



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL

“Diseño del plan maestro de producción de la puerta enrollable en la empresa IMEV en
Riobamba-Ecuador”

Trabajo de Titulación para optar al título de Ingeniero Industrial

Autor:

Avila Domínguez, Jorge Paúl

Tutor:

PhD. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo

Riobamba, Ecuador. 2025

DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, **Jorge Paúl Avila Domínguez**, con cédula de ciudadanía 0604368498, autor (a) (s) del trabajo de investigación titulado: **Diseño del plan maestro de producción de la puerta enrollable en la empresa IMEV en Riobamba-Ecuador**, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor (a) de la obra referida, será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 20 de mayo de 2025.



Jorge Paúl Avila Domínguez

C.I: 0604368498



ACTA FAVORABLE - INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En la Ciudad de Riobamba, a los 13 días del mes de Marzo de 2025, luego de haber revisado el Informe Final del Trabajo de Investigación presentado por el estudiante JORGE PAÚL AVILA DOMINGUEZ con CC: 0604368498, de la carrera Ingeniería Industrial y dando cumplimiento a los criterios metodológicos exigidos, se emite el ACTA FAVORABLE DEL INFORME FINAL DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN titulado "Diseño del plan maestro de producción de la puerta enrollable en la empresa IMEV en Riobamba - Ecuador", por lo tanto se autoriza la presentación del mismo para los trámites pertinentes.



Firmado electrónicamente por:
FIDEL ERNESTO
VALLEJO GALLARDO

PhD. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo
TUTOR(A)

CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

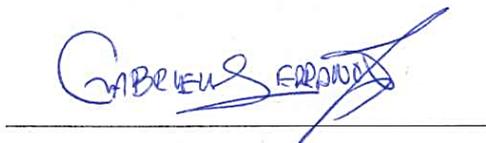
Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación **Diseño del plan maestro de producción de la puerta enrollable en la empresa IMEV en Riobamba-Ecuador**, presentado por Jorge Paúl Avila Domínguez, con cédula de identidad número 0604368498, bajo la tutoría de PhD. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo catedráticos certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba 20 de mayo del 2025.

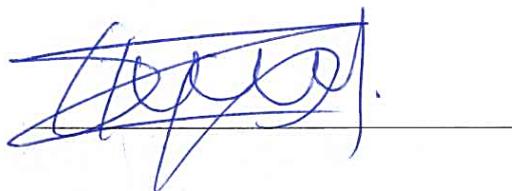
Juan Carlos Mancheno, Mgs.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JCM', written over a horizontal line.

Gabriela Serrano Torres, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'GABRIELA SERRANO TORRES', written over a horizontal line.

Magdala Lema Espinoza, Mgs.
MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Magdala Lema Espinoza', written over a horizontal line.



Dirección
Académica
VICERRECTORADO ACADÉMICO



UNACH-RGF-01-04-08.17
VERSIÓN 01: 06-09-2021

CERTIFICACIÓN

Que, Avila Domínguez Jorge Paúl con CC: 0604368498, estudiante de la Carrera Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado "Diseño del plan maestro de producción de la puerta enrollable en la empresa IMEV en Riobamba – Ecuador", cumple con el 1%, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio COMPILATIO MAGISTER, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 7 de Mayo de 2025



Firmado electrónicamente por:
FIDEL ERNESTO
VALLEJO GALLARDO

Validar únicamente con FirmASG

PhD. Fidel Ernesto Vallejo Gallardo
TUTOR(A)

DEDICATORIA

Es tesis va dedicada a mis familiares que han sido el pilar fundamental mi incentivo en todo momento en especial a mi hermana que me ha apoyado en todo momento, han estado en todos mis logros y mis altibajos de la carrera, pero nunca me rendido a los obstáculos del destino para poder lograr mis objetivos como todas las personas todo esto ha sido posible por la perseverancia que tuve durante toda la carrera

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento es a dios por darme un minuto más de vida y sabiduría para poder generar una fuente de empleo como una aspiración a largo plazo con los conocimientos adquiridos en la carrera y los que seguiré obteniendo al pasar de los años y dar un orgullo a mis familiares para crear mi propio emprendimiento como lo me han venido inculcando en el aula de clases y estar a la par con el mi crecimiento laboral como personal.

ÍNDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL
CERTIFICADO ANTIPLAGIO
DEDICATORIA
AGRADECIMIENTO
ÍNDICE GENERAL
ÍNDICE DE TABLAS
ÍNDICE DE FIGURAS
RESUMEN
ABSTRACT

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	18
1.1 Antecedentes	18
1.2 Planteamiento del Problema	19
1.3 Mano de obra	21
1.4 Métodos	21
1.5 Máquinas.....	22
1.6 Materiales.....	22
1.7 Medio ambiente.....	22
1.8 Medición	22
1.9 Formulación del problema	26
1.10 Objetivos.....	26
1.10.1 Objetivo General	26
<i>Objetivos Específico</i>	26
1.10.2 Justificación.....	27
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	29
2.1 Antecedentes de la investigación	29
2.2 Marco Teórico.....	29

<i>Teoría de restricciones</i>	29
2.3 Capacidad tasada	30
2.4 Capacidad efectiva	31
2.5 Ciclos en el estudio.....	31
<i>Eficiencia</i>	33
2.6 Throughput.....	33
2.7 Diagrama de procesos.....	34
2.8 Análisis de series de tiempo basado en modelos matemáticas	35
2.9 Modelo SARIMA.....	36
2.10 Gráfico de autocorrelación.....	36
2.11 Monitoreo y control de pronósticos.....	36
2.12 Preparación para el modelado (train-test split)	37
2.13 Componentes de la demanda.....	37
2.14 Administración de la demanda.....	38
2.15 Pronósticos de la demanda.....	38
2.16 Programación Maestra	38
2.17 Marco legal	39
2.17.1 Políticas económicas	39
2.18 Código del comercio.....	39
2.19 Código de trabajo	39
2.20 Glosario de términos.....	40
2.21 Pronósticos.....	40
2.22 Horizontes de tiempo del pronóstico	40
2.23 Pronóstico a corto plazo.....	40

2.24	Pronóstico para el futuro cercano.....	41
2.25	Pronóstico para el futuro.....	41
2.26	Planificación de requerimiento de materiales (MRP)	41
2.27	Planificación maestra de producción (PMP).....	41
2.28	Productividad	41
2.29	Pronósticos	42
2.30	Horizonte temporal.....	42
2.31	Demanda dependiente.....	42
2.32	Demanda independiente.....	42
2.33	Pronósticos económicos.....	42
2.34	Pronósticos tecnológicos.....	43
2.35	Pronósticos de la demanda.....	43
2.36	Desviación absoluta media (MAD).....	43
CAPÍTULO III. METODOLOGIA		44
3.1	Tipo de Investigación	44
3.2	Diseño de Investigación.....	44
3.3	Técnicas de recolección de Datos	44
3.3.1	Revisión documental	44
3.3.2	Entrevista directa.....	44
3.3.3	Observación directa	45
3.3.4	Población de estudio y tamaño de muestra.....	45
3.4	Hipótesis	45
3.4.1	Hipótesis nula.....	45
3.4.2	Hipótesis alternativa	45
3.4.3	Operacionalización de variables.....	45

3.5	Métodos de análisis, y procesamiento de datos	46
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN		48
4.1	Datos generales de la empresa	48
4.2	Área gerencial	48
4.3	Área administrativa	48
4.4	Área de bodega.....	48
4.5	Área de perfilería de aluminio.....	48
4.6	Área de mecanizado	49
4.7	Área de puertas de garaje.....	49
4.8	Área de pintura.....	49
4.9	Área de enrollables.....	49
4.10	Área de bodega de pintura	49
4.11	Organigrama estructural	50
4.12	Ubicación geográfica.....	53
4.13	Diagrama de flujo del proceso de elaboración de puertas	55
4.14	Teoría de restricciones.....	57
4.14.1	Paso 1: Identificación de la restricción.....	57
4.14.2	Paso 2: Explotar la restricción	61
4.14.3	Paso 3: Subordine el resto del sistema a la restricción.....	65
4.14.4	Paso 4: Eleve la restricción.....	65
4.14.5	Paso 5: Si se eliminó la restricción.....	65
4.15	Pronósticos Causales	66
4.15.1	Análisis de series en el tiempo.....	66
4.15.2	Adquisición y depuración de datos	68
4.15.3	Tratamiento de outliers y visualización inicial	68

4.15.4	Modelos de regresión iniciales.....	70
4.15.5	Análisis de estacionalidad y descomposición	72
4.15.6	Modelado con ARIMA	73
4.16	Aplicación de modelo SARIMA	76
4.17	Planificación maestra de producción.....	79
4.18	Comprobación de hipótesis.....	80
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		82
5.1	Conclusiones	82
5.2	Recomendaciones.....	84
BIBLIOGRAFÍA		86
ANEXOS.....		89

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Matriz de intereses	24
Tabla 2 Matriz de FODA	28
Tabla 3 Número recomendado de ciclos de observación.....	31
Tabla 4 Guía para calificar la velocidad	32
Tabla 5 Acciones que tiene lugar en cada proceso	34
Tabla 6 Operalización de variables independientes y dependientes.....	46
Tabla 7 Costo de puerta enrollable	50
Tabla 8 Análisis de la documentación existente de la empresa	55
Tabla 9 Identificación de la restricción.....	57
Tabla 10 Comprobación de la restricción	61
Tabla 11 Throughput de proceso.....	65
Tabla 12 Procesamiento de las ventas de los cinco años comprendido entre el 2020 al 2024	66
Tabla 13 Pronóstico de producción	78
Tabla 14 Inventario y lote que fabrica la empresa	79
Tabla 15 Plan maestro de producción para el año 2025 en los meses de enero a marzo	79
Tabla 16 Plan maestro de producción para el año 2025 en los meses de abril a mayo	80
Tabla 17 Estadísticos para una muestra.....	81
Tabla 18 Prueba T para una muestra	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama de Ishikawa del área de producción de puertas enrollables	21
Figura 2 Proceso de focalización de la Toc	30
Figura 3 Procesamiento de datos de la investigación	47
Figura 4 Organigrama estructural	52
Figura 5 Localización de la empresa IMEV	53
Figura 6 Layout de la empresa IMEV	54
Figura 7 Diagrama de proceso de elaboración de puertas actual	56
Figura 8 Grafica de serie de tiempo de producto terminado.....	68
Figura 9 Gráfico de caja y bigotes con producción mensual para identificar outliers	69
Figura 10 Gráfico de líneas de producción mensualizada	70
Figura 11 Gráfica de resultados de predicción usado regresión lineal (Comparación Test y Train).....	71
Figura 12 Gráfica de resultados de predicción usado regresión polinómica	72
Figura 13 Gráfica de descomposición de componentes de tendencia y estacionalidad	73
Figura 14 Gráfica de descomposición de componentes de tendencia y estacionalidad	74
Figura 15 Gráfico de diagnóstico de resultados modelo ARIMA.....	76
Figura 16 Gráfico de comprobación resultados modelo SARIMA.....	76
Figura 17 Grafica de comparación de variación de datos de los modelos.....	77
Figura 18 Gráfica de predicción con modelo SARIMA	78

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Capacidad Tasada	31
Ecuación 2. Capacidad efectiva	31
Ecuación 3. Tiempo Normal	32
Ecuación 4. Tiempo estándar	32
Ecuación 5. Cálculo de la eficiencia	33
Ecuación 6. Fórmula general de SARIMA	36

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Análisis de datos.....	89
Anexo 2 Taladro de banco de 250 w	89
Anexo 3 Hoja de pedido de los requerimientos de materiales distribuidos por el trabajador	90
Anexo 4 Bodega de almacenamiento	90
Anexo 5 Proceso de elaboración de la base de soporte de la puerta enrollable	91
Anexo 6 Proceso de ruedas de soporte de perfil	91
Anexo 7 Operación de perforación.....	92
Anexo 8 Almacenamiento de eje de con ruedas de la puerta enrollable	92
Anexo 9 Ensamblaje de puerta enrollable	93
Anexo 10 Puerta finalizada para su colocación	93
Anexo 11 Programación de elaboración de puertas	94
Anexo 12 Base datos analizada	95

RESUMEN

Este proyecto analizó el procedimiento de fabricación de puertas previo a su entrega en la empresa IMEV, con el fin de identificar cuellos de botella que ralentizan el proceso productivo. Las paradas no programadas generan retrasos, incrementando los costos y prolongación de los tiempos de producción.

Para identificar y analizar los puntos de retraso en la producción, se ha considerado los tiempos de cada proceso para determinando la capacidad del operario o la maquinaria. Para esto, se extrajo varios tiempos de cada proceso realizado.

El tiempo que un operador tarda en fabricar una puerta enrollable es de 2.91 horas. En una jornada de ocho horas, produciendo tres puertas, al encontrar la restricción se pudo disminuir 0.2 horas. Se identificó un cuello de botella en un proceso de perforación, demorándose en promedio de 25 minutos por perforación. Se sugiere la compra de un nuevo equipo, estableciendo un tiempo de operación de 13 minutos por perforación, reduciendo 16 minutos al realizar la perforación, utilizando el throughput mejoro la rentabilidad en un 4.31% evidenciando que la restricción fue eliminada.

La metodología SARIMA se utilizó obteniendo un valor de error promedio menor que ARIMA estableciendo a SARIMA como uno de los más confiables para dar un pronóstico confiable para el 2025 en los meses de enero, Febrero con un total de 16 unidades, en Marzo con 35 unidades Abril con 19 unidades y Mayo 17 unidades, .

Al realizar la planificación acorde a los pronósticos, resultando necesario producir 200 unidades en las semanas 5, 11 y 8 de los meses Febrero Marzo y Mayo abasteciendo la demanda necesaria para la empresa IMEV.

Palabras claves: Producción, Planificación, Pronósticos, Demanda, SARIMA, ARIMA

ABSTRACT

This project analyzed the manufacturing process of doors before their delivery at IMEV, aiming to identify bottlenecks that slow down the production process. Unscheduled stoppages lead to delays, increasing costs and extending production times.

To identify and analyse the points of delay in production, the times for each process were considered to determine the capacity of the operator or machinery. Various times for each process were extracted.

The time take by an operator to manufacture a roller door is 2.91 hours. In an eight-hour shift producing three doors, once the constraint was identified, it was possible to reduce this by 0.2 hours. A bottleneck was identified in a drilling process, averaging 25 minutes per drilling. It was suggested that new equipment be purchased, establishing an operating time of 13 minutes per drilling, thus reducing the drilling time by 16 minutes. Throughput improved profitability by 4.31%, demonstrating that the constant was eliminated.

The SARIMA methodology was employed, yielding an average error value lower than ARIMA, establishing SARIMA as one of the most reliable methods for providing a trustworthy forecast for 2025. In January and February, a total of 16 units is projected, with March at 35 units, April at 19 units, and May at 17 units.

When planning according to the forecasts, 200 units were deemed necessary in weeks 5, 11, and 8 of February, March, and May, thereby meeting the required demand for IMEV.

Keywords: Production, Planning, Forecasting, Sarima, Arima.



Reviewed by:
Mg. Dario Javier Cutiopala Leon
ENGLISH PROFESSOR
c.c. 0604581066

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Industrias Metálicas Vilema (IMEV) se especializa en la fabricación de puertas metálicas, con enfoque en puertas enrollables para supermercados. Aunque la empresa ha crecido junto a la demanda del sector, su productividad laboral ha experimentado un descenso sostenido.

En IMEV, se analizan continuamente las demandas del mercado con el fin de adaptarse de manera eficaz y cumplir con las expectativas del personal encargado del procesamiento de materia prima. Para lograrlo, se integran procesos tanto manuales como automatizados, mediante el uso de maquinaria especializada que permite transformar el metal en un producto final de alta calidad.

La empresa IMEV cuenta con un certificado de calificación artesanal otorgado por la Junta de Defensa del Artesano, en reconocimiento a su producción tradicional. Durante la observación en planta, se identificó un riguroso control sobre los trabajadores en la elaboración del producto estrella: la puerta enrollable. Para garantizar un uso adecuado de los materiales, cada operario debe firmar al recibir los insumos necesarios para la fabricación. Este proceso es supervisado por dos responsables, quienes deben cumplir con los pedidos según las especificaciones del cliente. A medida que se acerca el plazo de entrega, las puertas son etiquetadas por colores, lo que facilita la organización de prioridades, optimiza la asignación de recursos y garantiza la finalización oportuna del producto (Antón y Clavijo, 2019).

Este proyecto de investigación evalúa la viabilidad del proceso de fabricación en la empresa IMEV. A través de este análisis, se busca identificar las fases del proceso que requieren mayor tiempo, con el fin de planificar de manera eficaz los tiempos de producción. Asimismo, se evalúan las capacidades operativas de la maquinaria para evitar su sobrecarga, lo cual permite prevenir daños tanto en los equipos como en la materia prima, optimizando así el rendimiento general del sistema productivo.

IMEV es una empresa conformada por 40 trabajadores, donde cada persona cumple una función específica asignada por el jefe a cargo. Debido a su amplia cartera de productos, es fundamental organizar y planificar la producción diaria de unidades durante cada jornada laboral. Esta planificación permite apoyar el desarrollo de modelos matemáticos y estadísticos

que, al ser implementados, contribuyen a reducir los desperdicios generados diariamente en los procesos de corte (Vilema, 2018).

En el primer capítulo se presentará el justificativo que sustenta esta investigación, exponiendo la problemática actual que enfrenta la empresa y los objetivos que guían el desarrollo del estudio. Además, se incluirá una breve reseña de las funciones que desempeñan los operarios dentro del proceso productivo.

En el segundo capítulo se presentará el fundamento teórico, incluyendo los conceptos necesarios para el desarrollo del tema. Asimismo, se abordará el fundamento legal que establece los parámetros que la empresa debe considerar para consolidarse como microempresa.

En el tercer capítulo se detalla el tipo de diseño metodológico utilizado en esta investigación, así como las técnicas de recolección de datos empleadas para la obtención de la base de datos, a partir de la cual se generarán los pronósticos correspondientes.

En el cuarto capítulo se detallarán los datos generales de la empresa, así como la aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC). Adicionalmente, se realizará un análisis completo de los modelos matemáticos ARIMA y SARIMA, con el fin de obtener un pronóstico preciso que permita desarrollar una planificación maestra de producción adecuada.

En el capítulo cinco se presentarán los resultados obtenidos, los cuales serán analizados y detallados en las conclusiones, junto con sus respectivas referencias bibliográficas que respaldan y consolidan la investigación realizada. Adicionalmente, se incluirán anexos que muestran el proceso de forma fotográfica, así como la programación de actividades correspondiente a cada fase de elaboración del estudio.

1.2 Planteamiento del Problema

La tecnología ha impulsado significativamente el desarrollo de la industria metalúrgica. No obstante, una planificación insuficiente en las etapas del proceso de producción ha perjudicado la gestión, provocando retrasos, incrementando los costos y generando demoras innecesarias. Paralelamente, la contracción del mercado ha exacerbado las críticas hacia los productos, mientras que la volatilidad en los precios de las materias primas ha debilitado la fidelidad de los clientes. Como resultado, tanto las microempresas como las macroempresas enfrentan una disminución en su utilidad neta, afectando su desempeño en el ámbito global de la industria y la producción.

La producción de puertas enrollables ha impactado su utilidad y productividad, generando dificultades en el cumplimiento de los plazos de entrega. Aunque el producto interno bruto (PIB) ha registrado un crecimiento trimestral del 7%, las altas tasas de desempleo derivadas de la modernización industrial han llevado a una operación continua de las máquinas, estandarizando procesos repetitivos. Como resultado, muchas microempresas manufactureras en zonas industriales han desaparecido, reemplazando el trabajo manual con procesos automatizados (Morales et al., 2024).

