



Propuesta de mejora para optimizar y automatizar los procesos de planificación de operaciones de la empresa RK

Martín Ignacio González G.
Ingeniería Civil Industrial

RESUMEN

En este proyecto, se aborda la problemática que enfrenta la empresa RK, una maestrana situada en la ciudad de Rancagua, la cual experimenta constantes retrasos en las entregas de sus pedidos. La evaluación de su rendimiento revela que el porcentaje de pedidos atrasados es la métrica primordial. Al analizar las causas fundamentales, se identifica que la planificación deficiente es el principal factor contribuyente.

El objetivo central de este proyecto es mitigar los retrasos en las entregas mediante la optimización de los procesos de planificación. Se propone la implementación de un sistema de automatización de planificación basado en el modelo PERT (Program Evaluation and Review Technique), enfoque que utiliza tiempos pesimistas, moda y optimista. Además, se complementa con el algoritmo de Moore, que genera una secuencia de producción minimizando los retrasos de entrega.

Los resultados obtenidos tras la aplicación de este sistema son significativos. Se registra una reducción sustancial en los incumplimientos de pedidos, disminuyendo el promedio histórico del 55,35% a un rendimiento del 16,6% en el primer mes ejecutado. Además de la mejora en la puntualidad, se observa un aumento en la eficiencia operativa, una mayor satisfacción del cliente y una reducción en los costos operativos y de oportunidad.

Estas mejoras no solo impactan el rendimiento general de la empresa, sino que también fortalecen su capacidad de respuesta. Este valor añadido no sólo consolida la satisfacción de los clientes actuales, sino que también abre oportunidades para atraer nuevos clientes, promoviendo el crecimiento sostenido de la empresa en el mercado.

ABSTRACT

This project addresses the problem faced by the company RK, a workshop located in the city of Rancagua, which experiences constant delays in the deliveries of its orders. Evaluating their performance reveals that the backorder percentage is the primary metric. When analyzing the root causes, poor planning is identified as the main contributing factor.

The main objective of this project is to mitigate delivery delays by optimizing planning processes. Implementing a planning automation system based on the PERT (Program Evaluation and Review Technique) model is proposed, an approach that uses pessimistic, mode, and optimistic times. In addition, it is complemented by the Moore algorithm, which generates a production sequence that minimizes delivery delays.

The results obtained after the application of this system are significant. There is a substantial reduction in order failures, reducing the historical average from 55,35% to performance of 16,6% in the first month. Additionally to improved punctuality, there is an increase in operational efficiency, greater customer satisfaction, and reduced operational and opportunity costs.

Not only do these improvements impact the company's overall performance but they also strengthen its responsiveness. This added value, on top of consolidating the satisfaction of current customers, also opens up opportunities to attract new customers, promoting the company's sustained growth in the market.

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	2
1 INTRODUCCIÓN	4
1.1 La empresa	4
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Relevancia	5
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo General	8
2.2 Objetivos Específicos	8
3 ESTADO DEL ARTE	9
3.1 Layout - Distribución y ubicación de instalaciones	9
3.1 MRP - Planificación de requerimientos de materiales	10
3.1 PERT / Programación de Operaciones	11
4 SELECCIÓN DE SOLUCIÓN	13
4.1 Selección	13
4.2 Evaluación Económica	14
4.3 Plan de Mitigación de Riesgos	16
5 METODOLOGÍA	17
5.1 Generalidades	17
5.2 Plan de Implementación	18
6 MEDIDAS DE DESEMPEÑO	20
7 DESARROLLO	21
7.1 PERT - Secuenciador	21
7.1 Método ABC	24
9 RESULTADOS	26
10 CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN	30
11 BIBLIOGRAFÍA	32
12 ANEXOS	33
12.1 Carta Gantt	33
12.2 Descripción factores matriz de decisión	34
12.3 Segmentación ABC	35
12.4 Matriz de Riesgo	36
12.5 Diagrama de Paret	38

1 INTRODUCCIÓN

1.1 La empresa

En el año 2019 en la comuna de Buin nace RK Maestranza, a partir de una alianza estratégica con la empresa T&M Eléctricos (mismo dueño), donde en un principio, como maestranza, se dedicaban a fabricar estructuras metálicas simples, tableros eléctricos y trabajos menores.

Ya para el año 2021 RK se traslada a la ciudad de Rancagua donde comienza a realizar trabajos más complejos como unidades hidráulicas, fitting de mangueras, cuadros de válvulas e inclusive estructuras metálicas de mayor magnitud, como, por ejemplo, portones para la minería de aproximadamente unas 3 toneladas de peso.

Al día de hoy, RK Maestranza, tal como lo dice su nombre, es una maestranza que se dedica a la fabricación y mecanizado de estructuras metálicas, unidades y componentes hidráulicos, armado de tableros eléctricos, etc. Estos productos los fabrica principalmente para T&M debido a que esta empresa cuenta con un contrato con la constructora Gardilcic, por lo que RK los abastece mensualmente con las estructuras y unidades que vayan requiriendo.

Adicionalmente, RK está trabajando en ampliar su cartera de clientes y ya cuentan con negociaciones para vender y/o arrendar sus productos a otras empresas. También, es importante mencionar que se está trabajando en la implementación de un sistema de gestión de calidad, con el objetivo de tener una posición más competitiva en el mercado y ser más eficiente en sus procesos de fabricación.

1.2 Planteamiento del problema

Actualmente, RK funciona sin planificar, donde el encargado de la maestranza es quien da las directrices a los maestros para realizar los trabajos. De esta forma, no hay un plan de trabajo, tanto para la fabricación, como para definir los plazos en los que se deben realizar las compras, las órdenes de compra se van haciendo según se van necesitando los materiales. Tampoco existen órdenes de trabajo para los trabajadores, es decir, no existe una estrategia ni una planificación dentro de la empresa. Además, no existe registro de los trabajos realizados, lo cual dificulta principalmente una proyección de la demanda futura y obtener datos para planificar.

En conversaciones con el administrador de la maestranza, menciona las inquietudes en su rol en la empresa. Comenta como su principal problema es el no poder llegar a las fechas de entrega establecidas, donde desde su perspectiva existen varios factores involucrados. Uno de ellos, es la dependencia del personal de compras. Como se mencionó anteriormente, T&M y RK son del mismo dueño, donde el personal de abastecimiento de T&M es el que se encarga de realizar las compras que va requiriendo la maestranza. Debido a esta dependencia se generan problemas de coordinación de acuerdo a lo que el administrador necesita, por ejemplo, en ocasiones los materiales e insumos no están a tiempo cuando se requieren, lo que genera retrasos por tiempos de inactividad o no poder avanzar en los proyectos que tienen mayor prioridad.

Sin embargo, al conversar con el equipo de abastecimiento, comentan que no pueden tener los materiales con la anticipación deseada debido a que no hay un plan de producción establecido y considerando los diferentes tiempos de respuesta que tienen los proveedores, no logran proveer los materiales e insumos a tiempo y de esa manera evitar los tiempos muertos de producción o el desorden de prioridad en la elaboración de trabajos.

En cuanto a producción, no existen mayores problemas, los trabajadores son eficientes y los retrasos por fabricación como tal son mínimos, incluso a veces sacan los trabajos antes del tiempo presupuestado debido a las complicaciones por la planificación. Sin embargo, a pesar de que el rendimiento de los trabajadores es óptimo considerando la cantidad de personal, muchas veces no da abasto debido a que llegan pedidos, no existen herramientas para establecer fechas de entrega factibles y esa sobreproducción genera un ciclo vicioso de retrasos, ya que todo se establece de manera empírica.

