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Asientos de cuero. • Radio MP5 con pantalla táctil. • Cámara y sensores de retro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asientos de tela y cuero. • Radio MP5 con pantalla táctil. • Cámara y sensores de retro.