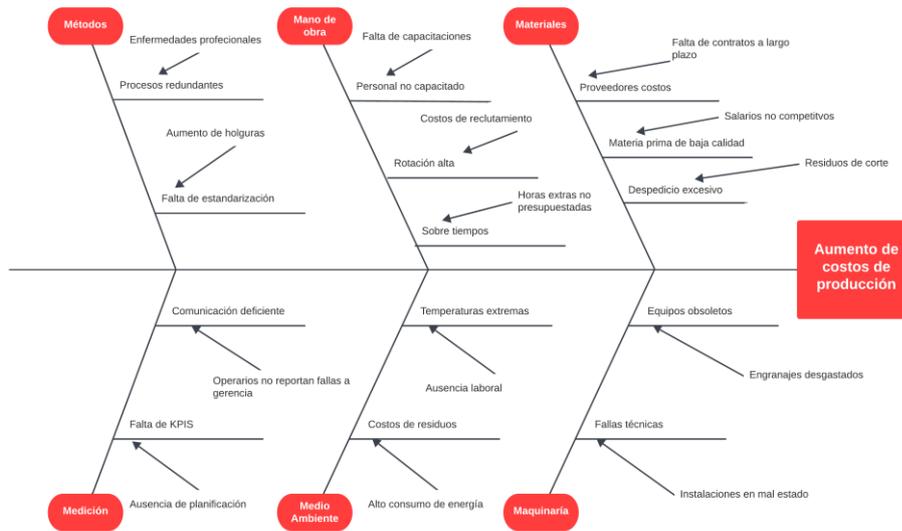
En la provincia de Chimborazo, los cambios económicos han tenido un impacto negativo progresivo. La emisión tardía de permisos de funcionamiento ha provocado pérdidas significativas y una disminución en el índice general de ventas. Además, el aumento del impuesto del 12% al 15% ha intensificado estas dificultades. Como consecuencia, la calidad de vida de la población ha disminuido, ya que los salarios quincenales ofrecidos por las empresas resultan insuficientes para contrarrestar los factores adversos que enfrentan los trabajadores (Agüero, 2011).

Industrias Metálica Vilema (IMEV) enfrenta retrasos en la producción debido a la prolongación de los tiempos de fabricación y al aumento en los requerimientos de materiales. La empresa depende de dos proveedores cuyo inventario insuficiente genera demoras de hasta 15 días tras realizar los pedidos, afectando el abastecimiento de materia prima. Esta situación repercute negativamente en la planificación operativa y causa insatisfacción entre los clientes.

IMEV, en su fase de crecimiento, busca consolidarse en nuevos mercados mientras enfrenta una competencia más intensa. La volatilidad del mercado exige que la empresa mejore y se adapte a las condiciones cambiantes, considerando como causa raíz el aumento de los costos de producción identificado en el diagrama de Ishikawa presentado en la figura 1, sin comprometer la calidad de sus productos. No obstante, la falta de una planificación maestra de producción limita su capacidad de anticipación ante futuras necesidades, las cuales podrían abordarse mediante pronósticos bien estructurados (Gutiérrez, 2022).

Figura 1

Diagrama de Ishikawa del área de producción de puertas enrollables



Nota. Elaborado por el autor

El diagrama de Ishikawa evidenció diversas falencias en la empresa Industrias Metálicas Vilema (IMEV), las cuales deben ser analizadas en detalle según las 6M: mano de obra, métodos, máquinas, materiales, medio ambiente y medición.

1.3 Mano de obra

La alta rotación laboral en Industrias Metálicas Vilema (IMEV) ha generado problemas relacionados con el tiempo de entrenamiento de los trabajadores, lo que retrasa los procesos y provoca desperdicios durante las prácticas. Las capacitaciones empresariales no son constantes debido a la urgencia de cumplir con los plazos de entrega, según la gerente Maricela Vilema. Esto evidencia la falta de personal con competencias adecuadas, lo que lleva a la contratación de empleados sin la preparación necesaria, asumiendo riesgos involuntarios para reducir costos de mano de obra.

1.4 Métodos

La falta de estandarización en los procesos de IMEV ha generado redundancias que, a lo largo de su trayectoria, pueden derivar en enfermedades profesionales debido a un ambiente laboral deficiente, marcado por la falta de comunicación entre trabajadores y supervisores.

Según la gerente propietaria, la empresa depende exclusivamente del conocimiento empírico de los empleados para el ensamblaje de puertas enrollables, lo que impide un adecuado control de las operaciones y limita la eficiencia del proceso productivo.

1.5 Máquinas

El estado de las maquinarias es un factor clave en la operación productiva de Industrias Metálicas Vilema (IMEV). La falta de conocimiento técnico y la exposición de instalaciones eléctricas con señalización deficiente incrementan los riesgos operativos. Estos problemas reducen la vida útil de los equipos, elevando los costos de reparación y, en el peor de los casos, obligando a la adquisición de nueva maquinaria, lo que representa pérdidas significativas para la empresa.

1.6 Materiales

IMEV opera sin contratos de suministro a largo plazo, lo que afecta la calidad y disponibilidad de materiales. La incorrecta selección de insumos ha generado desperfectos en el ensamblaje de puertas enrollables. La principal causa raíz a corregir es la imprecisión en los cortes, que provoca altos niveles de desperdicio y acumulación en zonas de libre acceso, dificultando el tránsito continuo de los operadores.

1.7 Medio ambiente

La ausencia de permisos de mitigación de residuos ha generado problemas de comunicación con los sectores aledaños a la planta, agravados por el ruido excesivo. Esta situación afecta la interacción entre la empresa y su entorno, provocando errores de comunicación. Además, la exposición de los trabajadores a materiales inflamables debido al uso de soldadoras representa un riesgo ambiental y laboral. La falta de ventilación adecuada y una estructura ineficiente contribuyen a la ausencia no programada del personal operativo, afectando la productividad y seguridad en el trabajo.

1.8 Medición

La ausencia de medición de la Eficiencia General de los Equipos (OEE), un indicador clave, puede generar defectos en el desempeño. La falta de monitoreo manual limita la capacidad de los equipos para operar de forma óptima, lo que los hace propensos a

fluctuaciones energéticas que podrían causar catástrofes irreparables. Estas fallas no solo retrasan la producción, sino que también restringen la creación de un espacio laboral adecuado. Al elaborar el diagrama de Ishikawa, se identificó como punto crítico a contrarrestar los residuos de corte. Para abordar esta problemática, se desarrolló una matriz de interrelación que detalla las causas principales que ralentizan el proceso de fabricación de puertas enrollables, siendo los residuos de corte uno de los factores más significativos. La matriz analiza la relación entre las causas delimitadas: mano de obra, métodos, máquinas, materiales y medición, y sus respectivas ramificaciones, priorizando las áreas con mayor impacto según los valores de evaluación. Los criterios de impacto utilizados son: 0 para ausencia de impacto, 1 para impacto bajo y 2 para impacto moderado estos resultados se presentan a continuación(Romero. et al., 2019).

Tabla 1

Matriz de intereses

Causas/Sub causas	Residuos de cortes Salarios	no competi	Falta de contratos a largo plazo Horas extras no presupues	Costos de reclutami ento	Errores y retrabajos	Aumento de	Enfermed ades profesion	Engranaje s	Almacene s	Alto consumo No reportan faltas
Comunicación deficiente	13	1	1	1	1	2	2	1	1	1
Costos de residuos	2	12	1	1	1	1	1	1	1	1
Desperdicio excesivo	1	2	13	1	1	1	1	2	1	1
Equipos obsoletos	1	1	1	12	1	1	1	1	1	2
Falla técnicas	1	1	1	1	11	1	1	1	1	1
Falta de estandarización	2	2	3	2	3	27	3	3	3	1
Falta de indicadores clave de desempeño	1	1	1	1	1	1	13	1	2	1
Materia prima de baja calidad	2	2	1	1	1	1	1	13	1	1

Multas por contaminación	1	1	1	1	2	1	1	1	12	1	1	1
Personal no capacitado	1	1	1	1	1	1	1	1	1	11	1	1
Procesos redundantes	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	13	2
Proveedores costosos	1	1	1	2	1	1	1	1	3	14	1	1
Rotación alta	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	12	1
Sobretiempo	1	2	3	2	2	1	1	1	1	2	2	18

Nota. Elaborado por el autor

Falta de estandarización (valor 27): La falta de estandarización representa la causa de mayor impacto en comparación con otras. Para abordar esta problemática y mejorar la producción, es necesario realizar un estudio de tiempos que permita identificar oportunidades de optimización y aumentar la eficiencia operativa.

Sobretiempo (valor 18): El sobretiempo tiene un impacto moderado en la operación. Con una planificación adecuada de la producción, es posible gestionar eficientemente las horas extras, reducir el cansancio laboral asociado y mejorar el bienestar de los trabajadores.

Proveedores costosos (valor 14): El impacto de los costos de los proveedores es leve. Para optimizar el abastecimiento de la demanda, se implementará un modelo matemático que permita pronosticarla de manera precisa, facilitando así la inversión en los proveedores en el momento adecuado.

1.9 Formulación del problema

Al consultar directamente con la gerente general, se evidenció desconocimiento respecto al proceso de planificación, especialmente en lo relacionado con la alta cantidad de residuos generados. Ante esta situación, surge la siguiente interrogante:

¿ Como puede un modelo matemático optimizar la planificación de producción en la empresa Industrias Metálicas Vilema, permitiendo satisfacer la demanda de manera eficiente y sostenible?

1.10 Objetivos

1.10.1 Objetivo General

- Diseñar un plan maestro de producción basado en el modelo SARIMA, con el fin de optimizar la fabricación de puertas enrollables y garantizar la competitividad y posición de IMEV en el mercado.

Objetivos Específico

- Identificar y priorizar los cuellos de botella en el proceso de fabricación de puertas enrollables mediante la aplicación de la Teoría de las Restricciones (TOC), con el fin de optimizar la eficiencia en la producción.

- Utilizar métodos matemáticos para prever la demanda de puertas enrollables, con el fin de proyectar los requerimientos de producción y optimizar la planificación de los recursos necesarios.

- Desarrollar un plan maestro de producción (MPS) basado en el pronóstico de demanda, con el propósito de optimizar la capacidad productiva y asegurar la entrega eficiente de productos.

1.10.2 Justificación

La competencia y la necesidad de disminuir el sobretiempo, manteniendo la rentabilidad, han impulsado a Industrias Metálicas Vilema (IMEV) a desarrollar investigaciones para implementar un modelo matemático. No obstante, según declaraciones de la gerencia, la insatisfacción de los operarios en el desempeño de sus funciones ha impactado negativamente en la productividad de la empresa.

La elaboración de pronósticos en un período determinado permite prever tendencias según el modelo matemático con menor error cuadrático. A través de un entrenamiento mediante software, es posible evaluar su capacidad predictiva y determinar su utilidad para optimizar la planificación de producción, mejorando así la productividad y aumentando la eficiencia operativa.

La identificación y eliminación de cuellos de botella en la producción no solo reduce los retrasos operativos, sino que también mejora las condiciones laborales de los operarios. A través del análisis de una base de datos empresarial, es posible evaluar el posicionamiento del producto en el mercado, validar pronósticos y estimar el volumen de ventas a corto y largo plazo. Esto facilita la reducción de inventarios y desechos generados en la transformación de la materia prima, al tiempo que impulsa la adquisición de equipos nuevos y necesarios para optimizar la eficiencia operativa. Como resultado, IMEV fortalece sus procesos productivos.

Una planificación eficiente de la producción asegura disponer del material necesario para los meses siguientes, incluso frente a imprevistos, proporcionando cobertura suficiente para mantener la continuidad operativa. Esto permite adaptarse al trabajo, explorar nuevos nichos de mercado y alcanzar un mayor alcance comercial. Al mismo tiempo, facilita la contratación de personal competente, incrementando las oportunidades de venta y fortaleciendo el posicionamiento de la empresa.

Para comparar los factores que intervienen en la empresa se va a realizar un análisis Foda donde se detallaran cual es una de las competencias directas e indirectas ayudando a la explicación de la utilidad del método estadístico SARIMA ayudará en la empresa a continuación.

Tabla 2

Matriz de FODA

Empresas	Fortalezas	Debilidades	Oportunidades	Amenazas
IMEV	➤ Proceso semi automatizado.	➤ Fortalecer las capacitaciones del personal.	➤ Existe nuevos nichos de mercado.	➤ Hay varios talleres que realizar el mismo proceso. ➤ Infraestructura en mal estado.
Metaluxor	➤ Recursos humanos accesibles.	➤ Tiene pocos proveedores.	➤ Mejor trato con el cliente.	➤ Falta de comunicación a las partes interesadas.
Metalum Mateo Sebastián	➤ Alianzas con empresas distribuidoras de acero.	➤ No existe una estandarización de procesos.	➤ Captar a diferentes públicos.	➤ Desactualización de la infraestructura

Nota. Elaborado por el autor

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

Como parte de esta investigación sobre productividad y planificación de la producción, se llevó a cabo una revisión detallada de tesis y artículos científicos. A continuación, se resumen los hallazgos más destacados.

Según Adonis et al., 2020 en su desarrollo investigativo titulado como “Propuesta de plan maestro de producción en la empresa Alex's Shoes S.A ubicada en el departamento de Granada, Nicaragua”, se basa en la propuesta de una metodología que incluye el desarrollo de diversos planes agregados. Estos planes son diseñados utilizando el software "Curve Expert Professional" con el objetivo de obtener información precisa sobre la demanda monetaria en periodos establecidos.

En función de lo planteado Rojas. et al., 2019 en su artículo científico titulado como “La teoría de restricciones y la optimización como herramientas gerenciales para la programación de la producción: Una aplicación en la industria de muebles”, se identificó una restricción en la etapa de mecanizado de muebles de cocina, con una utilización del 193.71%, aplicando la Teoría de Restricciones (TOC). Este enfoque permitió incrementar las utilidades en un 87.62%, destacando la efectividad de la metodología para optimizar los procesos y maximizar los resultados financieros.

En esta perspectiva Castro & José, 2008 en su estudio investigativo titulado “Estimación del cambio climático en Pamplona Norte de Santander, Un análisis de series temporales”, la evolución de la variable temperatura se estudió utilizando el modelo matemático ARIMA, evidenciándose un aumento sostenido durante los últimos 30 años. Este enfoque permite prever tendencias futuras con base en datos históricos, proporcionando una herramienta valiosa para la planificación y toma de decisiones en relación con los efectos del cambio climático.

2.2 Marco Teórico

El marco teórico de esta investigación se fundamenta en conceptos clave de la administración de operaciones.

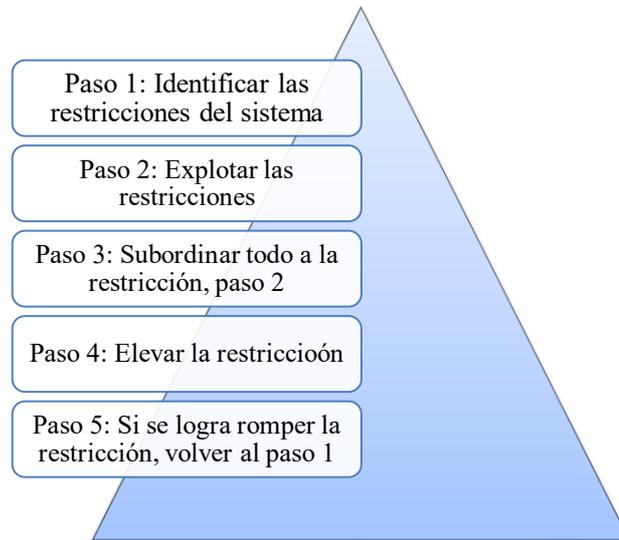
Teoría de restricciones

La Teoría de Restricciones, desarrollada por el físico israelí Eliyahu Goldratt en la década de 1980, se ha utilizado ampliamente en industrias productivas para apoyar a las empresas en el logro de sus objetivos mediante la gestión eficiente de los procesos productivos.

Su enfoque principal es identificar y eliminar restricciones que limitan la capacidad operativa, optimizando la producción y maximizando las utilidades. Este método se fundamenta en una serie de principios explicados en la figura 2 (Chase et al., 2009).

Figura 2

Proceso de focalización de la Toc



Nota. Fuente (López et al., 2006)

2.3 Capacidad tasada

La capacidad de diseño se define como la producción máxima que un sistema puede alcanzar en un periodo determinado bajo condiciones normales. En el caso de las puertas enrollables, esta capacidad equivale al número máximo de unidades que pueden fabricarse semanal, mensual o anualmente, basado en el tiempo total de trabajo disponible. A nivel global, las industrias han adoptado una estrategia más eficiente que no implica operar al máximo de sus recursos. En cambio, prefieren producir al 85% de su capacidad, lo que les permite reducir costos, optimizar recursos y mantener un equilibrio operativo óptimo (Heizer et al., 2009).

Los gerentes pueden alcanzar una producción eficiente y garantizar la estabilidad en la distribución de los procesos, tanto en términos de media como de varianza, mediante el uso de técnicas de control operativo. Estas estrategias permiten minimizar el desperdicio de recursos y evitar la necesidad de mano de obra adicional. Para determinar la capacidad de producción en un período de tiempo, se llevaron a cabo cálculos que se presentan en la ecuación 1 y cuyos resultados se encuentran en la tabla 7.

Ecuación 1. Capacidad Tasada

$$Capacidad\ tasada = (capacidad\ efectiva)(eficiencia)$$

2.4 Capacidad efectiva

La capacidad efectiva es el objetivo que la empresa busca alcanzar, considerando las limitaciones de sus actividades operativas actuales. Frecuentemente, esta capacidad resulta inferior a la capacidad inicialmente prevista. Mediante la ecuación 2, se han obtenido los resultados mostrados en la tabla 7. Las restricciones operativas identificadas limitan la capacidad real de la empresa, dificultando el logro de la capacidad proyectada en un periodo determinado (Heizer et al., 2009).

Ecuación 2. Capacidad efectiva

$$Capacidad\ efectiva = \frac{Producción\ real}{Eficiencia}$$

2.5 Ciclos en el estudio

Los ciclos de estudio se desarrollarán mediante métodos estadísticos, lo que llevó a los analistas a crear una tabla de referencia que contemple el promedio de tiempos observados. Esta tabla permitirá establecer un marco para realizar estudios de tiempos equilibrados, facilitando la evaluación de actividades realizadas y los tiempos individuales que reflejan la práctica estadística. Además, contribuirá a generar confianza en los resultados obtenidos, cuya precisión se detalla en la tabla 3.

Tabla 3

Número recomendado de ciclos de observación

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

Nota. Información tomada de time Study Manual de General electric.

El cálculo del tiempo estándar de las operaciones requiere determinar el número adecuado de observaciones para estandarizar cada subproceso. Este cálculo debe considerar factores como el tiempo normal de ejecución y la holgura, que corresponde a los retrasos inevitables enfrentados por el operador durante la realización de una operación detallados en la tabla 7 (Niebel, 2009).

Ecuación 3. Tiempo Normal

$$TN = TO \times C/100$$

Donde:

TN: Tiempo normal

TO: Tiempo medio observado

C: Calificación de desempeño

Ecuación 4. Tiempo estándar

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

Donde:

TE: Tiempo estándar

TN: Tiempo normal

Holgura: Retrasos inevitables

Las unidades producidas proporcionan resultados clave para evaluar el desempeño operativo. Estos valores permiten optimizar el tiempo de funcionamiento de la maquinaria y el rendimiento de los operarios, considerando posibles retrasos y tiempos inesperados que afectan la eficiencia. La tabla 4 muestra el impacto de estos factores en la operación, mientras que la tabla 7 presenta las resoluciones correspondientes mencionadas en las ecuaciones 3 y 4, facilitando el análisis y la toma de decisiones estratégicas (Niebel, 2009).

Tabla 4

Guía para calificar la velocidad

Calificación	Puntos verbales	ancla	Velocidad de caminata (millas/horas)	Cartas repartidas cada ½ minuto
0	Sin actividad		0	0
67	Muy lento, torpe		2	35

100	Estable, deliberado	3	52
133	Activo, negociante	4	69
167	Muy rápido, alto grado de destreza	5	87
200	Límite superior por un periodo corto	6	104

Nota. información tomada de (Niebel, 2009)

Eficiencia

La productividad en la producción se mide como un porcentaje del rendimiento operativo a través de la técnica de observación directa. Este método permite asignar tareas adecuadas a cada trabajador, minimizando áreas críticas y evitando problemas administrativos. Como resultado, se garantiza la disponibilidad del producto terminado en el tiempo requerido por la empresa, además de mantener una capacidad de reserva adecuada, cuyo cálculo se presenta en la siguiente ecuación (Chase et al., 2009).

Ecuación 5. Cálculo de la eficiencia

$$E = 100 \times \frac{H_e}{H_c} = 100 \times \frac{O_c}{O_e}$$

Donde

E= Porcentaje de eficiencia

H_e= horas estándar trabajadas

H_c= horas de reloj en el trabajo

O_e= producción esperada

O_c= producción actual

La ecuación 5 permite determinar la productividad de cada operación realizada en la fabricación de puertas enrollables. Esta ecuación facilita el cálculo del número de unidades que un operador puede producir en una jornada laboral de ocho horas, contribuyendo así a una mejor planificación y eficiencia operativa.

2.6 Throughput

La capacidad de producción de la fábrica depende del tiempo estipulado por el cliente y debe considerar los costos fijos de mano de obra. Si el proceso permite la automatización, la planificación para su implementación o uso rutinario se vuelve más eficiente, evitando altos costos de inversión. Esto optimiza la capacidad disponible y mejora la gestión del espacio, asegurando un rendimiento operativo más efectivo (Heizer et al., 2009).