Juntando todos estos antecedentes, el problema radica en la ausencia de planificación, que termina por generar una serie de retrasos en la entrega de los productos.

1.3 Relevancia

Es importante mencionar que, debido a esta problemática, se han dejado de vender unidades hidráulicas evaluadas en \$40.000.000 aproximadamente, por lo que es relevante mejorar el nivel de servicio que entrega la maestranza.

Además, como se comentó anteriormente, RK está trabajando en abrir su cartera de clientes, lo preocupante de esto, es que, si no se soluciona el problema mencionado, los futuros clientes no estarán de acuerdo con los retrasos de entrega, lo cual puede traer repercusiones contractuales, legales y por consecuencia, financieras.

Ahora, mediante las facturas y correos electrónicos, fue posible identificar los pedidos realizados en los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre del año 2023. De esta manera se logra establecer el rendimiento de entrega de la maestranza.

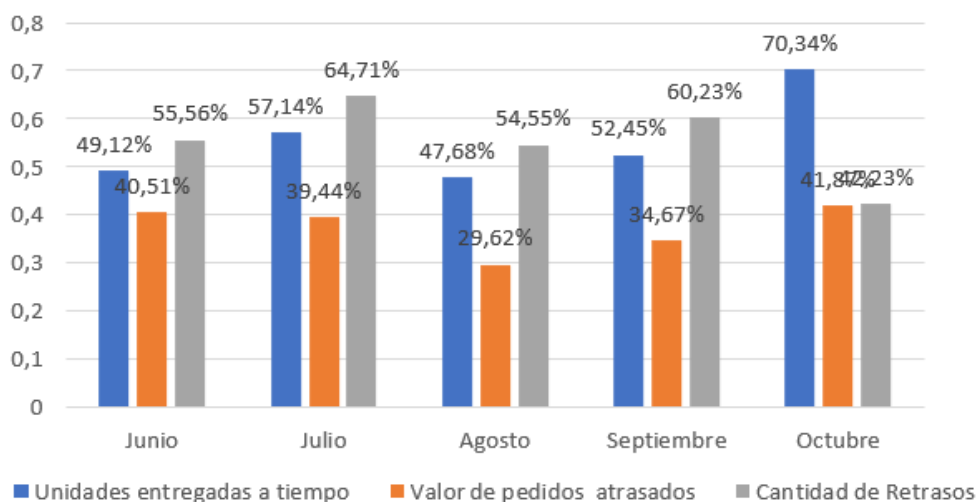


Gráfico N° 1: Rendimiento de entrega de RK Maestranza (Fuente: Elaboración propia)

Del gráfico 1, se puede apreciar que el nivel de unidades entregadas a tiempo no es el óptimo, el más alto en los últimos meses llega al 70,3%, sin embargo, el promedio de unidades que se entregan a tiempo es de 55,4%. Con respecto al valor de las ventas generadas de las unidades atrasadas, es preocupante, si bien en agosto bajó de forma considerable, el promedio sube a un 37,2% de los ingresos de la empresa, los cuales son generados por pedidos que se entregan atrasados. Finalmente, está la cantidad de retrasos, cifra que delata la problemática a nivel macro que presenta la empresa. En todos los meses, existe al menos 50% de pedidos con retrasos, exceptuando el mes de octubre, lo que significa que en promedio el 55,5% de los pedidos cuentan con retrasos en las entregas. Esto delata un rendimiento por debajo de lo esperado por la empresa con respecto a la entrega de sus productos y servicios, evidenciando la problemática que tiene la empresa.

Factor	Mes		
	Agosto	Septiembre	Octubre
Falta de materiales	2	1	2
Planificación deficiente	4	4	5
Error de fabricación	0	0	1
Total	6	5	8

Tabla N° 1: Motivos de retrasos de entrega de RK (Fuente: Elaboración propia)

Por otra parte, como se evidencia en la tabla 1, se logró identificar durante los meses de agosto, septiembre y octubre que, en promedio, el 68,4% de los retrasos es debido a una planificación deficiente, lo cual significa fechas de entrega acordadas que no eran factibles o una mala estrategia a la hora de abordar los pedidos. El resto de los retrasos se compone de un 26,3% debido a falta de materiales en las fechas requeridas y un 5,3% son debido a un error de fabricación en el cual se tuvo que corregir un producto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Para el final del segundo semestre del 2023 se espera lograr una disminución del 15% en la cantidad de pedidos con retrasos de RK Maestranza.

2.2 Objetivos Específicos

- Reducir el incumplimiento de pedidos a tiempo de RK Maestranza
- Reducir el porcentaje de ingresos por ventas que se realizan fuera del plazo de entrega establecido
- Establecer procesos de planificación dentro de la cadena de suministro de la maestranza
- Mejorar la coordinación entre las distintas secciones de la empresa

3 ESTADO DEL ARTE

Como se mencionó anteriormente, la problemática principal de la empresa es el retraso en la entrega de pedidos. A modo de abordar esta problemática, debemos tener un enfoque global respecto al plan de acción a realizar. Para esto, se analizaron diversos estudios sobre empresas manufactureras de la misma u otras industrias, pero con el mismo problema identificado.

3.1 Layout - Distribución y ubicación de instalaciones

Ángel Patazca, quien en el año 2018 realizó su tesis acerca en una empresa de metalmecánica ubicada en Perú, donde su objetivo principal era mejorar el sistema productivo de dicha empresa, en particular, reducir los retrasos de entrega de pedidos. Para esto, Ángel, realizó una propuesta de mejora con varios enfoques para abordar la problemática de la empresa. En cuanto a la planificación, utilizó un método de clasificación ABC para priorizar los productos que generaban mayores ingresos, luego realizó una mejora en el layout de la empresa, es decir, mejorar la distribución de las instalaciones de la empresa teniendo como entrada la relación que tiene cada sector entre sí (tiempos de desplazamiento, restricciones de que algunas secciones deban estar juntas o separadas por algún motivo, etc.) y tipo de flujo que mejor se adapta a la empresa, con el objetivo de generar un flujo continuo de los productos, medir el ritmo de producción y establecer el plan de producción acorde a una proyección de la demanda. De esta manera, Ángel logró disminuir los retrasos de entrega en un 8,61%.

Por otra parte, María Belén Aristi, en el año 2020, realizó una propuesta de planificación y control de la producción con el objetivo de reducir los retrasos de entrega en una empresa dedicada a la fabricación de productos para campos y suelos agrícolas. Su problemática es bastante similar a RK, no existía un control sobre la producción y contaba con una planificación deficiente. María abordó dicho problema mejorando la distribución de la empresa, propuso la compra de nuevas maquinarias y de esa manera mejorar el flujo de producción. Es decir, al igual que el caso de Ángel, se mejoró la distribución del layout de la empresa, para mejorar el flujo de producción y de esa manera, midiendo los tiempos producción establecer un programa de producción.

En cuanto a los casos de estudio de Ángel y María, se puede observar que ambos tienen en común el objetivo de mejorar el proceso productivo para lograr tener control sobre este, poder medirlo y establecer un plan de producción adecuado a sus necesidades. Para ambos, la metodología se basó

en mejorar la distribución de la planta, mejorar el flujo de proceso y minimizar el tiempo respectivo. Esto lo podemos validar con los expertos del tema. *“Los objetivos de un estudio de distribución de planta podrían incluir uno o más de los siguientes: minimizar la inversión en equipo nuevo, minimizar el tiempo en la producción, ..., minimizar el costo de manejo de materiales, facilitar el proceso de manufactura, facilitar la estructura organizacional.”* (Nahmias, 2007). Por lo cual, según Nahmias, mejorar la distribución de las instalaciones optimiza directamente los retrasos, sin embargo, minimiza los tiempos de producción. Esto último, puede ayudar directamente a la reducción de retrasos si trabaja en conjunto con un plan de producción, al tener tiempos de flujo y con ellos establecer un plan.

Ahora, con respecto a las restricciones de esta metodología, está que existen distintos tipos de distribuciones según los productos, variabilidad de estos y sus cantidades a producir. Para una maestría la distribución que más se adecua es la que se realiza por procesos. Sin embargo, la desventaja es que con este tipo de distribución se generan flujos más complejos, pudiendo acumular trabajos en espera.

3.1 MRP - Planificación de requerimientos de materiales

También existen otras maneras de abordar la problemática, Cerna y Castillo en el año 2021, con su estudio en la industria vitivinícola buscaban disminuir los incumplimientos en los pedidos. Para lograr su objetivo implementaron un modelo llamado "MRP" (Planificación de Requerimiento de Materiales) para mejorar los procesos de planificación. Con este modelo lograron reducir el incumplimiento de pedidos de un 14% a un 4%.

Por otra parte, también está Alisson Luyo y Katherin Sánchez, quienes en el año 2021, en la industria de la construcción modular, con el mismo objetivo de mejorar la respuesta que tiene la empresa a la hora de entregar los productos a tiempo, implementaron una serie de medidas para lograr este objetivo, donde una de las principales fue implementar este modelo MRP, teniendo como resultado llegar al 95,74% de entregas a tiempo de sus productos.

Tal como lo dice Nahmias en su libro *“Análisis de la producción y las operaciones”*, MRP es un modelo que determina las cantidades de producción para cada nivel del sistema productivo, basándose en un programa maestro de producción, inventarios y lista de materiales. Su principal

objetivo es garantizar que los materiales necesarios para la producción estén disponibles a tiempo y en las cantidades correctas.

“Aunque el plan total proporciona un marco general operativo, el programador tiene que especificar exactamente qué se va a producir. Estas decisiones se toman al tiempo que se reacciona a las presiones de diversas áreas funcionales, como el departamento de ventas (cumplir el plazo prometido al cliente), finanzas (reducir al mínimo el inventario), administración (maximizar la productividad y el servicio a clientes, minimizar las necesidades de recursos) y manufactura (tener programas uniformes y minimizar los tiempos de preparación)”. (Chase, 2009) Por lo tanto, este modelo busca atender a tiempo a los clientes mediante la maximización de la producción, minimizando necesidad de recursos, inventarios y tiempos de preparación.

Ahora, este modelo también tiene desventajas y restricciones. *“El MRP posee ventajas y desventajas como sistema de planeación sobre otros. Entre sus desventajas están que 1) no se toma en cuenta la incertidumbre del pronóstico; 2) las restricciones de capacidad se pasan completamente por alto; 3) elegir el horizonte de planeación puede tener un efecto significativo en los tamaños de lote recomendados; 4) los tiempos de entrega se consideran fijos, aunque deberían depender de los tamaños de lote; 5) no toma en cuenta las pérdidas debidas a artículos defectuosos o tiempo de inactividad de máquina; 6) la integridad de los datos puede ser un problema serio; 7) en los sistemas donde los componentes se utilizan en diversos productos, es necesario vincular cada orden a un artículo de nivel superior.”* (Nahmias, 2007). Desventajas a considerar a la hora de evaluar la solución a implementar.

3.1 PERT / Programación de Operaciones

Otra manera de abordar la problemática la aplicó Toledo en el año 2018, donde su objetivo era mitigar las causas que provocan la disminución del nivel de servicio de la organización, en particular los retrasos de entrega. Para lograrlo implementó un plan de mejora que incluyó herramientas como el modelo PERT y un modelo de secuenciación de trabajos, logrando mejorar el nivel de servicio, subiendo la cantidad de elementos entregados a tiempo de un 52,8% a un 72,9%, subiendo en 20 puntos el rendimiento.

El modelo PERT (Program Evaluation and Review Technique) consiste en realizar una estimación de tiempo de cada actividad, basándose en un tiempo mínimo, máximo y el más probable (moda) para cada etapa. De esta manera, PERT entrega una estimación probabilística de la duración de un proyecto, al sumar las estimaciones de cada actividad, asumiendo que hay tiempos en actividades que son inciertos, debido a que hay procesos complejos que realizan los trabajadores y no siempre les toma el mismo tiempo realizar cada trabajo.

Tal como lo comenta Nahmias, en resumen, el modelo PERT funciona de la siguiente manera:

- “1. Para cada actividad obtenga estimados de a , b , y m . Estos estimados deben ser suministrados por el director del proyecto, o alguien familiarizado con proyectos similares.*
- 2. Con el uso de estos estimados, calcule la media y la varianza de cada uno de los tiempos de las actividades a partir de las fórmulas dadas.*
- 3. Con base en los tiempos medios de las actividades, use los métodos de la sección 9.4 para determinar la ruta crítica.*
- 4. Una vez que se han identificado las actividades críticas, sume las medias y las varianzas de aquéllas para encontrar la media y la varianza del tiempo total del proyecto.*
- 5. Se supone que el tiempo total del proyecto tiene distribución normal con la media y la varianza que se determinan en el paso 4.”*

Adicionalmente, se complementa esta estimación de tiempo con un modelo de programación de operaciones, el cual consiste en jerarquizar los pedidos de la maestranza siguiendo ciertos algoritmos que buscan optimizar tiempos de flujo medio, retrasos de entrega, retraso máximo, etc. según el objetivo que se tenga.

“El algoritmo de Moore (1968), que minimiza el número de trabajos retrasados para el problema de una sola máquina.” (Nahmias, 2007). En cuanto a lo que compete a este proyecto, dentro de los algoritmos el adecuado es el de Moore, ya que tal como lo dice Steven, busca minimizar la cantidad de trabajos retrasados. Esto lo logra mediante la secuenciación de los trabajos por fechas de entrega, luego en la secuencia presente encuentra el primer trabajo retardado y lo rechaza hasta el final de la producción. Sin embargo, se debe considerar que la restricción de este modelo es que fue utilizado para una sola máquina.

4 SELECCIÓN DE SOLUCIÓN

4.1 Selección

Tras el análisis realizado en el estado del arte, se pudieron recopilar 3 modelos o sistemas que han tenido resultados ante la problemática presente en la maestría, siendo posibles soluciones a implementar.

Ante la necesidad de escoger la más apropiada, se realizó una matriz de decisión, utilizando el método de los factores ponderados. Este método consiste en tomar una serie de factores, se determina la ponderación según la importancia para la empresa y el proyecto, luego se le asigna una nota a cada modelo con respecto a cada factor, de esta forma se obtiene el puntaje final ponderado con el cual se escoge el modelo de planificación más adecuado. El detalle de cada factor se encuentra en el **anexo 12.2**.