2.7 Diagrama de procesos

Un diagrama de flujo representa los pasos consecutivos de las operaciones, utilizando figuras específicas para identificar la naturaleza de cada actividad. Su objetivo es analizar cada etapa del proceso y su transformación. Estas actividades se clasifican en cinco categorías principales: operaciones, transportes, inspecciones, retrasos o demoras, y almacenajes. La simbología utilizada en los procesos para la creación del diagrama de flujo se detalla en la siguiente tabla (Criollo, 2018):

Tabla 5

Acciones que tiene lugar en cada proceso

Actividad	Definición	Símbolo
Operación	Una actividad u operación se representa mediante un círculo, simbolizando el movimiento de un cuerpo humano o robótico, ambos considerados como recursos dentro del proceso.	
Transporte	La distancia recorrida por el producto o alguna de sus partes durante su traslado continuo se representa mediante una flecha. Este movimiento incrementa el tiempo de fabricación sin aportar valor al proceso, evidenciando un área de mejora para optimizar la eficiencia operativa	
Inspección	El proceso de revisión se representa mediante un cuadrado, simbolizando la verificación de que las partes de un producto en proceso cumplan con los estándares de calidad establecidos y no presenten defectos. Este paso es esencial para asegurar la integridad del producto y minimizar posibles fallos en etapas posteriores.	
Demora	El tiempo de retraso se representa gráficamente mediante una figura con forma de "D". Este concepto refleja el intervalo durante el cual una máquina no puede iniciar un trabajo, lo que afecta negativamente la producción. Estas demoras suelen estar asociadas a	

	<p>problemas de mantenimiento o sobrecarga, impactando la eficiencia operativa y el cumplimiento de los plazos establecidos.</p>	
Almacenaje	<p>La materia prima almacenada se representa mediante un triángulo y se encuentra ubicada en un área accesible para toda la empresa. Su disposición estratégica facilita su uso inmediato en los procesos de producción, garantizando continuidad operativa y eficiencia.</p>	
Actividad combinada	<p>Son operaciones que pueden revisarse y ejecutarse de forma simultánea dentro del proceso productivo de cualquier empresa. Estas se representan gráficamente mediante un triángulo que contiene un círculo en su interior, simbolizando la naturaleza combinada y coordinada de las actividades involucradas.</p>	

Nota. Elaborado por el autor

2.8 Análisis de series de tiempo basado en modelos matemáticas

Los modelos matemáticos son herramientas esenciales para realizar pronósticos mediante el análisis de datos históricos. Por ejemplo, las ventas registradas durante las últimas seis semanas pueden emplearse para estimar las ventas de la séptima semana. Del mismo modo, los datos de ventas recopilados trimestralmente permiten prever los resultados de los trimestres siguientes. Aunque ambos casos se centran en datos de ventas, es probable que cada uno requiera modelos de series de tiempo diferentes para realizar predicciones más precisas y ajustadas (Chase et al., 2009).

Los *outliers* presentes en la base de datos, como se muestra en la figura 7, pueden influir en la interpretación de tendencias y proyecciones. En cuanto a los horizontes de tiempo en el pronóstico empresarial, los términos corto, mediano y largo plazo pueden variar según el contexto. Sin embargo, comúnmente se define el corto plazo como un periodo inferior a tres meses, el mediano plazo entre tres meses y dos años, y el largo plazo como cualquier periodo que supere los dos años (Chase et al., 2009).

2.9 Modelo SARIMA

El modelo SARIMA, utilizado para proyecciones en series de tiempo con patrones periódicos, incorpora componentes estacionales en su estructura. Se basa en una fórmula matemática que deriva de la estructura del modelo ARIMA, como se detalla en la ecuación 6 (Bartholomew et al., 1971).

Ecuación 6. Fórmula general de SARIMA

$$\phi p(B)\Phi P(Bs)(1-B)d(1-Bs)Dyt = \theta q(B)\Theta Q(Bs)\epsilon t$$

Donde se detalla los elementos clave:

$\phi p(B)$ y $\theta q(B)$: Representan los coeficientes de los términos autorregresivos y de promedio móvil, respectivamente.

$\Phi P(Bs)$ y $\Theta Q(Bs)$: Indican los coeficientes estacionales.

$(1-B)d$ y $(1-Bs)D$: Son operadores de diferenciación para hacer estacionaria la serie temporal.

Dyt y ϵt : podría ser la variable dependiente transformada, mientras que ϵt representa el término de error.

2.10 Gráfico de autocorrelación

La gráfica de autocorrelación refleja la relación entre una serie de datos y un desfase determinado. Esta puede incluir valores atípicos que generan sesgos debido a la variabilidad de los datos. Muchas empresas recurren a este análisis para evaluar información histórica y ajustarla a una tendencia, generalmente mediante regresión lineal. Este método utiliza la ecuación de la recta desde un punto de origen, donde los datos, al ser introducidos, tienden a acercarse a la línea base, facilitando así el análisis temporal (Vélez et al., 2015).

2.11 Monitoreo y control de pronósticos

La administración tiene la responsabilidad de asegurar la precisión de los pronósticos, utilizando métodos que permitan controlar los resultados y garantizar una mayor confiabilidad en cada proceso. Estas técnicas requieren ajustes según las tendencias actuales del mercado, con el objetivo de minimizar errores en la previsión de la demanda. Asimismo, las gráficas de control son herramientas clave para representar visualmente los límites dentro de los cuales el pronóstico permanece válido, respaldando la información generada mediante software especializado (Heizer et al., 2009).

Las señales de control son herramientas clave para ajustar las previsiones, permitiendo comparar los datos reales con los pronosticados. Entre estas señales destacan (Heizer et al., 2009):

- **MAD (Desviación Absoluta Media):** Evalúa la precisión del pronóstico, proporcionando una medida clara de su fiabilidad.
- **RSFE (Suma Continua de Errores del Pronóstico):** Indica si la demanda muestra una tendencia al alza de forma consistente, ya sea mensual o en períodos específicos. Además, el RSFE permite identificar sesgos, tanto positivos como negativos, dentro de una tendencia constante. Ambas señales pueden ajustarse mediante técnicas como el suavizamiento exponencial, garantizando una mayor exactitud en los pronósticos y contribuyendo a la toma de decisiones estratégicas.

2.12 Preparación para el modelado (train-test split)

Para evaluar la capacidad predictiva de los modelos, se realizó una partición de los datos en dos conjuntos: entrenamiento (train) y prueba (test). Los últimos seis meses fueron reservados para la evaluación final, asegurando que los modelos sean validados con datos no utilizados en el entrenamiento, lo que permite medir su desempeño y precisión en condiciones reales.

Las principales métricas utilizadas para la comparación de modelos fueron:

R² (Coeficiente de determinación): Indica la proporción de la variabilidad de la demanda explicada por el modelo. Un valor cercano a 1 refleja un buen ajuste.

MSE (Error Cuadrático Medio): Mide la magnitud promedio de los errores al elevarlos al cuadrado, penalizando más los errores grandes.

El análisis de estas métricas permitió seleccionar el modelo con mejor desempeño, asegurando predicciones más precisas y confiables.

2.13 Componentes de la demanda

La demanda está compuesta por varios factores, como la cantidad total mensual o anual, la temporalidad del producto y las nuevas expectativas del mercado. Su comportamiento está influenciado por la causalidad de la curva de demanda. Cuando un producto ya está posicionado como líder, sus datos pueden presentar heterogeneidad. La falta de análisis de datos, junto con el crecimiento de la inversión en mercados dinámicos, la inflación y los cambios en el entorno político, pueden afectar la demanda y dificultar la previsión de la producción. Este desafío se

intensifica en un contexto donde la Industria 5.0 está transformando el mercado laboral y la rentabilidad de las empresas productoras (Chase et al., 2009).

2.14 Administración de la demanda

El propósito de la gestión de la demanda es analizar el requerimiento bruto generado por la empresa con el objetivo de optimizar el sistema. Esto garantiza la eficiencia y el uso adecuado de los recursos dentro del plazo establecido por los compradores en el sector manufacturero. Este enfoque es aplicable tanto a pymes como a grandes empresas y se basa en dos tipos principales de demanda: independiente y dependiente. Una gestión eficiente de la demanda no solo fomenta la fidelidad del cliente, sino que también mejora el rendimiento de los operadores, reduce los tiempos de producción y maximiza la eficiencia operativa (Chase et al., 2009).

2.15 Pronósticos de la demanda

La programación exitosa de un producto o servicio requiere realizar un pronóstico que proyecte la demanda en un periodo específico y se ajuste a la demanda real. Para ello, la empresa debe alcanzar sus metas de producción dentro de la planificación de ventas, basándose en la precisión del pronóstico derivado del análisis de datos históricos. Este proceso contribuye significativamente a la cadena de valor y es esencial para elaborar un plan de negocios sólido, convirtiéndose en uno de los métodos más efectivos para impulsar el éxito de la empresa (Chapman, 2006).

2.16 Programación Maestra

El plan maestro es una programación detallada que se fundamenta en la percepción del analista y debe estar alineada con la producción de la empresa y el rendimiento económico a corto plazo. Su propósito es satisfacer las demandas del mercado mientras optimiza los recursos para cumplir con los objetivos financieros establecidos. Este plan incluye la planificación de la producción, la gestión de materia prima y fuerza laboral, y la coordinación de diversos procesos productivos. Aunque los procesos puedan implicar transformaciones diferentes, es posible que utilicen la misma maquinaria, favoreciendo la eficiencia y el aprovechamiento de los recursos disponibles (Heizer et al., 2009).

2.17 Marco legal

2.17.1 Políticas económicas

Constitución de la República del Ecuador.

De acuerdo al artículo 284, numeral 2 establece. - “Incentivar la producción nacional, la productividad y competitividad sistémicas, la acumulación del conocimiento científico y tecnológico, la inserción estratégica en la economía mundial y las actividades productivas complementarias en la integración regional.” (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Acorde al artículo 285, numeral 3 menciona. - “La generación de incentivos para la inversión en los diferentes sectores de la economía y para la producción de bienes y servicios, socialmente deseables y ambientalmente aceptables.” (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Según el artículo 286 menciona. - “Las finanzas públicas, en todos los niveles de gobierno, se conducirán de forma sostenible, responsable y transparente y procurarán la estabilidad económica. Los egresos permanentes se financiarán con ingresos permanentes. Los egresos permanentes para salud, educación y justicia serán prioritarios y, de manera excepcional, podrán ser financiados con ingresos no permanentes.” (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

Por su lado en el artículo 287 establece. - “Toda norma que cree una obligación financiada con recursos públicos establecerá la fuente de financiamiento correspondiente. Solamente las instituciones de derecho público podrán financiarse con tasas y contribuciones especiales establecidas por ley.” (Constitución de la República del Ecuador, 2008)

2.18 Código del comercio

Según el artículo 74 se manifiesta. - “Los corredores son agentes reconocidos por la Ley para dispensar su mediación a los comerciantes y facilitarles la conclusión de sus contratos.” (Código de Comercio, 2013)

2.19 Código de trabajo

Mediante el código trabajador se estipula en el artículo 46, numeral g lo siguiente. - “Hacer competencia al empleador en la elaboración o fabricación de los artículos de la empresa” (Código de Trabajo, 2020).

2.20 Glosario de términos

Para el desarrollo de esta tesis, es fundamental considerar algunos conceptos de administración de operaciones, los cuales se detallan a continuación.

Proceso

Es una secuencia de pasos consecutivos que transforma las entradas en salidas mediante el uso de recursos y controles automatizados. Este enfoque mejora la cadena de valor, incrementa la productividad y mantiene la calidad del producto. La implementación de tecnologías y operaciones unitarias impulsa la mejora continua de los procesos, utilizando métodos de control que optimizan el consumo de materiales y minimizan posibles impactos negativos en las ventas (Heizer et al., 2009).

2.21 Pronósticos

La planificación futura para la adquisición de materia prima se basa en pronósticos realizados mediante cálculos matemáticos y estadísticos. Este enfoque competitivo permite actualizar conocimientos y adoptar métodos más eficientes, reemplazando prácticas obsoletas. La selección del método debe estar alineada con los objetivos de producción, considerando tanto las características como las cantidades facturadas según la demanda prevista. Para asegurar la eficacia en la proyección de escenarios futuros, el personal debe tener experiencia en ventas dentro de la industria metalúrgica. Además, la colaboración con el agente vendedor es fundamental para mejorar los pronósticos, combinando la intuición con un análisis cuantitativo para lograr una proyección más precisa (Heizer et al., 2009).

2.22 Horizontes de tiempo del pronóstico

El pronóstico común organiza los períodos de tiempo con base en una línea base, facilitando la identificación de la mayor concurrencia de la demanda en el mercado. Este enfoque permite establecer criterios claros para analizar tendencias y planificar estrategias comerciales más efectivas (Heizer et al., 2009):

2.23 Pronóstico a corto plazo

El pronóstico a corto plazo, que abarca entre seis y doce meses, facilita la planificación de la mano de obra requerida y la definición de estrategias para el proceso productivo. También permite asignar líderes responsables de garantizar la continuidad de la producción, evitando retrasos innecesarios y optimizando la eficiencia operativa (Heizer et al., 2009).

2.24 Pronóstico para el futuro cercano

Las operaciones a nivel táctico se proyectan en un periodo de uno a tres años, adaptándose a la planificación de procesos, la enajenación de activos, proforma y gestión de la liquidez. Este enfoque permite explorar los planes operativos anuales de cada departamento, fomentando una mayor fluidez empresarial y previniendo contratiempos en su implementación, asegurando la alineación estratégica entre recursos y objetivos (Heizer et al., 2009).

2.25 Pronóstico para el futuro

Son planes estratégicos diseñados para un periodo de tres años o más, orientados a la implementación de nuevas ideas para mejorar el posicionamiento en el mercado. Estos planes tienen el potencial de convertir un producto en interrogante, atrayendo nuevos clientes y ampliando las oportunidades de crecimiento. Además, contemplan el desarrollo de la infraestructura necesaria, fundamentado en estudios previos, con el propósito de incrementar la rentabilidad y garantizar la sostenibilidad de la empresa (Heizer et al., 2009).

2.26 Planificación de requerimiento de materiales (MRP)

La planificación de recursos materiales es un sistema de gestión que permite coordinar la producción y los inventarios. Su objetivo es establecer los tiempos y las cantidades requeridas para la fabricación y el aprovisionamiento de materiales, asegurando una operación eficiente y alineada con la demanda prevista (Heizer et al., 2009).

2.27 Planificación maestra de producción (PMP)

La planificación maestra es un proceso metódico y estructurado, diseñado para lograr un objetivo específico. Este proceso agrupa los recursos de manera general o global, asegurando una coordinación eficiente y alineada con las metas establecidas (Heizer et al., 2009).

2.28 Productividad

El nivel de eficiencia se refiere a la capacidad de utilizar los recursos disponibles de manera óptima para alcanzar objetivos específicos. Este enfoque busca maximizar el rendimiento y minimizar el desperdicio, garantizando que los recursos sean empleados de forma eficaz y alineados con las metas establecidas (Heizer et al., 2009).

2.29 Pronósticos

Es una técnica que utiliza experiencias pasadas como base para anticipar expectativas, facilitando la proyección de una demanda dependiente. Este enfoque permite analizar patrones históricos y aplicar métodos predictivos para planificar con mayor precisión los requerimientos futuros en función de relaciones causales identificadas (Heizer et al., 2009).

2.30 Horizonte temporal

Un pronóstico se clasifica según el horizonte de tiempo que cubre, lo cual determina el período de planificación del trabajo y la adquisición de los insumos requeridos para su ejecución. Esta clasificación permite ajustar las estrategias operativas y garantizar la disponibilidad de recursos en función de las necesidades previstas (Heizer et al., 2009).

2.31 Demanda dependiente

La demanda dependiente se refiere a la necesidad de un producto o servicio que surge a partir de la demanda de productos o servicios relacionados. Por ejemplo, si una empresa vende mil triciclos, requerirá mil ruedas delanteras y dos mil ruedas traseras. En este caso, no es necesario realizar un pronóstico, sino simplemente tabular la demanda interna basada en la cantidad de triciclos vendidos (Heizer et al., 2009).

2.32 Demanda independiente

En la demanda independiente, las necesidades de diferentes piezas son autónomas y no están vinculadas entre sí. Por ejemplo, un centro de trabajo puede fabricar diversas piezas sin relación alguna para satisfacer una demanda externa específica. Por el contrario, en la demanda dependiente, la necesidad de una pieza surge de su papel dentro de un conjunto de nivel superior, y su fabricación está condicionada por los requerimientos del producto principal (Heizer et al., 2009).

2.33 Pronósticos económicos

Los pronósticos económicos permiten analizar el ciclo de negocios mediante la proyección de indicadores clave, como las tasas de inflación, la oferta monetaria, la construcción de viviendas y otros datos relevantes. Estos análisis son fundamentales para la planificación estratégica, ayudando a las empresas y gobiernos a tomar decisiones informadas en un contexto económico cambiante (Heizer et al., 2009).

2.34 Pronósticos tecnológicos

El ritmo de avance tecnológico impulsa la creación de nuevos y atractivos productos, generando la necesidad de instalar nuevas infraestructuras y disponer de recursos adicionales. Este proceso fomenta la innovación y el crecimiento en los mercados, pero también exige una planificación estratégica para garantizar la adaptación a los cambios tecnológicos (Heizer et al., 2009).

2.35 Pronósticos de la demanda

Los pronósticos de ventas son estimaciones de la demanda de bienes o servicios de una empresa. Estas proyecciones guían decisiones clave en áreas como la producción, la capacidad operativa y la programación. Además, constituyen la base para la planificación financiera, de marketing y de personal, asegurando una alineación estratégica con las necesidades del mercado (Heizer et al., 2009).

2.36 Desviación absoluta media (MAD)

La desviación absoluta media (MAD) es una métrica que calcula el promedio del valor absoluto de los errores en los pronósticos, utilizando la cantidad de meses analizados como base. Esta medida proporciona un valor cuantitativo representativo, útil para evaluar la precisión y confiabilidad de los modelos predictivos (Heizer et al., 2009).

CAPÍTULO III. METODOLOGIA

3.1 Tipo de Investigación

La investigación es de tipo descriptivo con un enfoque cuantitativo, ya que permitió el análisis detallado de la base de datos correspondiente a las ventas de la empresa durante un periodo de cinco años. Este análisis, realizado mediante modelos matemáticos, profundiza en la línea de tiempo de las ventas para identificar su comportamiento y contribuir a la predicción de pronósticos en futuros periodos (Sampieri et al., 2014).

3.2 Diseño de Investigación

El diseño de investigación identificado es no experimental, lo que significa que no se realizarán análisis sobre la información obtenida de la empresa Industrias Metálicas Vilema. Según (Sampieri et al., 2014), este tipo de estudio se basa en la observación de fenómenos existentes que no pueden ser manipulados directamente por el investigador. Se centra en el análisis de acontecimientos que ocurren en la realidad y sigue un enfoque transversal exploratorio, por lo que los datos necesarios para el análisis fueron extraídos en una única ocasión.

3.3 Técnicas de recolección de Datos

Las fuentes de información para la recopilación de datos se han evaluado a través de varios métodos, que se detallan a continuación:

3.3.1 Revisión documental

Los datos recopilados en la empresa Industrias Metálicas Vilema son analizados con el fin de apoyar estrategias centradas en la generación de pronósticos para un periodo específico. Este análisis facilita la creación de una base de datos que permite interpretar los resultados de manera sencilla, teniendo en cuenta factores como la estacionalidad y la variabilidad de los datos obtenidos. Estas acciones fortalecen la planificación estratégica y mejoran la eficacia en la toma de decisiones empresariales (Sampieri et al., 2014).

3.3.2 Entrevista directa

Este enfoque permite recopilar información directamente del campo de acción, centrándose en el área de producción, específicamente en los procesos de fabricación de rodamientos y bisagras. Además, se identifican los principales problemas, los cuales serán documentados mediante el uso de videos y fotografías para facilitar el análisis y la búsqueda de soluciones (Sampieri et al., 2014).

3.3.3 Observación directa

La observación directa permite registrar los hallazgos desde el inicio del proceso productivo, evaluando los datos recopilados a lo largo de la investigación. Esta sección se enfoca en la información mensual correspondiente al año 2023, incluyendo ventas, gastos en materiales y mano de obra, mediante el análisis detallado de las órdenes de producción. Este enfoque asegura una visión completa y precisa de los factores clave que influyen en el rendimiento operativo y financiero (Sampieri et al., 2014).

3.3.4 Población de estudio y tamaño de muestra

Para la población consta la cantidad de ventas de puertas elaboradas en cinco años de producción.