Factor	Ponderación	Propuestas					
		Layout		MRP		PERT/Secuenciación	
		Nota	Ponderación	Nota	Ponderación	Nota	Ponderación
Complejidad de implementación	17.5%	2	0.35	3	0.525	4	0.7
Precisión del objetivo	17.5%	2	0.35	4	0.7	5	0.875
Proyección de demanda	15%	3	0.45	4	0.6	4	0.6
Flexibilidad	10%	2	0.2	3	0.3	3	0.3
Tiempo de Implementación	15%	4	0.6	3	0.45	3	0.45
Facilidad de uso	15%	3	0.45	3	0.45	4	0.6
Capacidad de Escalabilidad	10%	2	0.2	4	0.4	4	0.4
Total	100%	18	2.6	24	3.425	27	3.925

Tabla N°2: Matriz de Decisión¹ (Fuente: Elaboración propia)

¹ La tabla está hecha con una escala del 1-5 donde 1 es el menos y 5 es el factor más conveniente con respecto a los objetivos que persigue el proyecto.

Con respecto a los resultados de la tabla 2, se escogió el modelo PERT en conjunto con el modelo de secuenciación de trabajos, debido a que es el que más se ajusta a las necesidades de la empresa y del proyecto, destacando con respecto a las otras alternativas en factores como la precisión del objetivo, ya que este modelo al ocupar el algoritmo de Moore se busca minimizar los pedidos con retrasos, lo cual es el principal objetivo del proyecto. En cuanto a la complejidad de implementación, este algoritmo es de igual forma conveniente a pesar de la restricción mencionada anteriormente, donde fue utilizado para una sola máquina. Esto, se puede abordar representando esa "máquina" como cada fabricación de cada uno de los productos. En conjunto a esto, el tiempo de producción total es brindado por el modelo PERT, además de desglosar los principales procesos de producción (fabricación, pintura y armado). Sin embargo, las otras herramientas tienen aspectos útiles para el proyecto, es por esto que para complementar el modelo escogido se utilizará la metodología ABC.

La metodología ABC es una técnica que sirve para segmentar los productos en función de los ingresos que produce cada uno, considerando las unidades vendidas y precio de venta de cada uno. De esa manera se espera identificar cuáles son los productos a priorizar en caso de tener retrasos.

4.2 Evaluación Económica

Para desarrollar el modelo seleccionado se debe considerar un practicante de ingeniería afín al proyecto. Según Talent², el sueldo promedio de un practicante de ingeniería en Chile es de \$301.000 (CLP), promedio que está basado en 51 sueldos publicados. Considerando una extensión de 5 meses del proyecto, el costo de la mano de obra del proyecto queda definido de la siguiente manera:

$$\text{Costo Mano de Obra} = 5 \text{ meses} * \$301.000 = \$1.505.000 \text{ (1)}$$

Para la implementación del modelo de programación se establecieron ciertas variables a considerar para definir los costos y/o beneficios económicos que tenga el proyecto, las cuales se detallan a continuación:

²Fuente:

<https://cl.talent.com/salary?job=pr%C3%A1ctica+ingenier%C3%ADa#:~:text=El%20salario%20pr%C3%A1ctica%20ingenier%C3%ADa%20promedio%20en%20Chile%20es%20de%20%243.612.>

- Costos de Implementación:
 - Adquisición de software (Microsoft Excel): \$0, ya que la empresa ya posee las licencias.
 - Capacitación del personal: \$0 para la capacitación, ya que el modelo se desarrollará dentro de la empresa.
 - Desarrollo: \$1.505.000, mano de obra detallada más arriba.
- Beneficios Potenciales (anuales):
 - Reducción de costos operativos: Al realizar la implementación se obtendrá una mejora en la gestión de compras al tener un plan de producción, por lo que se estima que se podría reducir costos operativos en \$6.000.000 al año.
 - Cumplimiento de plazos: Evitar retrasos podría ahorrar \$20.000.000 al año debido a unidades fabricadas no vendidas.
 - Mayor satisfacción del cliente: Se espera que la satisfacción del cliente conduzca a ingresos adicionales de \$10.000.000 al año a través de proyectos adicionales.

Ya con los costos y beneficios definidos, se calcula el beneficio neto anual del proyecto.

$$\text{Beneficio Neto Anual} = \text{Beneficios Potenciales} - \text{Costos de Implementación} \quad (2)$$

$$\text{Beneficio Neto Anual} = (6.000.000 + 20.000.000 + 10.000.000) - 1.505.000 \quad (3)$$

$$\text{Beneficio Neto Anual} = 34.495.000 \quad (4)$$

Una vez establecido el beneficio neto anual del proyecto, se procede a calcular el retorno de la inversión (ROI), para poder definir la rentabilidad que tendrá realizar esta inversión en la implementación del modelo.

$$ROI = \frac{(\text{Beneficios Neto Anual} - \text{Costos de Implementación})}{\text{Costos de Implementación}} \quad (5)$$

$$ROI = \frac{(\$34.495.000 - \$1.505.000)}{\$1.505.000} \quad (6)$$

$$ROI = 21.92 (7)$$

Para el caso del proyecto, el ROI que resulta en la ecuación 6 es de 21.92, lo cual significa que por cada peso invertido, existe un retorno de \$21.92 esperados, ya sea en ahorros de producción o nuevos proyectos.

4.3 Plan de Mitigación de Riesgos

Como todo proyecto, la implementación de un modelo de programación de proyectos y trabajos está sujeto a posibles amenazas. En el **anexo 12.4** se encuentra la matriz de riesgos, la cual detalla cada riesgo que presenta este proyecto, sus probabilidades, impactos y posteriormente su plan de mitigación con lo que se espera lograr.

5 METODOLOGÍA

5.1 Generalidades

Para llevar a cabo un proyecto existen distintas metodologías que se han establecido a lo largo de la historia por los profesionales de la industria, tales como los modelos Kanban, Lean, Prince2, etc. Cada una de ellas tiene diferentes beneficios y son utilizadas según la naturaleza del proyecto y los objetivos que se tengan.

Para abordar este proyecto se seleccionó la metodología Six Sigma DMAIC, la cual entrega una ruta para atacar a la raíz del problema. Además, se enfoca en reducir o mitigar defectos de los procesos generando una mejora continua, lo cual servirá para gestionar de manera eficiente la implementación de mejora en la empresa. Dicha ruta consta de 5 etapas que se detallan a continuación:

- Definición: El primer paso es definir la problemática u oportunidad de mejora y establecer el objetivo que se espera lograr con el proyecto. En este caso, el problema que se presenta son los retrasos de entrega que tiene la maestranza y su objetivo es reducir este incumplimiento en los pedidos a través de mejoras en la planificación de la producción.
- Medición: En el segundo paso se debe establecer cómo se va a medir el proyecto, cuáles son las variables importantes y sus respectivos KPI's, ya que de esta manera se puede establecer el impacto que genere la solución a implementar. Esto se medirá a través de los KPI's que se detallan en el apartado **6. Medidas de Desempeño**.
- Análisis: Aquí se busca comprender la causa raíz del problema. Para el caso de este proyecto se estableció que la planificación deficiente es el principal factor que genera los retrasos, lo cual se evidencia en el apartado **1.3 Relevancia**.
- Mejora: En este punto se debe definir el plan de acción para mejorar la situación actual. Las alternativas se definieron en los estudios realizados en la sección **3. Estado del Arte**, información que finalmente se filtró en el punto **4.1 Selección de Solución**.
- Control: Una vez finalizada la implementación, con las mismas métricas del paso de medición, se debe realizar un control que perdure en el tiempo, idealmente automatizando estos procesos, de tal manera que se logre una mejora continua.