En la selección de la muestra se aplicó el método de muestreo estratificado, utilizando la segmentación por año como criterio principal. Este enfoque mejora la confiabilidad de los datos recopilados y reduce la posibilidad de distorsión. Además, facilita la elaboración de gráficos de series temporales que permiten identificar outliers, asegurando un análisis más exhaustivo y preciso. Como resultado, se analizaron 1,295 datos de las ventas de un periodo de tiempo con un nivel de confianza del 99% y un margen de error de $\pm 5\%$, obteniéndose finalmente una muestra 440 datos de ventas.

3.4 Hipótesis

3.4.1 Hipótesis nula

H_0 : El diseño de un plan maestro de producción no aumentará con una media igual al 75% de la cantidad de ventas en la línea de fabricación de las puertas enrollables.

3.4.2 Hipótesis alternativa

H_i : El diseño de un plan maestro de producción aumentará con una media mayor del 75% de la cantidad de ventas en la línea de fabricación de las puertas enrollables.

3.4.3 Operacionalización de variables

La base de datos obtenida durante la recolección de datos fue analizada utilizando técnicas estadísticas y modelos matemáticos, destacando las metodologías ARIMA y SARIMA. En la siguiente tabla se presentará el análisis realizado, mostrando los resultados clave que permiten interpretar el comportamiento de los datos y facilitar la generación de pronósticos precisos.

Tabla 6*Operalización de variables independientes y dependientes*

Variable	Definición	Indicadores	Técnicas
Producto terminado	Esta variable corresponde a las ventas de puertas enrollables, utilizadas como referencia para realizar un análisis estadístico mediante diferentes modelos matemáticos. A través de este análisis, es posible identificar patrones de comportamiento, tendencias de mercado y factores que influyen en la demanda, facilitando la generación de pronósticos más precisos.	Cantidad de ventas	Revisión documental
Fecha	Esta variable hace referencia a los años de producción registrados a partir de las ventas realizadas. Su análisis permite evaluar tendencias de crecimiento, identificar ciclos de demanda y optimizar estrategias de planificación en función del comportamiento histórico del mercado.	Años de producción	Revisión documental

Nota. Elaborado por el autor

3.5 Métodos de análisis, y procesamiento de datos

En el primer objetivo se tomarán cinco tiempos para establecer un tiempo estándar para cada proceso. Esto permitirá calcular la cantidad de piezas realizadas utilizando las ecuaciones 1 y 2, las cuales facilitan la verificación de la capacidad de cada subactividad. Este análisis

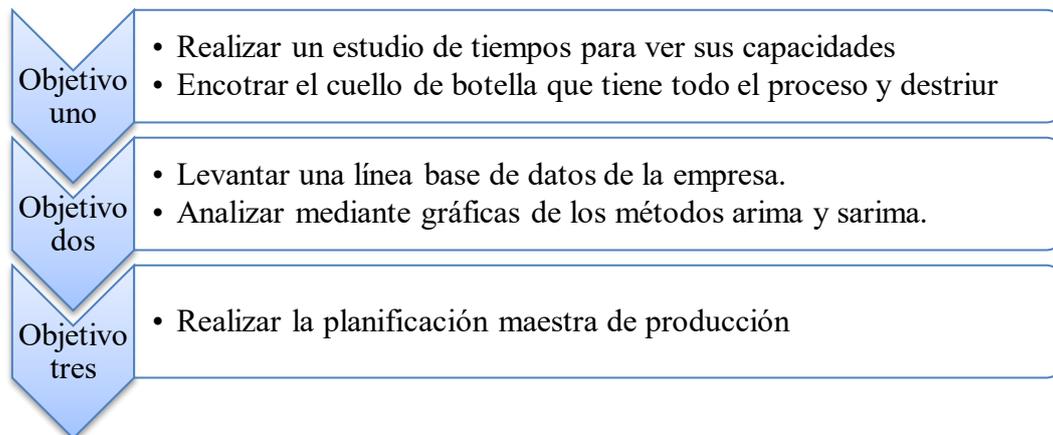
ayuda a identificar procesos que ralentizan otras actividades, optimizando el flujo de trabajo y la eficiencia operativa.

En el segundo objetivo, se extraerá una base de datos correspondiente a las ventas de los últimos cinco años para analizarla utilizando métodos matemáticos. Este análisis permitirá reflejar la serie temporal al considerar dos variables principales, identificando cuál de los modelos, SARIMA o ARIMA, se adapta mejor a la demanda de la empresa. El objetivo es realizar un pronóstico adecuado que corresponda con la línea de tiempo establecida, optimizando la precisión de las proyecciones.

En el tercer objetivo se desarrolla la programación de las necesidades de inventario y los meses requeridos, basándose en el pronóstico obtenido en el segundo objetivo. Para ello, se utilizan datos proporcionados por la empresa, como el inventario inicial y el tamaño del lote de producción, lo que facilita la planificación detallada para los meses contemplados en el análisis.

Figura 3

Procesamiento de datos de la investigación



Nota. Elaborado por el autor

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Datos generales de la empresa

La empresa opera mediante órdenes de trabajo emitidas por el área administrativa, garantizando el cumplimiento de sus tareas gracias a la disponibilidad de materiales. Para atender los pedidos de los clientes, es esencial verificar el inventario actual, lo que permite cumplir con los plazos establecidos.

Al entregar los materiales a los trabajadores, existe el riesgo de generar desperdicio debido al uso inadecuado de las máquinas de corte, lo que incrementa los costos de producción.

Los principales proveedores de la empresa son DIPAC e IPAC, quienes suministran material a Industrias Metálicas Vilema (IMEV) con un plazo de entrega de dos días, siempre que haya stock disponible. Sin embargo, en caso de falta de material, la empresa inicia la fabricación, considerando los tiempos necesarios para su elaboración, lo cual puede extenderse hasta quince días, retrasando la producción de puertas enrollables.

La fábrica cuenta con diez áreas específicas, cada una equipada con recursos particulares que se describen a continuación:

4.2 Área gerencial

En esta área se consolidan las ventas establecidas en el departamento de ventas, registrando el pedido y las especificaciones requeridas por el cliente. Este proceso es gestionado por una persona encargada de garantizar su correcta integración.

4.3 Área administrativa

Esta área se encarga de oficializar el pago y generar el comprobante o factura según la solicitud del cliente. En ella trabajan cuatro personas.

4.4 Área de bodega

En esta área se reciben las hojas de pedido de los materiales necesarios para la fabricación. Está a cargo de una persona.

4.5 Área de perfilería de aluminio

En esta área se fabrican ventanas de aluminio, una de las actividades adicionales de la empresa. Para esta tarea se requiere un equipo de cinco personas.

4.6 Área de mecanizado

En esta actividad se moldean las planchas galvanizadas con un diseño estándar predefinido por la maquinaria. Para este trabajo se requiere una persona.

4.7 Área de puertas de garaje

En esta área se realiza el corte de materiales según la orden de pedido del cliente. Posteriormente, cuatro personas transportan las piezas para su ensamblaje. Además, se requieren cuatro trabajadores adicionales para soldar y sujetar los tubos cuadrados de $\frac{3}{4}$ de pulgada de dimensión.

4.8 Área de pintura

En esta área se realiza el acabado final de las puertas antes de su pintado y entrega. Para esta actividad se requiere una persona.

4.9 Área de enrollables

En esta actividad se elaboran puertas con perfilera omega y se realizan los cortes de los rieles. Para esta tarea se requieren dos personas.

4.10 Área de bodega de pintura

En esta área se almacenan todas las pinturas necesarias para la producción de la cartera de productos de IMEV.

Misión

En Industrias Metálicas Vilema ofrecemos un servicio técnico especializado para la elaboración de productos metálicos, cumpliendo con los más altos estándares de calidad. Incorporamos nuevos procesos industriales y tecnológicos para satisfacer plenamente las necesidades de nuestros clientes, garantizando innovación, eficiencia y excelencia en cada proyecto.

Visión

Alcanzar el liderazgo nacional en la oferta de una diversificada cartera de productos, orientada a satisfacer las necesidades de distintos nichos de mercado. Nuestro compromiso se centra en brindar a nuestros clientes productos de la más alta calidad, mientras fortalecemos nuestra competitividad y sostenibilidad. Nos enfocamos en capitalizar las oportunidades que ofrece un entorno dinámico, con un plan estratégico proyectado para los próximos cinco años.

Valores institucionales

- Calidad

- Eficiencia
- Trabajo en equipo
- Responsabilidad
- Honestidad

Tabla 7

Costo de puerta enrollable

No	Descripción de materia prima	Unidades/Operadores	Costo total (\$)
1	Perfil omega mecanizado final (9cm x1.10 mm) de espesor	1	10.00
2	Perfil omega mecanizado conectores(9 x 0.70 mm) de espesor	38	35.40
3	Muelle 3/4 x 1/8	2	101.38
4	Varilla corrugada (25.4 mm) de diámetro	1	0.80
5	Cerradura	1	15.00
6	Pletina (20 x 6 mm) de espesor	1	3.00
7	Angulo (25 x25x 3 mm)	1	9.30
8	Tubo (30 x 3mm)	1	7.44
9	Electrodos	23	11.48
10	Tubo (38 x 2 mm)	1	0.60
11	Mano de obra	2	100.02
12	Transporte/ viáticos	1	25.00
Total			319.42

Nota. Elaborado por el autor

4.11 Organigrama estructural

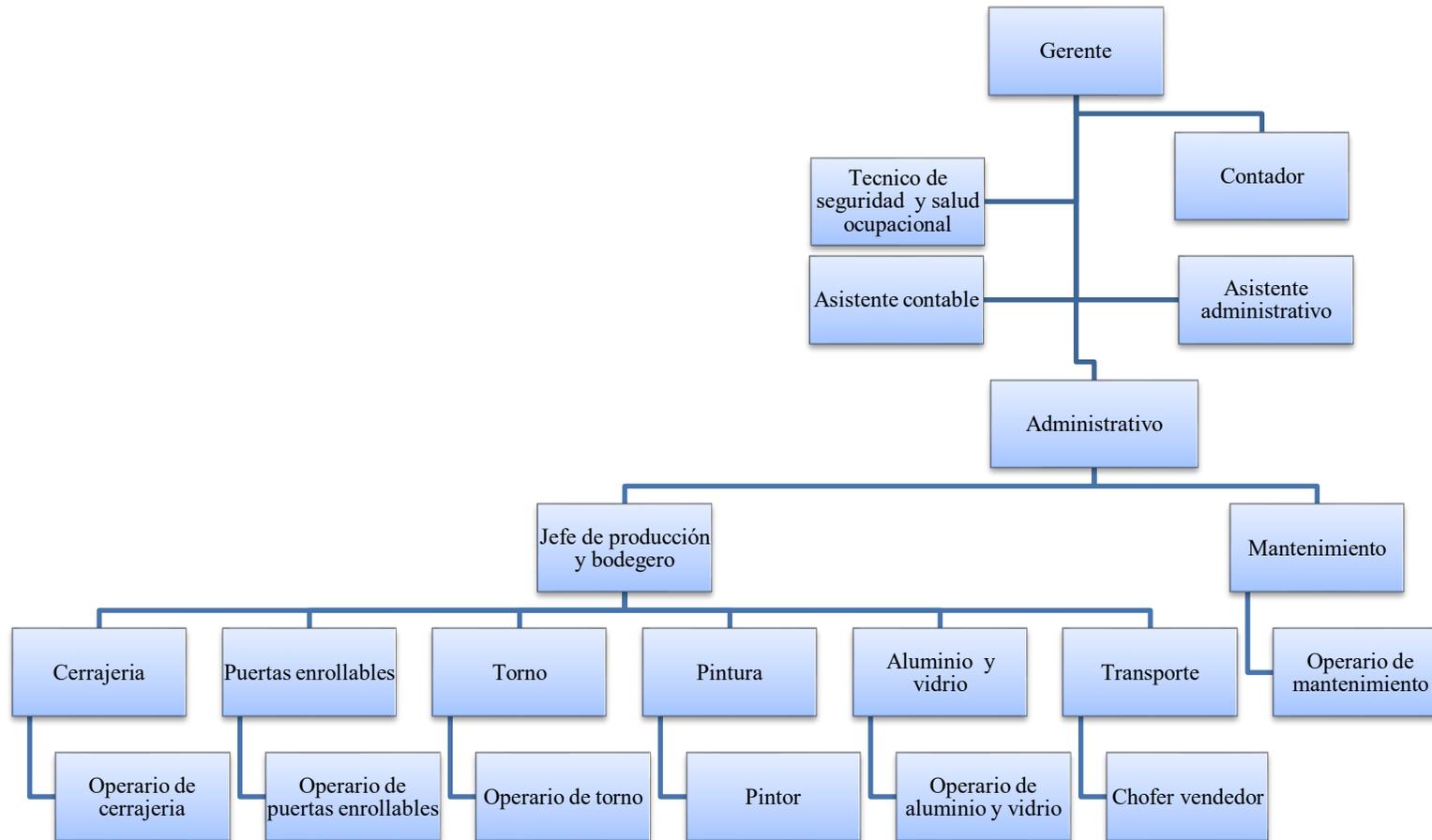
La figura 4 ilustra la estructura jerárquica organizada de la empresa Industrias Metálicas Vilema (IMEV), destacando las relaciones entre los diferentes niveles de autoridad y responsabilidad. En la parte superior se encuentra el gerente, quien lidera la organización. Bajo su supervisión directa se encuentran el contador y el asistente administrativo, encargados de las funciones administrativas y financieras de la empresa.

En el siguiente nivel, el administrador coordina las operaciones y supervisa los distintos departamentos, entre los cuales se incluyen producción y bodega, mantenimiento, cerrajería, puertas enrollables, torno, pintura, aluminio y vidrio, y transporte. Cada departamento cuenta con operarios especializados, como el operario de cerrajería, el pintor y el chofer vendedor, cuya labor es esencial para el funcionamiento eficiente de la empresa.

Este esquema jerárquico reflejado en la imagen facilita la visualización de la distribución de responsabilidades y tareas dentro de la organización, permitiendo comprender cómo cada área contribuye al logro de los objetivos empresariales. Además, la supervisión del administrador asegura que las funciones asignadas por los clientes se cumplan adecuadamente, destacando el compromiso de la empresa con la calidad y la eficiencia operativa.

Figura 4

Organigrama estructural



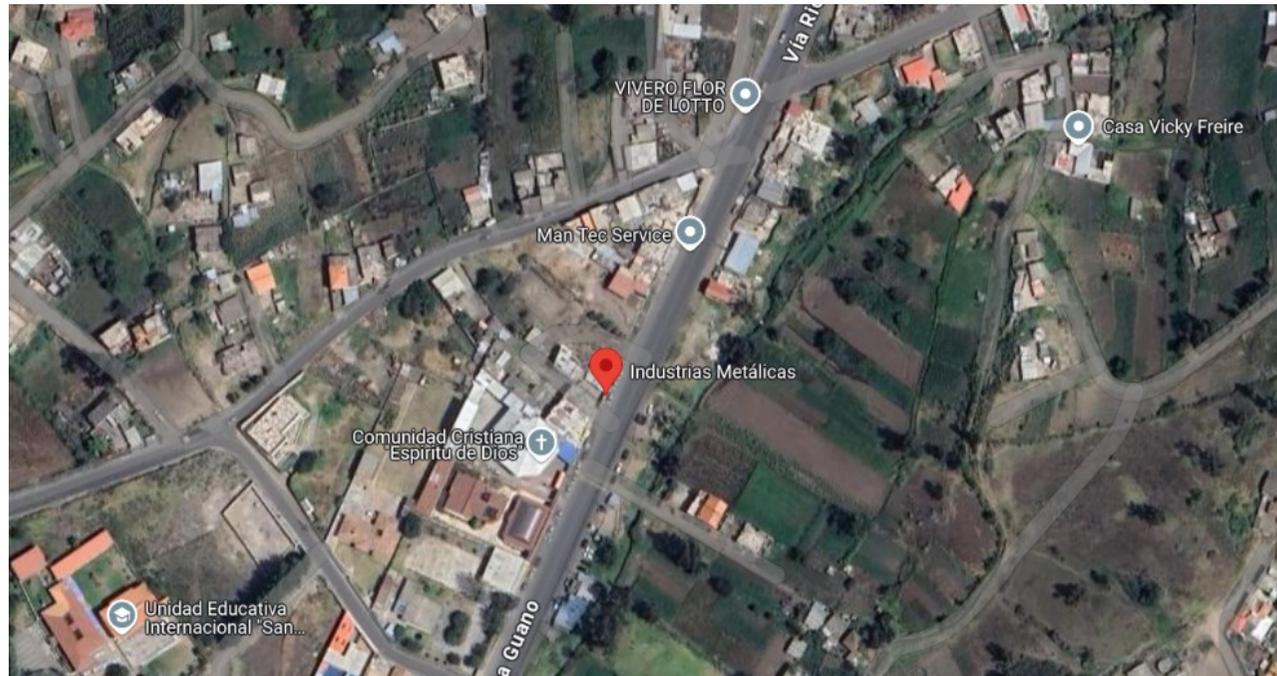
Nota. Información tomada de (Antón y Clavijo, 2019)

4.12 Ubicación geográfica

La metodología propuesta se realizará en la provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, 1 ½ km vía a Guano.

Figura 5

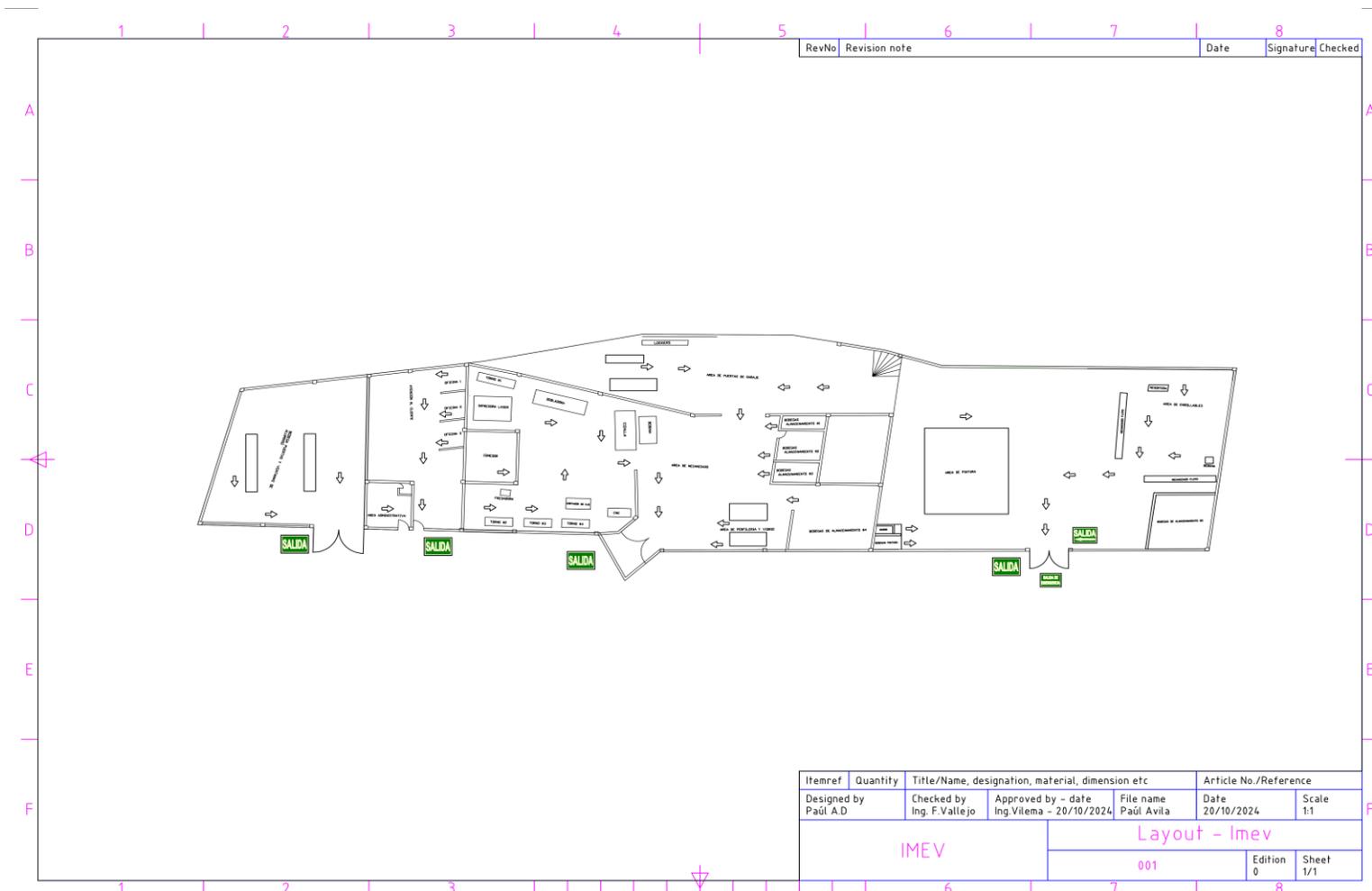
Localización de la empresa IMEV



Nota. Elaborado por el autor

Figura 6

Layout de la empresa IMEV



RevNo	Revision note	Date	Signature	Checked

Itemref	Quantity	Titte/Name, designation, material, dimension etc			Article No./Reference	
Designed by Paúl A.D	Checked by Ing. F.Vallejo	Approved by - date Ing.Vilema - 20/10/2024	File name Paúl Avila	Date 20/10/2024	Scale 1:1	
IMEV			Layout - Imev			
			001	Edition 0	Sheet 1/1	

Nota. Elaborado por el autor

El layout detalla todas las áreas existentes, en la actualidad las salidas y las rutas de evacuación. Además, incluye el diagrama de recorrido dentro de la instalación, observando tres salidas: una destinada al personal administrativo y dos para la salida del producto terminado.