5.2 Plan de Implementación

Para llevar a cabo el proyecto, se desarrolló un plan de implementación que se detalla a continuación:

1. Análisis y evaluación de procesos actuales:
 - Metodología de trabajo actual: FIFO (first in - first out)
 - Establecer el rendimiento actual para compararlo posterior a la implementación de este proyecto
2. Desarrollo de planilla de trabajo:
 - Diseñar una planilla de trabajo que permita la entrada y gestión de datos para el modelo PERT y el algoritmo de secuenciación
 - Escribir código para automatizar ingreso de datos
3. Desarrollo Sistema PERT
 - Integrar funciones que calcule el tiempo esperado, basándose en el tiempo pesimista, moda y optimista
4. Desarrollar Algoritmo de Secuenciación
 - Desarrollar algoritmo de Moore
 - Integrar con el modelo PERT
 - Asegurar compatibilidad y sincronización
5. Segmentación ABC
 - Integrar al centro de control una hoja que automatice el proceso de clasificación de productos según su ponderación en las ventas de la empresa
6. Implementación Piloto
 - Realizar implementación con órdenes de trabajos de prueba
 - Recopilar retroalimentación y realizar ajustes si se requieren
7. Escalado a nivel organizacional:
 - Implementar el sistema de manera oficial
 - Brindar soporte continuo
8. Monitoreo y mejora continua:
 - Monitorear el funcionamiento del sistema
 - Revisar y ajustar sistema según retroalimentaciones y cambios en los requisitos

9. Evaluación de resultados:

- Evaluar el impacto de la implementación en términos de eficiencia, calidad de ejecución y adaptabilidad del personal

Para proporcionar una vista general de todas las tareas programadas y sus fechas respectivas se puede revisar el **anexo 12.1** donde se aprecia la carta Gantt del proyecto.

6 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

Para medir el nivel de rendimiento que ha tenido RK Maestranza y el impacto que tenga la implementación de la solución a la problemática que tiene la empresa se establecieron tres métricas claves.

En primer lugar, se tiene el porcentaje de los pedidos atrasados, métrica que será el principal indicador del proyecto, el cual se detalla en la ecuación 7.

$$\% \text{ Pedidos Atrasados} = \frac{N^{\circ} \text{ de Pedidos con Atrasos}}{N^{\circ} \text{ Total de Pedidos}} * 100 \quad (8)$$

En esta ecuación se considera como N.º de Pedidos con Atrasos a cada solicitud del cliente que tenga al menos una unidad atrasada. Esta se considera que es la métrica principal, ya que, considerando el crecimiento esperado de la empresa, cada pedido se verá como un cliente distinto, por lo que es fundamental mejorar el rendimiento con respecto a este KPI.

Luego está la ecuación 8, la cual pretende proyectar el porcentaje del valor monetario que representan las unidades que se retrasan con respecto al total de las unidades que el cliente solicitó. Esta métrica tiene por objetivo mostrar el porcentaje de los ingresos de la empresa que está en riesgo.

$$\% \$ \text{ Unidades Atrasadas} = \frac{\$ \text{ Unidades Solicitadas} - \$ \text{ Unidades Entregadas a Tiempo}}{\text{Valor Unidades Solicitadas}} * 100 \quad (9)$$

Finalmente, se tiene porcentaje de las unidades entregadas a tiempo.

$$\% \text{ Unidades Entregadas a Tiempo} = \frac{N^{\circ} \text{ Unidades Entregadas a Tiempo}}{N^{\circ} \text{ Unidades Solicitadas}} * 100 \quad (10)$$

Esta métrica tiene por finalidad complementar la de la ecuación 7, de tal manera que se vea a nivel más detallado la producción que se está entregando a tiempo. Como se detalla en la ecuación 9, es el número de unidades entregadas a tiempo con respecto a las unidades que se solicitaron. En este indicador a diferencia del 1, mientras más alto sea el número, significa mayor nivel de eficacia en la entrega de la maestranza.

7 DESARROLLO

7.1 PERT - Secuenciador

Para lograr la correcta implementación del modelo PERT en conjunto con el modelo de secuenciación de trabajos, fue necesario utilizar el software Microsoft Excel, en el cual se desarrolló una herramienta para automatizar los procesos de planificación.

Mediante el uso de VBA (Visual Basic for Applications) se realizó un centro de control, el cual sirve para generar el ingreso de ordenes de trabajos, tal como se ve en la figura 1.



Figura N°1: Centro de Control (Fuente: Elaboración propia)

Para el ingreso de las OT (Órdenes de Trabajo) se realizó un formulario con el cual se ingresa el número de la OT, el producto, fecha de ingreso, fecha de entrega, las unidades a fabricar y el cliente, para posteriormente almacenar esa información en otra hoja llamada “Pedidos”, de esta forma comenzar a generar una base de datos. (Figura 2)

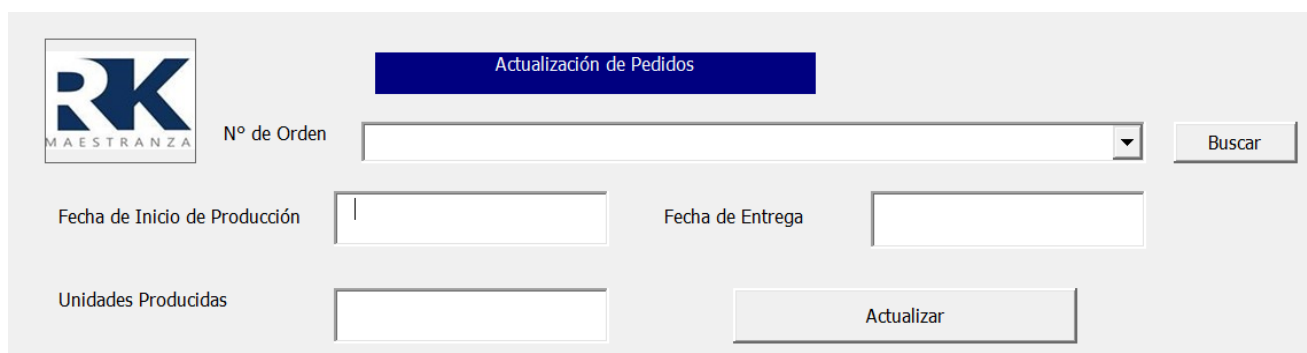


Formulario de Ingreso de Pedidos. El formulario contiene los siguientes campos:

- Nº de OT:** Campo de texto.
- Producto:** Campo de lista desplegable.
- Fecha de Ingreso:** Campo de texto con formato dd/mm/aa.
- Fecha de Entrega:** Campo de texto con formato dd/mm/aa.
- Unidades:** Campo de texto.
- Cliente:** Campo de texto.
- Botón:** Ingresar Pedido.

Figura N°2: Formulario ingreso OT (Fuente: Elaboración propia)

Luego, en el botón “Actualización de OT” que se ve en la figura 1, se despliega el formulario de la figura 3, en este se puede buscar las ordenes de trabajo que se almacenan en la hoja “Pedidos” y agregar la información de cuando se comenzó a fabricar el producto, si ya fue entregado, ingresar la fecha de cuando sucedió y agregar las unidades que se han producido.



Formulario de Actualización de Pedidos. El formulario contiene los siguientes campos:

- Nº de Orden:** Campo de lista desplegable.
- Botón:** Buscar.
- Fecha de Inicio de Producción:** Campo de texto.
- Fecha de Entrega:** Campo de texto.
- Unidades Producidas:** Campo de texto.
- Botón:** Actualizar.