Análisis de la documentación existente

Este tipo de documentación es fundamental para determinar si se cuenta con la información necesaria para la investigación detallada presentada en la figura 8, permitiendo así analizar las condiciones actuales de la empresa.

Tabla 8

Análisis de la documentación existente de la empresa

No.	Documento	Condición
1	Registro de inventario	(Satisfactorio) Posee un formato del porcentaje de compras y del stock de la empresa.
2	Diagrama de proceso	(Insatisfactorio) No posee un diagrama de procesos correspondiente a las actividades realizadas de cada producto que fabrica.
3	Manual de procedimientos	(Insatisfactorio) No posee un manual de procedimientos para la ejecución de los productos elaborados.
4	Registro de la producción semanal	(Satisfactorio) Si posee un registro de producción diario.
5	Registro de ventas mensuales	(Satisfactorio) Se reflejan mediante las hojas de pedido y las facturas correspondientes.
6	Plan maestro de producción	(Insatisfactorio) No existe, se desconoce la demanda futura.

Nota. Elaborado por el autor

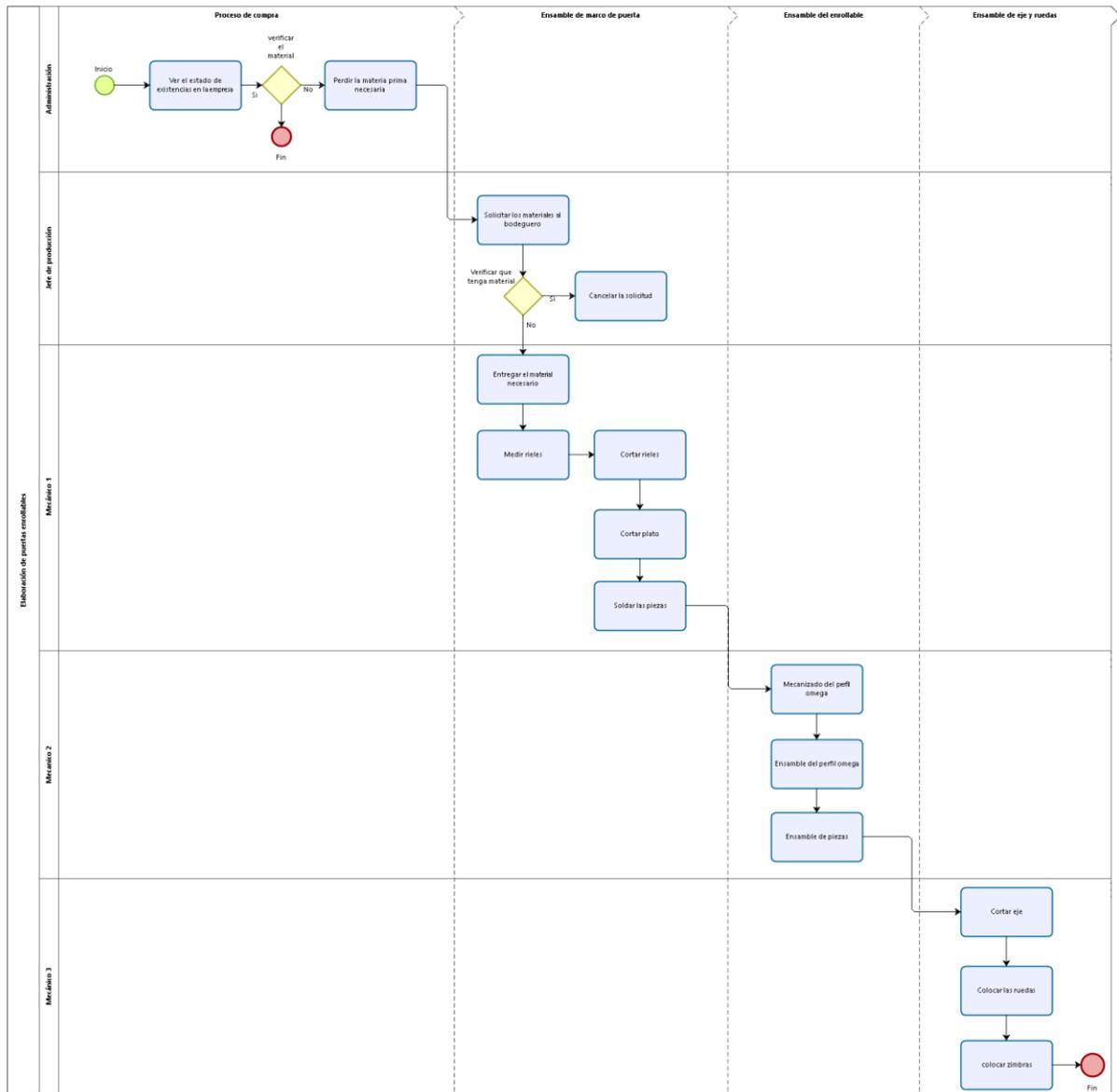
4.13 Diagrama de flujo del proceso de elaboración de puertas

Mediante el diagrama de flujo, se detallan los procesos necesarios para la fabricación de la puerta enrollable, explicando paso a paso cada etapa, desde la recepción del material hasta la elaboración final de las piezas. Este estudio se basa en la observación directa y en la revisión de hojas de pedido, según lo detallado en la figura 7 y tomando como referencia la información

presentada en la tabla 5. Este análisis facilita la comprensión del proceso productivo y permite identificar posibles mejoras en la eficiencia operativa.

Figura 7

Diagrama de proceso de elaboración de puertas actual



Nota. Elaborado por el autor

4.14 Teoría de restricciones

4.14.1 Paso 1: Identificación de la restricción

La identificación de restricciones se llevó a cabo considerando cinco tiempos de referencia establecidos en la tabla 3. Este análisis permitió determinar el número óptimo de observaciones requeridas para realizar un estudio de tiempos. Con base en estas observaciones, se calculó el tiempo estándar utilizando las ecuaciones 4 y 5. Los resultados obtenidos facilitaron el análisis de la eficiencia de cada subproceso, presentado en la columna 13 de la tabla 9 como porcentaje. Este indicador reveló el subproceso con menor rendimiento, evidenciando holguras no programadas dentro del proceso de elaboración. Como resultado, la capacidad real de producción fue inferior a la capacidad diseñada inicialmente.

Tabla 9

Identificación de la restricción

Proceso	Actividades	Número de trabajadores o máquinas	Tiempo de elaboración por puerta (minutos)								Piezas	Eficiencia Observada (porcentaje %)	Capacidad efectiva de productividad (unidades usos)	Capacidad de diseño tasada
			1	2	3	4	5	Tiempo medio observado (min)	Tiempo normal (min)	Tiempo estándar (min)				
Ensamblable del marco de la puerta	Medir las rieles	1	2	1.51	2.51	1.17	1.16	1.7	2.3	2.6	184.62	100%	184.6	21.9
	Cortar las rieles	1	1	1	1	1.3	1.1	1.1	1.1	1.24	387.1	100%	387.1	56
	Cortar platina del	2	1	1.44	1	1.01	1.03	1.1	1.1	1.24	387.1	100%	387.1	1400

	soporte del eje Soldar platina del soporte del eje	1	3.4	3.6	3.6	3.6	3.9	3.6	3.6	4.07	117.94	100%	117.9	155.7
	Ensamblar el armazón de la puerta	2	5.16	5.2	5.35	4.18	5	5	5	5.65	84.96	110%	77.2	546.9
Total									12.5	0.25 h				
	Mecanizar el perfil omega	1	22.01	10.42	18.33	18.44	19.46	17.7	17.7	20	24	100%	24	38.8
	Medir el perfil mecanizado	1	4.6	5.44	4.33	2.23	5.44	4.4	4.4	4.97	96.58	100%	96.6	106
	Cortar perfil mecanizado	1	12.98	13	13	14	14	13.4	13.4	15.14	31.7	100%	31.7	432.2
Ensamble de perfilería omega	Ensamblar la perfilería	2	2.18	2.2	2.3	3.4	2.2	2.5	3.3	3.73	128.69	110%	117	1728.9
Total									38	0.73 h				

Ensamble de antigata	Medir el ángulo de ½ pulgada	1	4.18	4.29	4.33	4.23	4.1	4.2	4.2	4.75	101.05	100%	101.1	33.1	
	Cortar el ángulo de ½ pulgada	1	1	1.84	1	1.83	1.85	1.5	1.5	1.7	282.35	100%	282.4	972.5	
	Soldar perfilera omega	1	3.3	3.5	3.5	3.5	3.1	3.4	3.4	3.84	125	100%	113.6	2857.1	
	Ensamblar la tapa antigata	1	3.54	3.05	3.1	3.4	3.4	3.3	4.4	4.97	96.58	110%	87.8	1157.3	
Total										12.5		0.25 h			
Ensamblaje de la puerta enrollable	Medir el tubo circular de 4 pulgadas	1	10.16	17.18	19.18	13.19	13.12	14.6	9.8	11.07	43.36	100%	43.4	56	
	Cortar el tubo circular de 4	1	5.38	5.22	5.26	5.39	5.4	5.3	5.3	5.99	80.13	110%	72.8	546.9	

pulgadas														
Soldar las ruedas	1	3.3	3.5	3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.73	128.69	100%	128.7	28.6	
Mecanizado de resortes	1	2.36	3.19	2.4	3.2	3.2	2.9	2.9	3.28	146.34	100%	146.3	56	
Colocar resortes	1	14	16	12	16	15	14.6	14.6	16.5	29.09	100%	29.1	92.1	
Perforar el perfil omega	1	23.3	24.07	24.17	29	29.3	26	17.4	19.66	24.42	99%	24.7	24.9	
Instalar los seguros	1	4	4.27	5	4.31	4.3	4.4	4.4	4.97	96.58	100%	96.6	828.5	
Colocar chapa	1	18	20.18	26.3	20.2	21	21.1	21.1	23.84	20.13	100%	20.1	828.5	
Colocar placa institucional	1	20	19.73	19.76	22.36	22.75	20.9	20.9	23.62	20.32	100%	20.3	5600	
Total								113.1	1.88 h					
Total de hora de producción								3.11 h						

Nota. Elaborado por el autor

4.14.2 Paso 2: Explotar la restricción

Para explotar la restricción, se evaluaron las capacidades de un equipo diferente, comparándolo con el equipo actualmente en uso. Este análisis resultó en una reducción del tiempo estándar de 10.96 minutos por pieza, gracias a la aplicación de los mismos cálculos realizados en la tabla 9, ajustados con las características del nuevo equipo detalladas en la tabla 10. Además, se refleja un cambio significativo en la capacidad del subproceso, observando una mejora cercana a la similitud deseada, lo cual contribuye a optimizar la producción en la elaboración de puertas enrollables.

Tabla 10

Comprobación de la restricción

Proceso	Actividades	Número de trabajadores o máquinas	Tiempo de elaboración por puerta (minutos)								Eficiencia Observada (porcentaje %)	Capacidad efectiva de productividad (unidades usos)	Capacidad de diseño tasada	
			1	2	3	4	5	Tiempo medio observado (min)	Tiempo normal (min)	Tiempo estándar (min)				Piezas
	Medir las rieles	1	2	1.51	2.51	1.17	1.16	1.7	2.3	2.6	184.62	100%	184.6	21.9
Ensamble del marco de la puerta	Cortar las rieles	1	1	1	1	1	1.3	1.1	1.1	1.24	387.1	100%	387.1	56
	Cortar platina del soporte del eje	2	1	1.44	1	1.01	1.03	1.1	1.1	1.24	387.1	100%	387.1	1400

	Soldar platina del soporte del eje	1	3.4	3.6	3.6	3.6	3.9	3.6	3.6	4.07	117.94	100%	117.9	155.7
	Ensamblar el armazón de la puerta	2	5.16	5.2	5.35	4.18	5	5	5	5.65	84.96	110%	77.2	546.9
Total									12.5				0.25 h	
	Mecanizar el perfil omega	1	22.01	10.42	18.33	18.44	19.46	17.7	17.7	20	24	100%	24	38.8
	Medir el perfil mecanizado	1	4.6	5.44	4.33	2.23	5.44	4.4	4.4	4.97	96.58	100%	96.6	106
Ensamble de perfilería omega	Cortar perfil mecanizado	1	12.98	13	13	14	14	13.4	13.4	15.14	31.7	100%	31.7	432.2
	Ensamblar la perfilería	2	2.18	2.2	2.3	3.4	2.2	2.5	3.3	3.73	128.69	110%	117	1728.9
Total									38				0.73 h	
Ensamble de	Medir el	1	4.18	4.29	4.33	4.23	4.1	4.2	4.2	4.75	101.05	100%	101.1	33.1

antigata	ángulo de ½ pulgada													
	Cortar el ángulo de ½ pulgada	1	1	1.84	1	1.83	1.85	1.5	1.5	1.7	282.35	100%	282.4	972.5
	Soldar perfilera omega	1	3.3	3.5	3.5	3.5	3.1	3.4	3.4	3.84	125	100%	113.6	2857.1
	Ensamblar la tapa antigata	1	3.54	3.05	3.1	3.4	3.4	3.3	4.4	4.97	96.58	110%	87.8	1157.3
Total									12.5	0.25 h				
Ensamblaje de la puerta enrollable	Medir el tubo circular de 4 pulgadas	1	10.16	17.18	19.18	13.19	13.12	14.6	9.8	11.07	43.36	100%	43.4	56
	Cortar el tubo circular de 4 pulgadas	1	5.38	5.22	5.26	5.39	5.4	5.3	5.3	5.99	80.13	110%	72.8	546.9

Soldar las ruedas	1	3.3	3.5	3	3.2	3.3	3.3	3.3	3.73	128.69	100%	128.7	28.6
Mecanizado de resortes	1	2.36	3.19	2.4	3.2	3.2	2.9	2.9	3.28	146.34	100%	146.3	56
Colocar resortes	1	14	16	12	16	15	14.6	14.6	16.5	29.09	100%	29.1	92.1
Perforar el perfil omega	1	13	13	13	13	13	13	8.7	8.7	48.83	99%	49.3	49.8
Instalar los seguros	1	4	4.27	5	4.31	4.3	4.4	4.4	4.97	96.58	100%	96.6	828.5
Colocar chapa	1	18	20.18	26.3	20.2	21	21.1	21.1	23.84	20.13	100%	20.1	828.5
Colocar placa institucional	1	20	19.73	19.76	22.36	22.75	20.9	20.9	23.62	20.32	100%	20.3	5600
Total								100.1	1.71 h				
Total de hora de producción								2.94 h					

Nota. Elaborado por el autor

4.14.3 Paso 3: Subordine el resto del sistema a la restricción

El throughput contable facilita el equilibrio entre la demanda y la optimización de la utilidad. Este se calcula dividiendo las unidades entre el tiempo, lo que refleja un incremento del 58% en la eficiencia. Como resultado, la planta aumentará su capacidad de producción, permitiendo fabricar 210 unidades adicionales en un tiempo reducido. En la tabla 11 se detalla este significativo tiempo de 0.17 horas, mostrando que la producción de unidades se ha incrementado, optimizando así los recursos disponibles (YOUSUF, 2007).

Tabla 11

Throughput de proceso

Tiempo estándar se sub proceso	(Unidades producidas)	Tiempo estándar (h)	Throughput u/h
actual(h)	24.9	0.32	77.81
propuesto(h)	49.8	0.17	292.94

Nota. Elaborado por el autor

4.14.4 Paso 4: Eleve la restricción

La mejora implementada en el equipo resultó en una reducción del tiempo de producción de 10.66 minutos, lo que incrementa significativamente la eficiencia en la ejecución de la actividad de perforación de perfiles omega. Esta optimización también redujo los tiempos de espera, contribuyendo al aumento de la utilidad actual y mejorando el flujo del proceso productivo

4.14.5 Paso 5: Si se eliminó la restricción

Para verificar la eliminación de las demoras en el proceso, se reevalúan las nuevas condiciones de mejora implementadas. Esto requiere repetir el primer paso, ajustándose a las condiciones actualizadas. Como resultado de este análisis, y con el apoyo de la utilidad, se logró evidenciar una mejora significativa, reduciendo las paradas no programadas del equipo y optimizando el flujo operativo.

4.15 Pronósticos Causales

4.15.1 Análisis de series en el tiempo

El uso de modelos predictivos para series temporales, como ARIMA y SARIMA, basado en la base de datos obtenida por la empresa, proporciona una perspectiva más clara y técnica del comportamiento de los datos. Estos modelos permiten obtener un margen de error bajo, lo que facilita la realización de pronósticos precisos. La síntesis de la base de datos, presentada en la tabla 12, refleja la efectividad del análisis en la identificación de tendencias y la proyección de resultados futuros.

Tabla 12

Procesamiento de las ventas de los cinco años comprendido entre el 2020 al 2024.

Mes	Producto terminado	Año
Enero	11,00	2020
Febrero	2,00	2020
Abril	1,00	2020
Julio	1,00	2020
Agosto	1,00	2020
Septiembre	1,00	2020
Octubre	152,00	2020
Noviembre	223,00	2020
Diciembre	254,00	2020
Enero	304,00	2021
Febrero	243,00	2021
Marzo	186,00	2021
Abril	15,00	2021
Junio	7,00	2021
Julio	6,00	2021
Agosto	1,00	2021
Diciembre	6,00	2021
Mayo	3,00	2022
Junio	6,00	2022
Julio	108,00	2022
Agosto	120,00	2022
Septiembre	105,00	2022

Octubre	172,00	2022
Noviembre	162,00	2022
Diciembre	74,00	2022
Enero	93,00	2023
Febrero	34,00	2023
Marzo	91,00	2023
Abril	52,00	2023
Agosto	2,00	2023
Septiembre	42,00	2023
Octubre	39,00	2023
Noviembre	45,00	2023
Diciembre	25,00	2023
Enero	1,00	2024
Febrero	1,00	2024
Marzo	49,00	2024
Abril	2,00	2024
Mayo	43,00	2024
Junio	61,00	2024
Julio	23,00	2024
Agosto	18,00	2024
Septiembre	29,00	2024
Octubre	16,00	2024
Noviembre	10,00	2024

Nota. Elaborado por el autor

A lo largo del tiempo, la demanda de la empresa IMEV ha experimentado cambios significativos. Desde octubre de 2020, las ventas crecieron de manera constante, alcanzando un total de 152 puertas, lo que convirtió este producto en el más demandado del mercado.

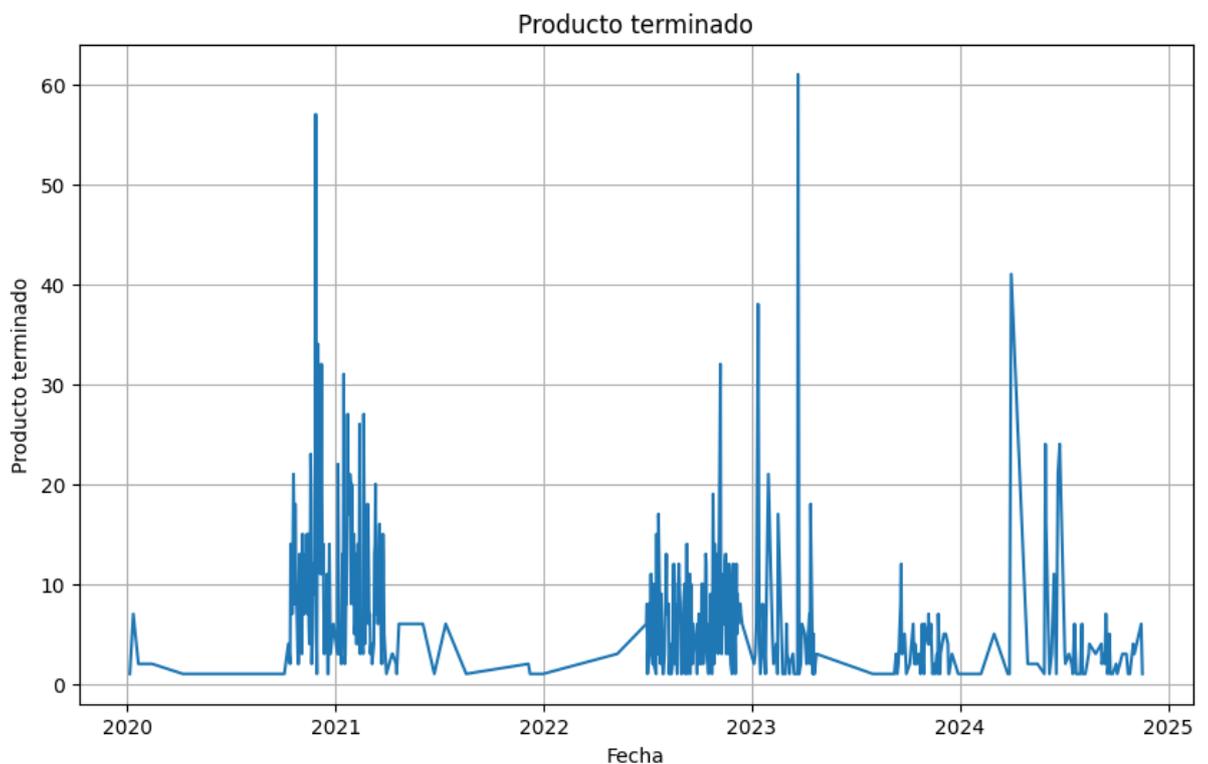
Sin embargo, en 2021, la producción se vio afectada por la crisis sanitaria que impactó al país, generando una desaceleración en la actividad comercial. En 2022, la empresa comenzó a recuperar su estabilidad económica, mostrando señales de mejora. No obstante, hacia finales de ese año, la demanda comenzó a disminuir debido a la transición hacia una tecnología administrativa modernizada, lo que dificultó el crecimiento de la utilidad en sus ventas.

4.15.2 Adquisición y depuración de datos

La figura 8 presenta la variación en el volumen de compras a lo largo del tiempo, destacándose picos relativamente altos en el año 2021. Estas fluctuaciones podrían estar relacionadas con factores externos, como mejoras implementadas en los procesos productivos. En el año 2023, se observa una reducción en las fluctuaciones, aunque persiste una notable irregularidad en los valores registrados. Este comportamiento sugiere la necesidad de continuar optimizando los procesos para lograr una mayor estabilidad en el volumen de compras.

Figura 8

Grafica de serie de tiempo de producto terminado



Nota. Elaborado por el autor

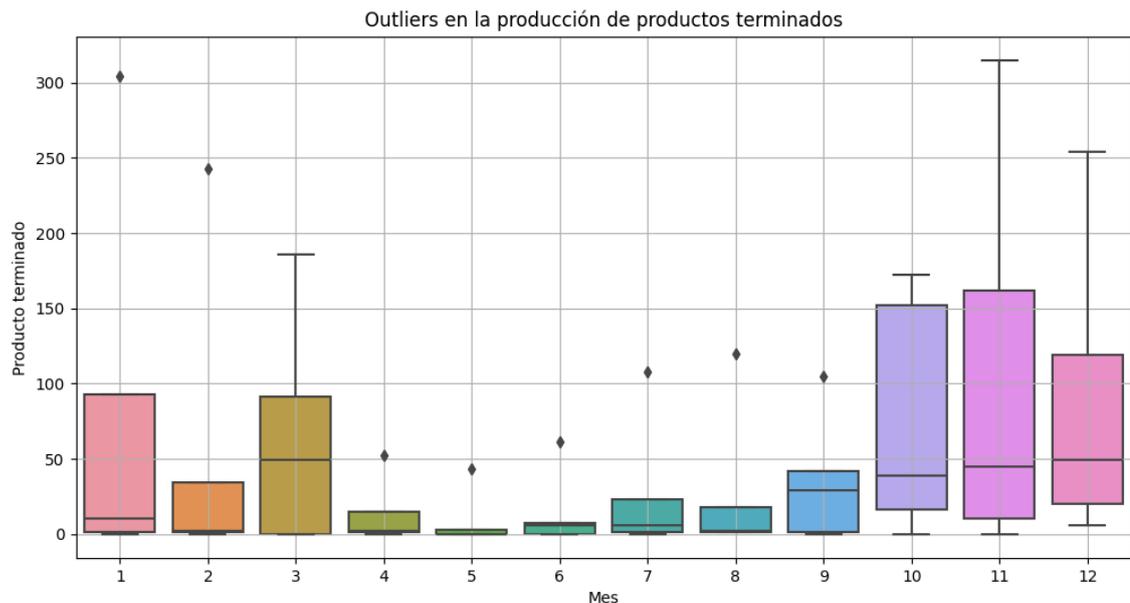
4.15.3 Tratamiento de outliers y visualización inicial

Para mejorar la visualización de la figura 8, se aplicó un diagrama de caja y bigotes (boxplot) con el objetivo de identificar puntos atípicos (outliers), como se muestra en la figura 9. En este análisis, se detectaron varios valores extremos en los meses de enero, febrero, abril, mayo, junio, julio, agosto y septiembre, dentro de un periodo de cinco años.

Además, se identificaron períodos de producción más estable, particularmente en los meses de mayo, junio y julio, donde la irregularidad fue menor. Este resultado permite comprender mejor la variabilidad en los datos y contribuye a la toma de decisiones estratégicas para optimizar la producción.

Figura 9

Gráfico de caja y bigotes con producción mensual para identificar outliers



Nota. Elaborado por el autor

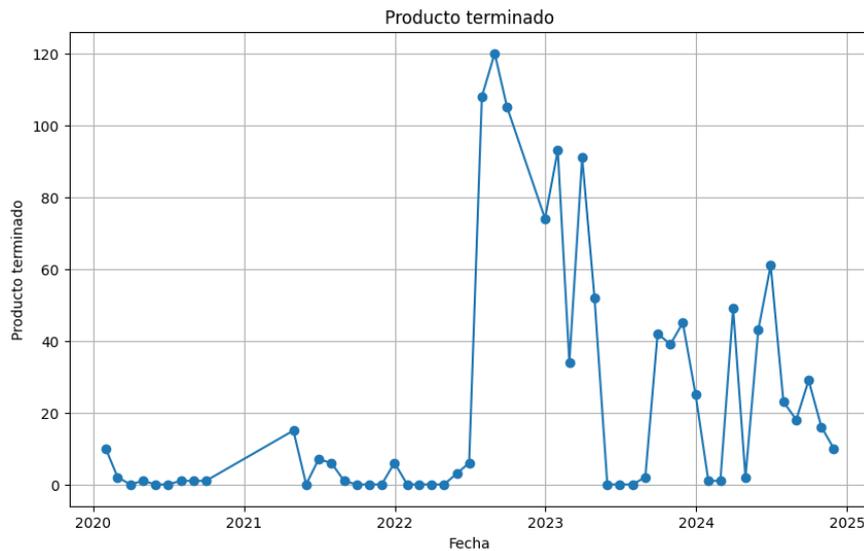
Posteriormente, se generaron gráficos de líneas para visualizar la evolución mensual de la demanda dentro de un rango moderado, sin superar las 120 unidades de ventas. En este análisis, se eliminaron los outliers que podrían distorsionar la interpretación de los datos y afectar la toma de decisiones.

Se identificó una leve tendencia junto con fluctuaciones que podrían estar vinculadas a patrones estacionales, como se detalla en la figura 10. Además, se observó que la capacidad de fabricación varía significativamente cada año, mostrando una marcada irregularidad en la producción. Esto podría estar relacionado con mejoras temporales en los procesos productivos.

En particular, se notó que el año 2025 presentó fluctuaciones considerables, lo que dificulta la evaluación del impacto de las decisiones estratégicas, dado que la producción se mantiene en constante variación. Este comportamiento destaca la necesidad de un monitoreo continuo y estrategias adaptativas para mejorar la estabilidad del sistema productivo.

Figura 10

Gráfico de líneas de producción mensualizada



Nota. Elaborado por el autor

4.15.4 Modelos de regresión iniciales

Para la predicción de la demanda, se empleó un modelo de regresión lineal, representado en la figura 11. En esta figura, se comparan tres conjuntos de datos: valores de entrenamiento, valores de prueba y las predicciones generadas por el modelo. La columna de fechas abarca el periodo de 2020 a 2025, mientras que la otra columna muestra el número de productos terminados que la empresa vendió en ese lapso.

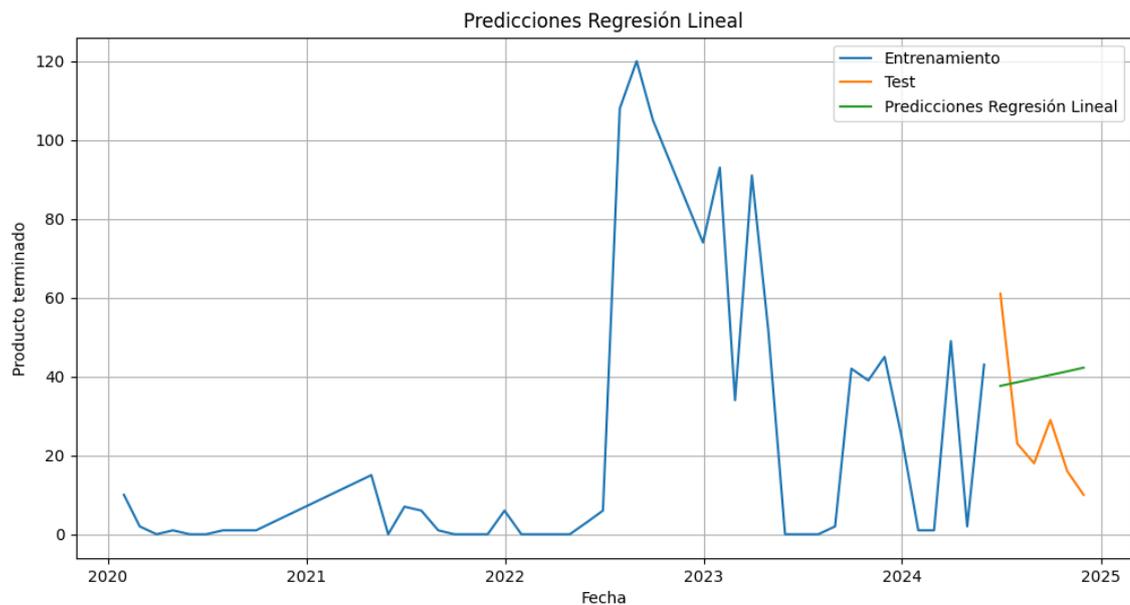
La línea azul, que abarca el período de 2020 a 2024, representa la base de datos proporcionada por la empresa, la cual muestra fluctuaciones significativas en los datos de entrenamiento (línea en color tomate). Sin embargo, la línea de predicción sigue un patrón más regular con una elevación constante, lo que sugiere que el modelo no logra ajustarse correctamente a las variaciones de las ventas reales de la empresa.

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es de -0.840 , lo que indica que el modelo de regresión lineal según Filippini et al., (2018) invierten su signo por la dirección y fuerza del estimador del coeficiente de correlación evidenciando una interacción no lineal entre las variables analizadas, por lo tanto no es adecuado para la predicción de la demanda. Este valor refleja que el 84% de la variabilidad de los datos no es explicada por la regresión lineal, lo que limita su precisión. Además, el error cuadrático medio (MSE) de 510 evidencia una elevada dispersión entre los valores reales (línea azul) y las predicciones (línea verde).

Dado este comportamiento, se recomienda explorar modelos alternativos más avanzados, como ARIMA, SARIMA o redes neuronales, los cuales pueden capturar mejor los patrones estacionales y la variabilidad de los datos, permitiendo realizar proyecciones más precisas y confiables.

Figura 11

Gráfica de resultados de predicción usado regresión lineal (Comparación Test y Train)



Nota. Elaborado por el autor

Dado que la serie de datos no logró ajustarse adecuadamente, se optó por utilizar un modelo de predicción polinómica, con el objetivo de capturar de manera más precisa las curvaturas presentes en los datos, como se muestra en la figura 12.

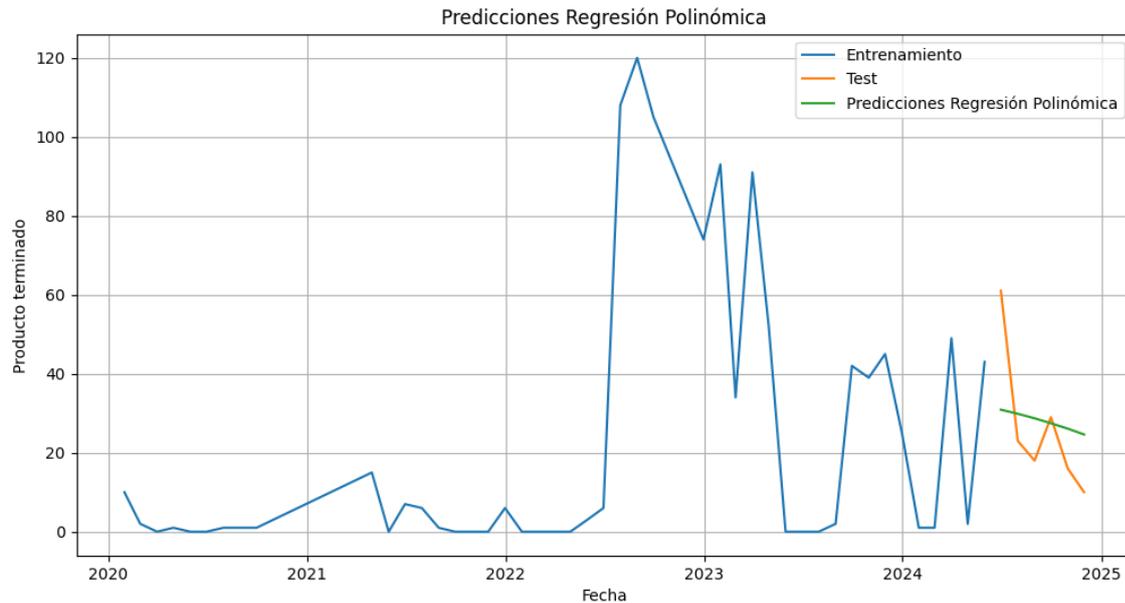
En la fase de pruebas, los datos de entrenamiento (línea color tomate) muestran un comportamiento relativamente cercano a la base de datos original. Sin embargo, la línea verde, que representa las predicciones, exhibe un descenso lineal en las ventas, lo que indica que el modelo no logra acoplarse correctamente a la tendencia real de la empresa.

El coeficiente de determinación (R^2) obtenido es de 0.166, lo que indica que el modelo solo logra explicar el 16.6% de la variabilidad de los datos, evidenciando dificultades para capturar la dinámica de la serie de tiempo. Por otro lado, el error cuadrático medio ($MSE = 231$) refleja una alta dispersión entre los valores reales y los predichos, lo que invalida la precisión del modelo en el contexto de la predicción de demanda.

Las limitaciones de este enfoque pueden deberse a la elevada variabilidad de los datos, la presencia de fluctuaciones no lineales complejas y la posible influencia de factores externos.

Figura 12

Gráfica de resultados de predicción usado regresión polinómica



Nota. Elaborado por el autor

4.15.5 Análisis de estacionalidad y descomposición

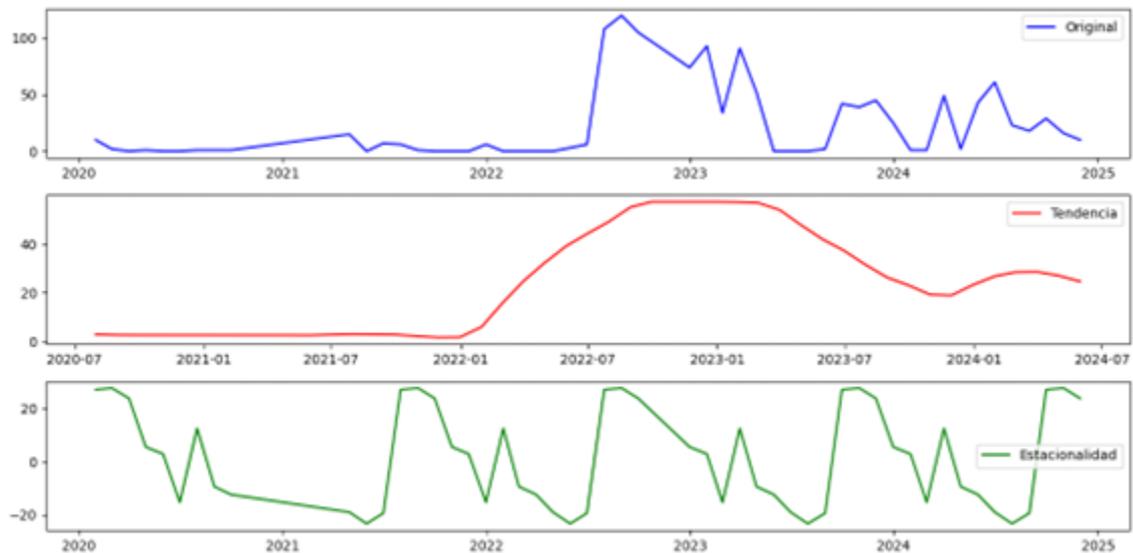
Se llevó a cabo un análisis de estacionalidad y descomposición, como se muestra en la figura 13, con el propósito de identificar patrones repetitivos en la serie de datos. Este análisis abarcó un periodo de doce meses, enfocándose en aquellos años con mayor variabilidad de datos para determinar patrones consistentes.

En la figura, la línea azul representa los datos de entrenamiento, en los que se destacan fluctuaciones importantes, incluyendo un pico significativo en el año 2023. Por su parte, la línea naranja, que corresponde a los datos más recientes (como los del año 2024), refleja una elevada variabilidad en la producción. En contraste, la línea verde, que representa las predicciones, muestra una tendencia lineal descendente, lo cual indica que el modelo no logra ajustarse adecuadamente a las fluctuaciones reales de la serie de datos.

Estos hallazgos sirven como insumo para la aplicación del modelo matemático ARIMA, el cual es reconocido por su capacidad para manejar series temporales con alta variabilidad y estacionalidad. Este modelo permite capturar de manera más precisa las fluctuaciones y patrones estacionales presentes en los datos reales, ofreciendo una mejora significativa en la calidad de las proyecciones futuras en comparación con los modelos previamente empleados.

Figura 13

Gráfica de descomposición de componentes de tendencia y estacionalidad



Nota. Elaborado por el autor

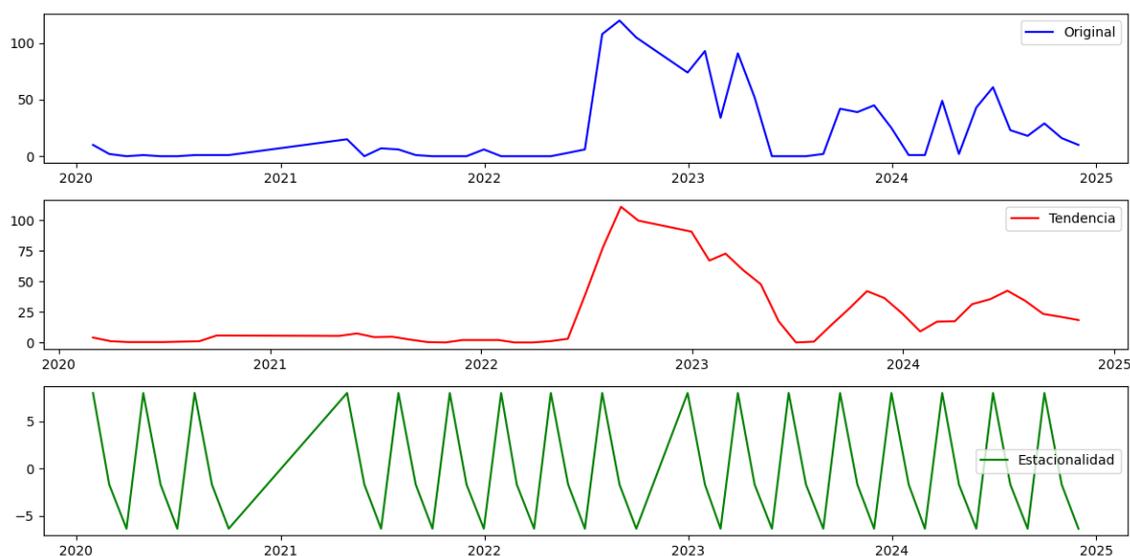
4.15.6 Modelado con ARIMA

La figura 14 presenta la descomposición de la serie temporal en tres gráficos principales:

- Gráfico de línea azul (Datos originales): Representa la serie temporal sin modificaciones, con el objetivo de captar el comportamiento de la producción a lo largo del tiempo y proporcionar la base para la aplicación del modelo ARIMA. Se observan fluctuaciones significativas, reflejando cambios en la demanda y producción.
- Gráfico de línea roja (Tendencia): Muestra la evolución de la producción, evidenciando un crecimiento pronunciado en el año 2023. Sin embargo, hacia el 2024, se observa un descenso claro en la producción de puertas enrollables, lo que sugiere posibles afectaciones por cambios operativos, demanda del mercado o disponibilidad de recursos.
- Gráfico de línea verde (Estacionalidad): Identifica patrones cíclicos recurrentes en la producción, lo que indica la presencia de factores estacionales que afectan el rendimiento de la fábrica. Además, se observan fluctuaciones evidentes y puntos críticos que reflejan variaciones periódicas en los niveles de producción.