Figura N°3: Formulario actualización OT (Fuente: Elaboración propia)

Finalmente, con el botón para agregar productos, se despliega el formulario mostrado en la figura 4, donde se ingresa el nombre, precio de venta y posteriormente se rellena la información de los tiempos pesimista, esperado y optimista para cada etapa de producción, fabricación, pintura y armado. De esta manera se espera generar un catálogo de productos y que alimente de información para desarrollar el modelo PERT. Esta información se almacena en otra hoja llamada “Productos”.

	Tiempo Pesimista	Esperado	Tiempo Optimista
Fabricación			
Pintura			
Armado			

Figura N°4: Formulario ingreso productos (Fuente: Elaboración propia)

Luego, con esa información, en una columna aparte se aplica la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned}
 & \textit{Tiempo Calculado} = \\
 & \frac{\textit{Tiempo Optimista} + (4 * \textit{Tiempo Esperado}) + \textit{Tiempo Pesimista}}{6} \quad (11)
 \end{aligned}$$

La fórmula 11 se aplica para cada proceso (fabricación, pintura y armado) procesos que fueron definidos debido a que son las principales etapas que tiene cada producto en la maestranza. De esa manera, al tener el tiempo calculado, se realiza la suma de los tiempos de cada actividad para obtener el tiempo calculado total para cada producto.

Luego, con el tiempo de fabricación de cada equipo definido y las fechas de entrega de cada OT, se puede alimentar el secuenciador, que aplica el algoritmo de Moore, es decir, ordena los pedidos que están activos, luego secuencia las órdenes de trabajo según la fecha de entrega más próxima, pero si hay alguno que está atrasado, lo traslada al final de la fila.

N° OT	Duración estimada	Fecha de entrega	Estado OT	N° OT	Duración estimada	Fecha de entrega	Estado OT
1	8,166666667	10-10-2023	Cerrado	3	8,166666667	09-11-2023	Activo
2	8,166666667	20-10-2023	Cerrado	5	8,166666667	25-11-2023	Activo
3	8,166666667	09-11-2023	Activo	4	14	18-11-2023	Activo
4	14	18-11-2023	Activo				
5	8,166666667	25-11-2023	Activo				

Boton para secuenciar el listado de OT

Listado de OT Ingresadas

OT's Secuenciadas con Algoritmo de Moore

Figura N°5: Formulario ingreso productos (Fuente: Elaboración propia)

En la figura 5 se puede apreciar un ejemplo donde en las primeras 4 columnas se tiene un listado de las OT ingresadas, con la duración del producto asociado, calculada con PERT, su fecha de entrega y el estado en el que se encuentra. Con esta información, el botón “Secuenciar” ordena las OT aplicando el algoritmo de Moore y minimiza la cantidad de retrasos en los pedidos.

Es importante mencionar que el modelo funciona con las restricciones de que cada producto se puede comenzar a fabricar una vez que haya terminado la etapa de fabricación del anterior, lo mismo para el proceso de pintura y luego el de armado.

En particular en este ejemplo, si se fabricara con la metodología FIFO (first in first out) se tendría un retraso del 66%, sin embargo, al aplicar el modelo, ordena los pedidos de tal manera que solo una de las 3 OT activas se retrasa, quedando con un rendimiento del 33% de pedidos atrasados.

7.1 Método ABC

El método de clasificación ABC es una herramienta adicional al sistema desarrollado, con el objetivo de que sea un apoyo para la toma de decisiones. Para llevarlo a cabo se recopilaron las facturas de los meses junio, julio, agosto, septiembre y octubre del año 2023, meses donde fue posible el registro según el tiempo del proyecto.

Una vez identificada la demanda, se fabricó una tabla de frecuencias, la cual se encuentra en el **anexo 12.3**, ordenando los productos en un orden de mayor a menor en función de las cantidades de unidades vendidas por el precio de venta. A partir de este desarrollo, se generó un Diagrama de Pareto en el cual se cumple el principio de que el 20% del listado de productos generan un 81,2% de las ventas de la maestranza, tal como se aprecia en el gráfico del **anexo 12.5**.

Con esto, se recomienda a la empresa que si uno de los productos que genera retrasos está en la lista de productos de prioridad A, se tomen medidas extraordinarias para abordar ese pedido y llegar a tiempo a la fecha, por ejemplo, subcontratación o turnos extras, con el objetivo de no exponer ingresos importantes a la empresa por retrasos de entrega.

Adicional a esto, en la planilla “Centro de Control” se generó una hoja adicional llamada "Segmentación", en donde se muestra una tabla dinámica, la cual automatiza este proceso con la información de las órdenes de trabajo ya generadas. De esta manera, se busca que el sistema previamente generado alimente la técnica ABC y sea más fácil la visualización a tiempo real, esto a modo de tener una herramienta para la toma de decisiones de la empresa.

9 RESULTADOS

Debido a los tiempos de desarrollo y de levantamiento de datos, el proyecto se comenzó a implementar a inicios del mes de diciembre del 2023. Sin embargo, para efectos de mostrar los resultados esperados por esta implementación, se logró identificar los pedidos que están acordados con el cliente hasta inicios de enero del 2024, por lo que se generó una proyección de las operaciones si se sigue la secuenciación de trabajos dada por el sistema.

Para lograr esta proyección, primero se definieron los compromisos en el corto plazo que tiene la maestría, los que se definen en la siguiente tabla:

N°	Item	Unidades	Fecha de Entrega	Estado
1	Central Hidráulica	1	19-12-2023	En marcha
2	Pupitre Electrohidráulico	1	20-12-2023	Por hacer
3	Consola Control Pupitre	1	22-12-2023	Por hacer
4	Rack de Válvulas	1	28-01-2024	Por hacer
5	Viga UPN	1	29-01-2024	Por hacer
6	Pupitre Electrohidráulico	1	08-01-2024	Por hacer

Tabla N°3: Órdenes de trabajo activas para en diciembre de 2023 (Fuente: Elaboración propia)

Una vez con las órdenes de trabajos identificadas, tal como se detalla en el punto **3.1 PERT / Programación de operaciones**, se deben establecer los tiempos pesimistas, optimistas y moda para cada actividad principal con el jefe de taller para alimentar el catálogo de productos con la información que necesita el modelo PERT.

Ya realizado el catálogo con la información necesaria, se ejecuta el sistema entregando una secuencia de trabajo, luego se realiza el análisis de los retrasos y tiempos de holgura que permitan anticipar otros trabajos, el cual se detalla en la tabla 4:

Trabajo	Tiempo de Proceso	Tiempo de Inicio	Tiempo de Término	Fecha de Entrega	Retardo	Anticipación
1	14	0 ³	19	19	0	1
3	4	13	20	22	0	6
4	8	14	26	28	0	10
5	4	19	27	29	0	13
6	8	20	34	38	0	15
2	8	26	37	20	17	0

Tabla N°4: Tabla de secuenciación de trabajos con mejora implementada (Fuente: Elaboración propia)

En la tabla 4 se puede apreciar que, al definir esta secuenciación de los trabajos, solo se genera un retraso teniendo un rendimiento de 16,67% de retrasos contando diciembre hasta la fecha del último pedido que es el 18 de enero del 2024.