Figura 14

Gráfica de descomposición de componentes de tendencia y estacionalidad



Nota. Elaborado por el autor

El análisis realizado confirmó la existencia de un comportamiento estacional, lo que respalda el uso de modelos que incorporen términos estacionales para capturar de manera precisa las variaciones cíclicas, como se observa en la figura 14.

Inicialmente, se ajustó un modelo ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average), que mostró una mejora moderada en comparación con las regresiones básicas. Sin embargo, este modelo presentó un error significativo en el conjunto de prueba, obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de -0.065, lo que indica que solo explica el 6% de la variabilidad de los datos. Este resultado refleja la insuficiencia del modelo para representar adecuadamente la serie temporal. Adicionalmente, el error cuadrático medio ($MSE = 295.248$) refuerza la presencia de una dispersión considerable entre los datos reales y las predicciones.

La figura 16 muestra que la línea verde, correspondiente a las predicciones del modelo ARIMA, exhibe una tendencia más estable en comparación con los datos reales. Este suavizamiento en las fluctuaciones, observadas en la línea azul, puede ser útil para identificar patrones generales. Sin embargo, no logra capturar las fluctuaciones abruptas ni los picos críticos presentes en la serie temporal, lo que limita significativamente la capacidad predictiva del modelo.

Para lograr un modelo predictivo confiable, se requiere un coeficiente de determinación cercano a 0.90, lo que descarta al modelo ARIMA en este caso específico. Estos resultados subrayan la necesidad de explorar modelos alternativos más robustos, capaces de manejar la

alta variabilidad y complejidad de los datos reales, optimizando así las proyecciones futuras y la toma de decisiones estratégicas.

A partir de los cuatro paneles de diagnóstico (residuales estandarizados, histograma con densidad estimada, Q–Q plot y correlograma), se pueden identificar varios problemas que indican un ajuste deficiente por la base de datos que son cambios bruscos imposibilitando cualquier modelo pueda validarse, sin embargo, el modelo ARIMA aplicado a la serie. A continuación, se describen los hallazgos clave:

Debido a que el modelo ARIMA no logró ajustarse correctamente a la serie temporal, se optó por implementar un modelo SARIMA (Seasonal ARIMA), cuyas características más relevantes se describen en la figura 16. Este modelo obtuvo un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.065$), lo que indica que es capaz de explicar el 65 % de la variabilidad de los datos. Sin embargo, este valor refleja que el modelo no se acopla correctamente a la serie temporal, atribuido principalmente a la alta variabilidad y complejidad de los datos reales.

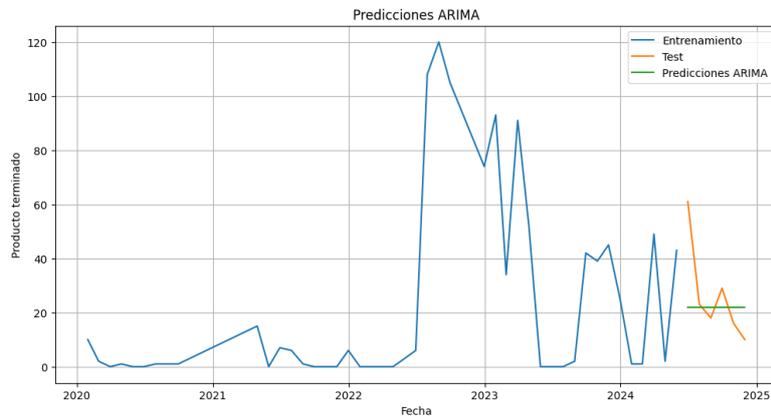
Adicionalmente, se registró un error cuadrático medio ($MSE = 295.24$), lo que evidencia una dispersión significativa entre los valores reales y las predicciones generadas. La línea verde, que representa las predicciones del modelo ARIMA, muestra un suavizamiento de las fluctuaciones en comparación con los datos reales (línea azul). Esto sugiere que, si bien el modelo puede identificar patrones generales, no logra capturar con precisión las fluctuaciones abruptas y los picos críticos presentes en los datos originales.

A pesar de estas limitaciones, el modelo ARIMA representa una mejora en comparación con los métodos aplicados anteriormente, ya que logra capturar un porcentaje de variabilidad (29%) que no fue alcanzado por otros modelos. Sin embargo, este porcentaje sigue siendo insuficiente para proporcionar una capacidad predictiva confiable. La comparación entre la línea tomate (datos de prueba) y la línea verde (predicciones) muestra una gran similitud, pero ambas difieren significativamente respecto a la línea azul, que representa los valores reales.

Estos resultados subrayan la necesidad de considerar modelos alternativos más avanzados que puedan ajustarse mejor a la alta variabilidad y fluctuaciones de los datos reales, optimizando así las proyecciones futuras y la planificación estratégica.

Figura 15

Gráfico de diagnóstico de resultados modelo ARIMA



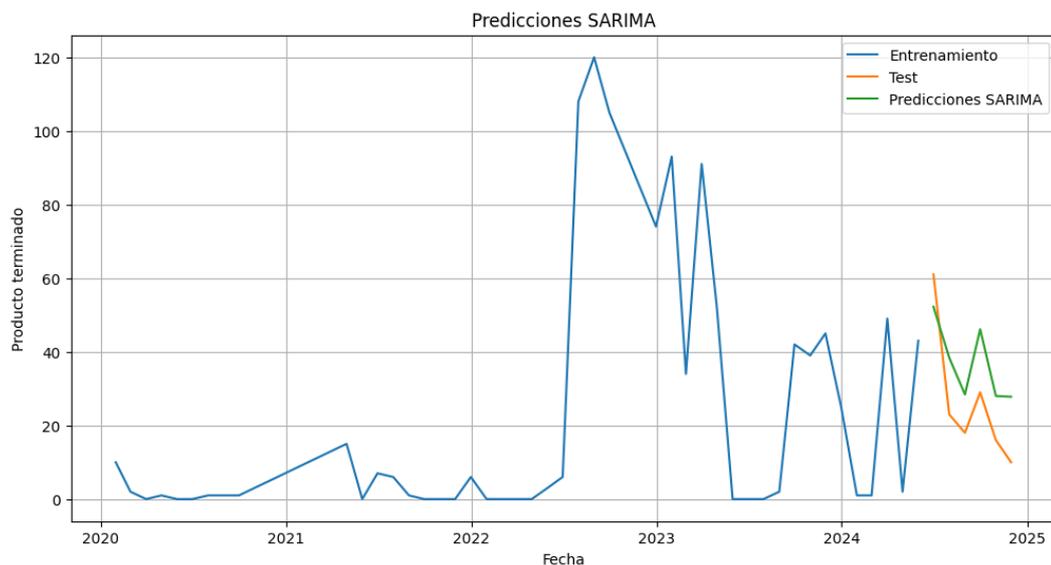
Nota. Elaborado por el autor

4.16 Aplicación de modelo SARIMA

Para la aplicación del modelo SARIMA, se analizará la cantidad de variabilidad de los datos que este logra capturar, así como el porcentaje correspondiente, tal como se muestra en la figura 17. Esta figura representa una comprobación exhaustiva del desempeño del modelo mediante el análisis de residuos, utilizando las siguientes gráficas:

Figura 16

Gráfico de comprobación resultados modelo SARIMA



Nota. Elaborado por el autor

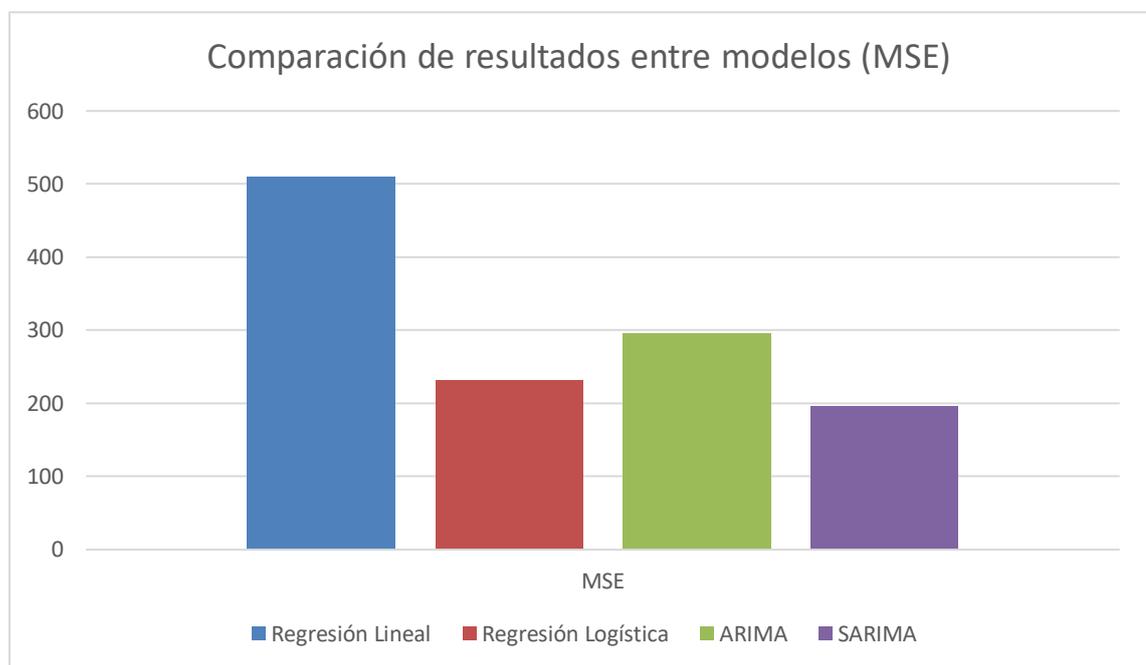
Por lo tanto, se recomienda adoptar el modelo SARIMA para fines de pronóstico, dado que, como se muestra en la figura 18, la comparación del error cuadrático medio (MSE = 196.23) evidencia que esta metodología presenta la menor variabilidad entre los modelos

analizados previamente. Además, el modelo SARIMA muestra un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.29$), lo que indica que logra explicar el 29% de la variabilidad de los datos, superando significativamente el desempeño de otras alternativas evaluadas.

Para garantizar una mayor precisión en las proyecciones futuras, se sugiere realizar actualizaciones y recalibraciones regulares del modelo, aprovechando la incorporación de nuevos datos. Esta práctica permitirá una adaptación continua del modelo a las fluctuaciones y cambios en la serie temporal, asegurando su efectividad como herramienta estratégica de planificación.

Figura 17

Grafica de comparación de variación de datos de los modelos



Con el modelo SARIMA seleccionado, se procedió a realizar la predicción sin utilizar datos de prueba, empleando una ventana de 6 meses para obtener las proyecciones futuras.

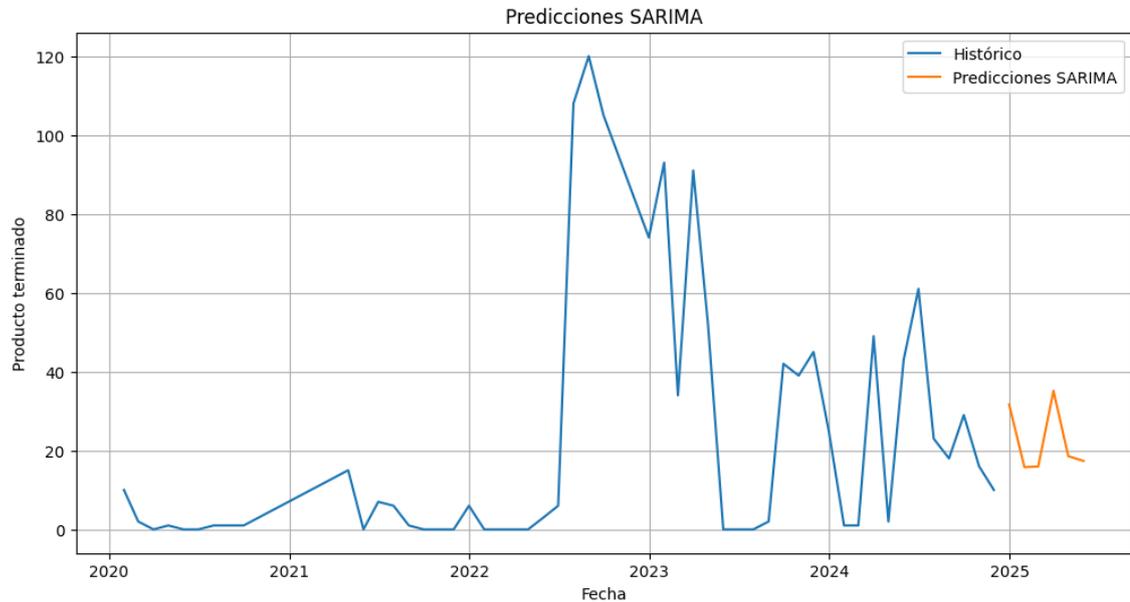
Los resultados muestran una compatibilidad tendencial, representada por la línea naranja en la figura 19, que abarca el período entre 2024 y 2025. Se observa una tendencia relativamente estable, con valores que oscilan entre 10 y 30 unidades. Por otro lado, la línea azul representa los datos originales de producto terminado, proporcionando un punto de referencia para evaluar la precisión del modelo.

El modelo SARIMA se caracteriza por utilizar componentes estacionarios, lo que permite generar proyecciones más estables al reducir el impacto de la dispersión en los datos. Sin embargo, esta estabilidad puede limitar la capacidad del modelo para capturar picos o caídas abruptas en la producción, dado que tiende a suavizar las fluctuaciones extremas.

A pesar de esta limitación, SARIMA logra capturar las tendencias pasadas con mayor precisión que otros modelos evaluados, lo que refuerza su utilidad para la planificación estratégica y la optimización de las proyecciones futuras.

Figura 18

Gráfica de predicción con modelo SARIMA



Nota. Elaborado por el autor

Los resultados de los pronósticos generados mediante el modelo SARIMA se presentan en la tabla 13, mostrando proyecciones clave durante un periodo de seis meses. En diciembre de 2024, se pronostican 32 unidades producidas; en enero de 2025, 16 unidades; en febrero de 2025, 16 unidades nuevamente; y en marzo de 2025, 35 unidades. Estas estimaciones, derivadas de la ecuación 6, demuestran la utilidad del modelo SARIMA para la planificación, superando en precisión y aplicabilidad a otros modelos evaluados:

Tabla 13

Pronóstico de producción

Mes	Cantidad de producción predicha
Diciembre 2024	32
Enero 2025	16
Febrero 2025	16
Marzo 2025	35
Abril 2025	19
Mayo 2025	17

Nota. Elaborado por el autor

Estos resultados destacan la capacidad del modelo SARIMA para realizar estimaciones útiles en el contexto de planificación estratégica. En comparación con otros modelos evaluados, SARIMA logra establecer proyecciones con mayor precisión, lo que refuerza su utilidad para la toma de decisiones en escenarios de alta variabilidad y estacionalidad. Además, estas predicciones proporcionan una base sólida para ajustar recursos y operaciones en los meses futuros.

4.17 Planificación maestra de producción

Para la elaboración de la planificación maestra se necesita conocer estos datos que muestra la tabla 14 extraídas de la empresa que se muestran a continuación:

Tabla 14

Inventario y lote que fabrica la empresa

MES	
Inventario inicial	120
Lote	200

Nota. Información tomada de Industrias Metálicas Vilema

Para la elaboración del análisis se consideraron los meses de enero, febrero, marzo, abril y mayo de 2025, divididos por semanas. La activación única del Plan Maestro de Producción (PMP) se realizó en la quinta y undécima semana, asignando 200 unidades en cada caso.

Esta estrategia permitió reabastecer el inventario de manera estratégica, garantizando la disponibilidad de producto terminado en momentos críticos. Además, se evidencia una activación adicional en el mes de mayo, también con una asignación de 200 unidades, lo que asegura la continuidad del abastecimiento frente a la variabilidad de los pedidos y pronósticos.

Este enfoque subraya la importancia de programar producciones periódicas en semanas clave para mitigar riesgos operativos, optimizar los niveles de inventario y mantener la eficiencia en la gestión de recursos.

Tabla 15

Plan maestro de producción para el año 2025 en los meses de enero a marzo

Meses	Enero					Febrero				Marzo			
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Inventario inicial	120	100	60	40	10	170	150	130	100	60	25	190	

Pronóstico	16	16	16	16	16	16	16	16	35	35	35	35
Pedido	20	40	20	30	40	20	20	30	40	20	20	30
PMP	0	0	0	0	200	0	0	0	0	0	200	0
Inventario final	100	60	40	10	170	150	130	100	60	25	190	155

Nota. Elaborada por el autor

Tabla 16

Plan maestro de producción para el año 2025 en los meses de abril a mayo

Meses	Abril				Mayo			
Semana	1	2	3	4	5	6	7	8
Inventario inicial	155	135	115	95	65	45	25	5
Pronóstico	19	19	19	19	17	17	17	17
Pedido	20	20	20	30	20	20	20	30
PMP	0	0	0	0	0	0	0	200
Inventario final	135	115	95	65	45	25	5	175

Nota. Elaborada por el autor

4.18 Comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis planteada, se empleará una prueba t para una muestra, tal como se ilustra en la tabla 17. Esta tabla presenta los estadísticos descriptivos derivados de la muestra utilizada, que comprende 440 datos de producto terminado, junto con el periodo de tiempo correspondiente en el que estos fueron vendidos.

El objetivo de esta prueba es determinar si existe una diferencia significativa entre los valores observados y los esperados, en función de los parámetros establecidos en la hipótesis inicial. La aplicación de esta técnica estadística asegura una evaluación rigurosa y cuantitativa, proporcionando evidencia sólida para aceptar o rechazar la hipótesis propuesta.

Tabla 17*Estadísticos para una muestra*

	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Fecha	440	28-DEC-2021	1089	30,07
Producto Terminado	440	2,2657	2,59873	,07233

Nota. Elaborado por el autor

La tabla 18 detalla que el producto terminado presenta un significado bilateral (sig) de 0.003 y una media muestral del 75%, lo cual lleva a rechazar la hipótesis nula (H_0) y a aceptar la hipótesis alterna (H_i). Este resultado estadístico confirma que la implementación del plan maestro de producción contribuye significativamente a la mejora en la producción.

El análisis evidencia que el plan maestro permite optimizar los recursos, mejorar la gestión operativa y satisfacer de manera más eficiente la demanda del mercado. Esto subraya la importancia de incorporar herramientas estratégicas basadas en datos en la planificación de la producción

Tabla 18*Prueba T para una muestra*

Valor de prueba = 75						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia	Inferior	Superior
Fecha	5294,589	1293	,001	160,417	30-OCT-2021	26-FEB-2022
Producto terminado	-1005,638	1290	,003	-72,73431	-72,8762	-72,5924

Nota. Elaborado por el autor

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se identificaron cuellos de botella en áreas críticas del proceso de producción, particularmente en las etapas de perforación e inactividad. Como solución, se propuso el reemplazo de la maquinaria obsoleta, cuya viabilidad ha sido comprobada mediante pruebas internas. Estas pruebas evidenciaron que la nueva maquinaria permite reducir el tiempo de operación promedio de 29 a 13 minutos, lo que representa una mejora significativa de 16 minutos por ciclo. Esta optimización no solo incrementa la eficiencia operativa, sino que también agiliza el cumplimiento de los plazos de entrega, asegurando una mayor capacidad de respuesta ante la demanda. Además, la implementación de este cambio se alinea con los principios de la Teoría de Restricciones, ya que contribuye a eliminar limitaciones en el flujo de producción y mejorar el aprovechamiento de los recursos disponibles.

- El análisis de la base de datos histórica de ventas permitió explorar modelos de pronóstico como SARIMA, que logró capturar la irregularidad y la estacionalidad de la serie (incluso con meses sin actividad y picos extremos), sin embargo, se observó que ciertos modelos arrojaron métricas con errores elevados o un R^2 negativo (indicativo de la alta volatilidad de la serie) evidenciando una interacción no lineal entre las variables, la utilización de SARIMA ofreció una mayor confiabilidad en la proyección de la demanda futura. Este hallazgo cumple con el objetivo de determinar el pronóstico de la demanda mediante métodos causales, estableciendo una base cuantitativa robusta para la toma de decisiones. El análisis de la base de datos histórica de ventas permitió explorar diversos modelos de pronóstico. Entre ellos, se evaluó el modelo SARIMA, el cual demostró ser especialmente adecuado para capturar tanto la irregularidad como la estacionalidad de la serie temporal, incluso en situaciones complicadas como meses sin actividad y picos extremos. En contraste, otros modelos presentaron métricas con errores elevados o incluso un coeficiente de determinación (R^2) de 0.2919 dando un porcentaje de 29%, La utilización de SARIMA resultó en una mayor confiabilidad para proyectar la demanda futura, lo cual cumple con el objetivo de establecer un pronóstico basado en métodos causales. Este hallazgo establece una base cuantitativa robusta para la toma de decisiones estratégicas, reforzando la importancia de adoptar modelos que se adapten a las variaciones y complejidades del comportamiento de la demanda. Si necesitas afinar algún detalle o ampliar algún aspecto técnico,

- La propuesta del plan maestro de producción se fundamenta en los pronósticos generados, lo que permite definir de forma precisa cuándo y cuánto producir para satisfacer la demanda. Por ejemplo, se estableció la producción de 200 unidades en periodos críticos (febrero, marzo y mayo de 2025), distribuidas en semanas específicas. Este enfoque no solo optimiza la planificación de los requerimientos de materiales, sino que también mejora la coordinación con los proveedores.

5.2 Recomendaciones

Integrar variables relevantes, como condiciones climáticas, indicadores económicos y factores estacionales, contribuirá a mejorar la precisión del pronóstico al incorporar información contextual que influye en la dinámica de la producción. Además, el uso de validaciones cruzadas junto con métricas complementarias, como MAE (Mean Absolute Error) y MAPE (Mean Absolute Percentage Error), permitirá evaluar de manera más robusta el desempeño del modelo, reduciendo sesgos y mejorando su capacidad de generalización.

Para optimizar la gestión de producción, se sugiere implementar metodologías de mejora continua, como el enfoque 5S, que facilita un ambiente de trabajo ordenado y eficiente, reduciendo tiempos improductivos y mejorando la operatividad. Asimismo, la adopción de sistemas Just in Time (JIT) basados en Kanban permitirá una producción más ágil y ajustada a la demanda real, evitando excesos de inventario y reduciendo costos operativos.

Con la metodología SARIMA, se evidenció que la predicción realizada alcanzó 36 unidades, representando un incremento significativo en comparación con las 76 unidades previamente esperadas. Este resultado implica que el modelo no respalda la hipótesis planteada, ya que la discrepancia entre los valores proyectados y los valores esperados indica que las condiciones asumidas inicialmente no se ajustan correctamente a la realidad del comportamiento de la serie temporal.

La capacidad del modelo para reflejar patrones históricos y proyecciones realistas destaca su utilidad como herramienta de análisis. Sin embargo, los resultados obtenidos invitan a reevaluar las hipótesis formuladas y explorar ajustes en las premisas iniciales, asegurando que las proyecciones se alineen de manera más precisa con la dinámica del entorno.

Respuesta De La Pregunta De Formulación Del Problema

En cuanto a la formulación del problema, el modelo matemático SARIMA se empleó para optimizar el proceso de proyección de demanda, logrando una estimación de 36 unidades. Este resultado proporciona un apoyo significativo para la planificación de la producción, ya que permite determinar con mayor precisión las cantidades a producir, alineando las actividades operativas con los requerimientos proyectados.

La integración de este modelo fortalece la capacidad de la empresa para anticiparse a las necesidades del mercado, reduciendo riesgos asociados a la sub producción o sobreproducción, y contribuyendo a una gestión eficiente de los recursos disponibles.

BIBLIOGRAFÍA

- Agüero, M. (2011). *El proceso del análisis y la descripción con las especificaciones para confeccionar la matriz de las competencias y construir el perfil del cargo o de ocupación*. <https://www.bing.com/search?q=%20tesis%20de%20El%20proceso%20del%20an%C3%A1lisis%20y%20la%20descripci%C3%B3n%20con%20las%20especificaciones%20para%20confeccionar%20la%20matriz%20de%20las%20competencias%20y%20construir%20el%20perfil%20del%20cargo%20%20de%20ocupaci%C3%B3n.&qs=n&form=QBRE&sp=-1&lq=0&pq=%20tesis%20de%20el%20proceso%20del%20an%C3%A1lisis%20y%20la%20descripci%C3%B3n%20con%20las%20especificaciones%20para%20confeccionar%20la%20matriz%20de%20las%20competencias%20y%20construir%20el%20perfil%20del%20cargo%20o%20de%20ocupaci%C3%B3n.&sc=0-171&sk=&cvid=1263EECB07B54526B47C9C5AD1727E23>
- Antón, L. y Clavijo, D. (2019). *Mejoramiento de la productividad mediante la aplicación e implementación de herramientas Lean Manufacturing en la 86iseñ de producción de puertas enrollables en Industrias Metálicas Vilema en el cantón Guano*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/11392>
- Bartholomew, D. y Box, G. y Jenkins, G. (1971). Time Series Analysis Forecasting and Control. *Operational Research Quarterly*, 22(2), 199. <https://doi.org/10.2307/3008255>
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción*. www.pearsoneducacion.net
- Chase, R. y Jacobs, F. y Nicholas, J. (2009). *Administración de operaciones y producción* (Vol. 12). Mc Graw. https://www.academia.edu/18895904/Administracion_de_operaciones_y_produccion_12_ed_chase_aquilano_jacobs_11
- Criollo, R. (2018). *Estudio del trabajo Ingeniería de métodos y medición del trabajo: Vol. SEGUNDA EDICION*. https://faabenavides.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf
- Fernandez, R. y Fernandez, J. (2008). *Estimación del cambio climático en Pamplona, Norte de Santander, un análisis de series temporales* [Universidad Francisco de Paula Santander]. <https://estadisticainferencialhg.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/12/tg09.pdf>

- Filippini, M. y Greene, W. H. y Kumar, N. y Martinez-Cruz, A. L. (2018). A note on the different interpretation of the correlation parameters in the Bivariate Probit and the Recursive Bivariate Probit. *Economics Letters*, 167, 104–107. <https://doi.org/10.1016/J.ECONLET.2018.03.018>
- Gutiérrez, R. (2022). The Use of Implied Volatility in Conditional Variance Modeling Can Improve Volatility Forecasting and var and cvar Estimation. *Economía Teoría y Práctica*, 58, 173–198. <https://doi.org/10.24275/ETYP/AM/NE/582023/Jesus>
- Heizer, J. H. y Render, Barry. Y Murrieta Murrieta, J. Elmer. Y Haaz Díaz, Guillermo. (2009). *Principios de administración de operaciones* (Vol. 7). Pearson Educación. https://drive.google.com/file/d/1vUou38EhJr2A9-sYIN_4HheNxpyw54g6/view
- Hernández, P. y Torrealba, E. y Espinoza, W. (2020). *Propuesta de plan maestro de producción en la empresa Alex's Shoes S.A., ubicada en el departamento de Granada, Nicaragua*. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNI.20347>
- Industrias Metálicas Vilema. (2018). *Empresa | Puertas enrollables y Accesos Automáticos en Riobamba – IMEV*. Puertas Enrollables y Accesos Automáticos En Riobamba – IMEV. <https://www.imev.com.ec/empresa/>
- Iván Vélez, J. y Carlos, J. y Morales, C. (2015). A modified Q-Q plot for large sample sizes 1 Gráfico Q-Q modificado para grandes tamaños de muestra. In *Comunicaciones en Estadística Diciembre* (Vol. 8, Issue 2).
- López López, I. D. y Urrea Arbeláez, J. y Navarro Castaño, D. (2006). Aplicación de la Teoría de Restricciones (TOC) a la gestión de facturación de las Empresas Sociales del Estado, ESE.: Una contribución al Sistema de Seguridad Social en Colombia. *Innovar*, 16(27), 91–100. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-50512006000100006&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Moreno-Morales, A. y Navarrete-Fonseca, M. y Molina-Herrera, J. y Osorio-Jiménez, K. (2024). Contribución del sector industrial manufacturero al producto interno bruto del Ecuador. *Revista Venezolana de Gerencia*, 29(105), 417–432. <https://doi.org/10.52080/RVGLUZ.29.105.26>
- Niebel, B. (2009). *Metodos 87iseño87res y diseno del trabajo* (P. Vazquez, Ed.; Delgado Rodríguez). <File:///C:/Users/Usuario/Documents/Ejecuci%C3%B3n/Metodos%20estandares%20y%20diseno%20del%20trabajo.pdf>
- Romero Rojas., J. D. y Ortiz Triana., V. K. y Caicedo Rolón, Á. J. (2019). La Teoría de Restricciones y la Optimización como Herramientas Gerenciales para la Programación de

la Producción. Una Aplicación en la Industria de Muebles. *Revista de Métodos Cuantitativos Para La Economía y La Empresa*, 27, 74–90.
<https://doi.org/10.46661/revmetodoscuanteconempresa.2964>

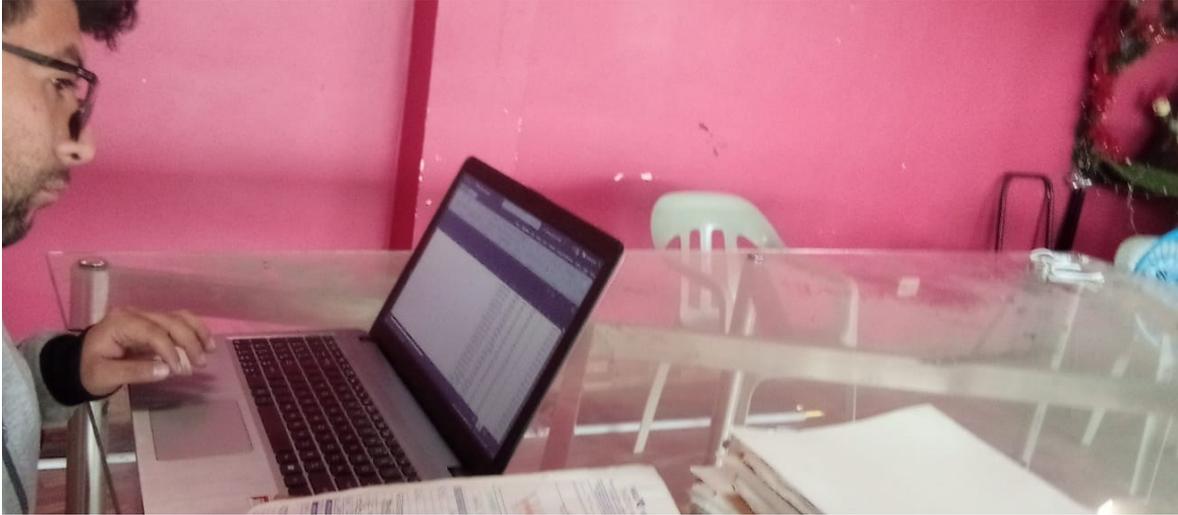
Sampieri, R. y Fernández, C. y Baptista, M. (2014). *Metodología de la investigación* (Vol. 6).
www.elosopanda.com

YOUSUF, M. I. (2007). Using experts' opinions through Delphi technique. *Practical Assessment, Research & Evaluation*.

ANEXOS

Anexo 1

Análisis de datos



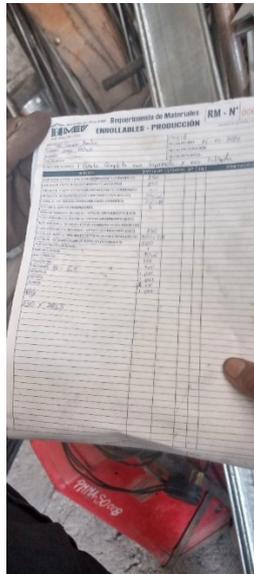
Anexo 2

Taladro de banco de 250 w



Anexo 3

Hoja de pedido de los requerimientos de materiales distribuidos por el trabajador



Anexo 4

Bodega de almacenamiento



Anexo 5

Proceso de elaboración de la base de soporte de la puerta enrollable



Anexo 6

Proceso de ruedas de soporte de perfil



Anexo 7

Operación de perforación



Anexo 8

Almacenamiento de eje de con ruedas de la puerta enrollable



Anexo 9

Ensamblaje de puerta enrollable



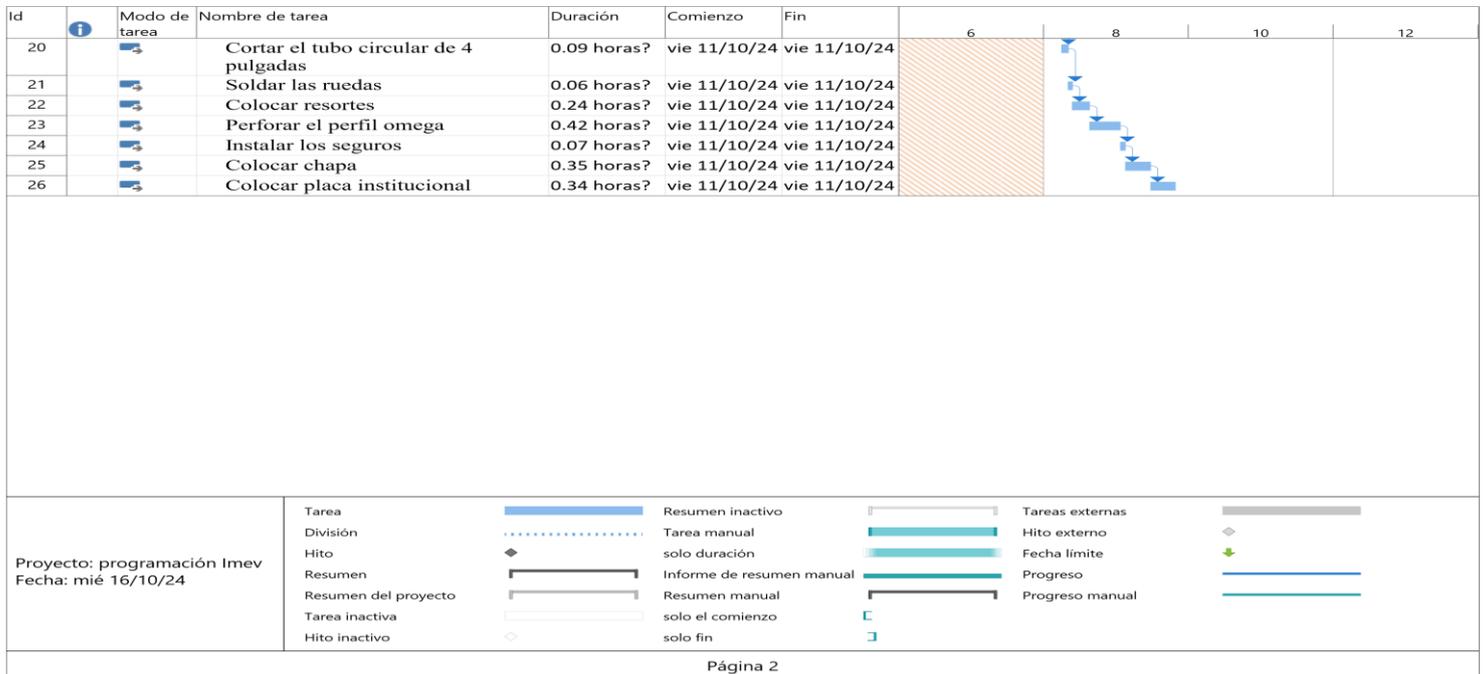
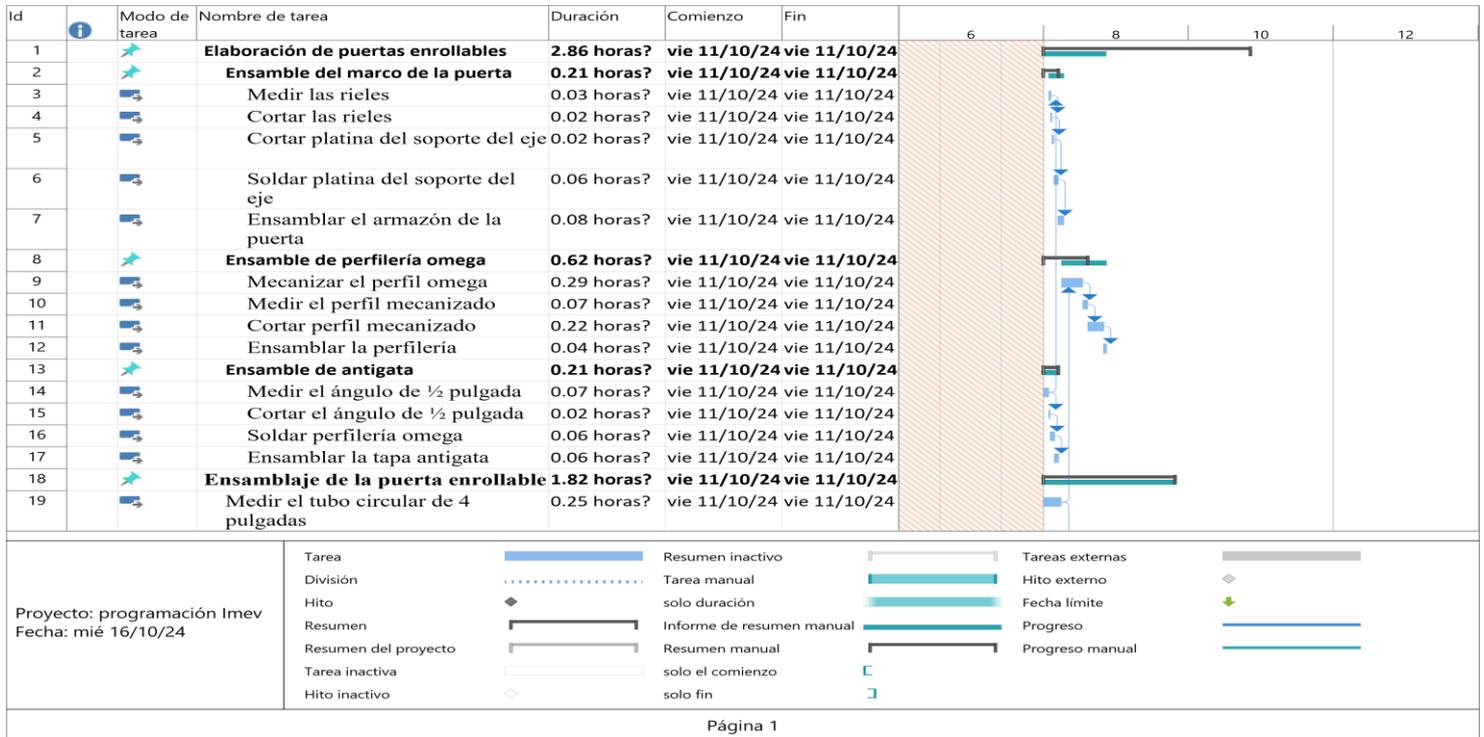
Anexo 10

Puerta finalizada para su colocación



Anexo 11

Programación de elaboración de puertas



Anexo 12

Base datos analizada

	Fecha	Producto_terminado	var						
172	19-Nov-2020	6,00							
173	19-Nov-2020	2,00							
174	19-Nov-2020	1,00							
175	19-Nov-2020	1,00							
176	19-Nov-2020	2,00							
177	19-Nov-2020	1,00							
178	20-Nov-2020	1,00							
179	20-Nov-2020	1,00							
180	21-Nov-2020	1,00							
181	21-Nov-2020	1,00							
182	21-Nov-2020	1,00							
183	21-Nov-2020	1,00							
184	23-Nov-2020	1,00							
185	23-Nov-2020	4,00							
186	23-Nov-2020	2,00							
187	23-Nov-2020	1,00							
188	23-Nov-2020	3,00							
189	23-Nov-2020	1,00							
190	24-Nov-2020	2,00							
191	24-Nov-2020	1,00							
192	24-Nov-2020	6,00							
193	24-Nov-2020	2,00							
194	25-Nov-2020	1,00							
195	25-Nov-2020	1,00							

1

Vista de datos Vista de variables