Trabajo	Tiempo de Proceso	Tiempo de Inicio	Tiempo de Término	Fecha de Entrega ⁴	Retardo	Anticipación
1	14	0	19	19	0	0
2	8	13	22	20	2	0
3	4	18	26	22	4	0
4	8	19	33	28	5	0
5	4	22	34	29	5	0
6	8	34	37	39	0	1

Tabla N°5: Tabla de secuenciación de trabajos método FIFO (Fuente: Elaboración propia)⁵

Ahora, si los trabajos se hubieran ejecutado como se hacen normalmente con la metodología FIFO, el rendimiento hubiera sido de un 66,67% de retrasos.

³ Día 0 es el día 01/12/2023, cuando se inició la producción del trabajo 1

⁴ Las fechas de entregas están establecidas como los días corridos desde el día 0 para facilidad de los cálculos en la tabla (ej. el día 49 es el día 18/01/2024)

⁵ Para esta tabla aplican las notas a pie de página de la tabla 4

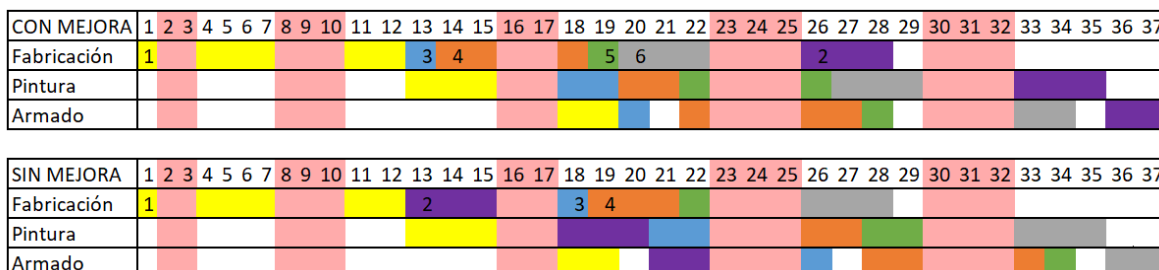


Figura N°6: Comparativa de plan de producción con y sin mejora (Fuente: Elaboración propia)

La figura 6 se encarga de demostrar gráficamente que con ambos sistemas se pueden ejecutar la totalidad de los trabajos en un mismo tiempo, sin embargo, al abordarlos con mejor estrategia, se minimiza los retrasos de entrega, pasando de 4 rincumplimientos a solo 1.

Ahora, si se comparan las medidas de desempeño de la situación antes y después de esta implementación los números quedan de la siguiente manera:

Medida de desempeño	Promedio histórico ⁶	Mejora
% Pedidos atrasados	55,35%	16,6%
% Valor unidades atrasadas	37,22%	13,3%
% Unidades entregadas a tiempo	55,45%	83,3%

Tabla N°6: Comparativa de medidas de desempeño (Fuente: Elaboración propia)

Tal como se demuestra en la tabla 6, los rendimientos en cada medida de desempeño presentan una mejora considerable con el modelo implementado, donde el principal objetivo de reducir el porcentaje de pedidos atrasados, se logra una disminución de un 38%, llegando a un 16,6% en el mes de diciembre. El promedio cerrando el año quedaría en un 48% de incumplimiento de entregas a tiempo, lo cual sigue siendo alto, pero el rendimiento del primer mes de implementación deja resultados positivos.

Es importante mencionar que no se puede hacer una proyección de demanda más amplia para proyectar el rendimiento de la empresa debido a que el sistema funciona con fechas de entrega establecidas y sin ellas no se puede definir el funcionamiento de la maestranza.

⁶ El promedio histórico considera los meses de junio, julio, agosto, septiembre y octubre del año 2023

Por otra parte, al tener los tiempos de producción y fechas de entrega identificadas mejora la coordinación entre los distintos departamentos de la empresa, mejorando eficiencia operativa de la maestranza, ya que abastecimiento sabe con mayor exactitud cuando deben tener los materiales en la empresa, con lo cual se puede trabajar para reducir los retrasos que se producen por falta de materiales y evitando los tiempos de inactividad.

10 CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

Al evaluar los objetivos iniciales del proyecto, es evidente que se logró avances significativos en cada uno de ellos. La optimización y automatización de la planificación de la producción ha resultado en una reducción en los retrasos de entrega, mejorando la eficiencia operativa de la empresa. Asimismo, tiene impacto en el porcentaje de las ventas que se exponen debido a los retrasos, demostrando que las estrategias implementadas son efectivas. Además, al mejorar la capacidad de respuesta de la empresa se eleva la satisfacción del cliente, lo cual de cara a la apertura de cartera de clientes los deja en una posición bastante favorable para el crecimiento de la empresa. Sumando la eficiencia operativa, la satisfacción de los clientes y la adaptabilidad de los trabajadores, se puede conducir a una reducción de costos, ya sea operativos o de oportunidad, brindando una mejora íntegra dentro de la empresa.

Los datos recopilados y analizados indican de manera consistente que la implementación del sistema de automatización basado en el modelo PERT y el algoritmo de Moore de secuenciación de operaciones ha generado una reducción significativa en el porcentaje de pedidos atrasados. En comparación con el estado inicial, donde el promedio histórico de retrasos era del 55,35%, la aplicación de esta metodología ha llevado a una disminución considerable, alcanzando un 16,6% para el mes de diciembre. Este resultado resalta la eficacia de la estrategia adoptada y su impacto directo en la mejora de los tiempos de entrega. Además, el promedio histórico de la proporción de los ingresos que se ponen en riesgo al entregar tarde los productos representaba a un 37,22% y con el sistema implementado se llega a un 13,3% al primer mes de funcionamiento.

Durante este proyecto, se observan mejoras significativas a la hora de programar proyectos y operaciones que coinciden con las teorías propuestas por Steve Nahmias en el año 2007. Estas similitudes refuerzan la validez de los fundamentos teóricos que guiaron esta investigación y respaldan la aplicabilidad de estas teorías en una empresa manufacturera.

El sistema tiene la limitación de no considerar oportunidades de venta que se requieran atender en el corto plazo, dado que para hacerlo se debe incluir dentro de los pedidos adjudicados y eso puede modificar toda la programación, lo cual puede afectar de manera negativa en la coordinación entre los distintos departamentos de la empresa. Por otra parte, si bien se logra una mejora importante a la hora de entregar los productos a tiempo, es importante considerar que este sistema no puede

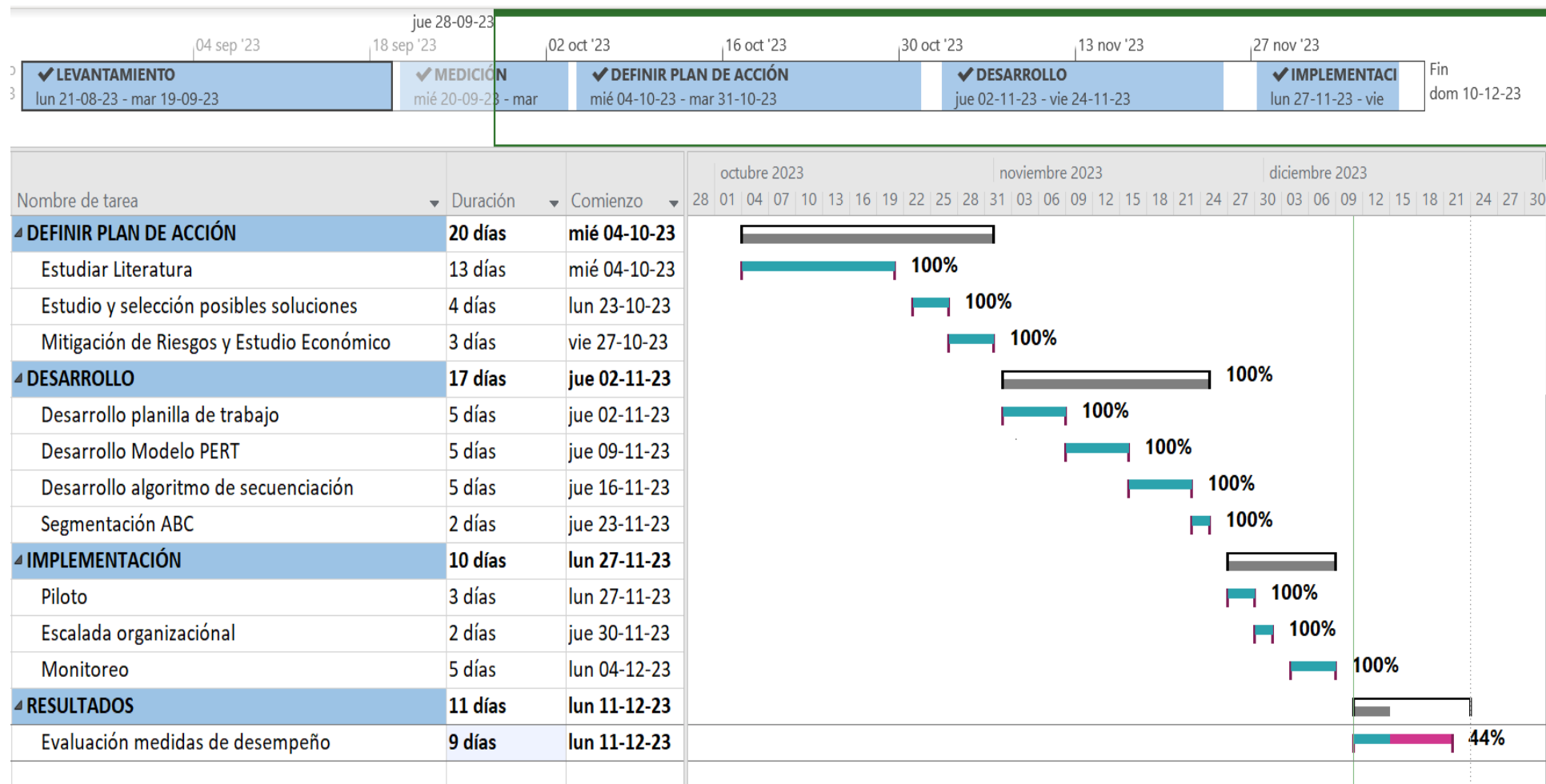
controlar retrasos generados debido a la falta de materiales a la hora de producir o retrasos debido a error en la fabricación. Sin embargo, se recomienda a la empresa considerar las otras opciones de solución, dado que al tener un plan de producción claro como el que entrega el sistema y complementarlo con un sistema de planificación de requerimiento de materiales se pueden mitigar los retrasos en su totalidad. También, para realizar una mejora continua se recomienda utilizar la información los tiempos de producción, para obtener el mínimo, máximo y moda real de producción para reemplazar por los datos de pesimista, moda y optimista brindado por el jefe de taller, para obtener mayor precisión en los cálculos. Además, se recomienda a la empresa que, si los pedidos que generan retrasos son productos del listado de prioridad A dado por la segmentación, realice la evaluación de contratar personal por turnos extras o inclusive subcontratar ciertos procesos para llegar de igual manera a la fecha de entrega, mitigar aún más los retrasos y exponer menos ingresos de ventas.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Aristi, M. (2020). Propuesta de planificación y control de la producción en la empresa Procesos Muchik S.R.L. Para la disminución de retrasos y rechazos de pedidos. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Cerna, C; Rojas, N. (2021). Modelo de Gestión basado en MRP y AHP para la reducción del incumplimiento de pedidos en el sector vitivinícola. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Chapman, S. N. (2006). Fundamentals of Production Planning and Control. Prentice Hall.
- Chase, R; Jacobs, R; Aquilano, N. (2009). Administración de operaciones, producción y cadena de suministro. McGraw-Hill Education.
- Chopra, S.; Peter, M. (2008). Administración de la cadena de suministro: estrategia, planeación y operación. Pearson Educación De México.
- F. Robert Jacobs, William L. Berry, D. Clay Whybark, Thomas E. Vollmann. (2011). Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management. McGraw-Hill Education.
- Luyo, A; Sanchez, K. (2021). Un modelo para mejorar el cumplimiento de las entregas a tiempo a través de MRP, TPM Y SLP en el sector construcción modular. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Nahmias, S. (2007). Production and Operations Analysis (5a ed.). McGraw Hill Higher Education.
- Patazca, A. (2018). Mejora del sistema productivo de la empresa comercial Damián E.I.R.L. para reducir retrasos en la entrega de pedidos. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Toledo, N. (2018). Diseño de un plan de mejora para incrementar el nivel de servicio de una maestría en la ciudad de Puerto Montt. Universidad Austral de Chile.
- Talent. (14 de noviembre, 2023). Salario medio para Práctica Ingeniería en Chile 2023. <https://cl.talent.com/salary?job=pr%C3%A1ctica+ingenier%C3%ADa#:~:text=El%20salario%20pr%C3%A1ctica%20ingenier%C3%ADa%20promedio%20en%20Chile%20es%20de%20%243.612.>

12 ANEXOS

12.1 Carta Gantt



12.2 Descripción factores matriz de decisión

Factor	Detalle
Complejidad de implementación	La capacidad que tiene la maestranza de alimentar el modelo con los datos y herramientas que requiera. También se consideran las restricciones de cada uno.
Precisión del objetivo	Hace referencia a que tan alineado está el objetivo que tiene el modelo a evaluar con respecto al del proyecto.
Proyección de demanda	Se evalúa según si el modelo coopera con información para generar una proyección de demanda.
Flexibilidad	Qué tan flexible es el modelo a evaluar con respecto a cambios en demanda o imprevistos de producción
Tiempo de implementación	Cuánto tiempo toma implementar el modelo.
Facilidad de uso	Qué tan amigable es para automatizar el modelo y sea sostenible en el tiempo para los trabajadores de la maestranza.
Capacidad escalabilidad	Capacidad de respuesta del modelo frente a un aumento significativo del uso del mismo.

12.3 Segmentación ABC

ITEM	UNIDADES VENDIDAS	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL	FRECUENCIA RELATIVA	FRECUENCIA ACUMULADA	PRIORIDAD
Kit 8 cilindros hidraulicos nuevos estandar r (2 compuerta- 2 tolva - 2 deflector - 2 patin movil)	4	\$ 13.800.000	\$ 55.200.000	16,947%	16,947%	A
Conjunto Hidraulico Accionamiento Porton	3	\$ 17.182.500	\$ 51.547.500	15,826%	32,774%	A
Pupitre Hidraulico Nuevo Estandar con tablero control	7	\$ 5.600.000	\$ 39.200.000	12,035%	44,809%	A
Malla Acma para cierre perimetral de 3x1.9	5	\$ 4.181.250	\$ 20.906.250	6,419%	51,227%	A
Kit cañeria buzón	5	\$ 4.000.000	\$ 20.000.000	6,140%	57,368%	A
Porton Obra	2	\$ 8.791.920	\$ 17.583.840	5,399%	62,766%	A
arriendo central - pupitre - flexible	2	\$ 8.538.437	\$ 17.076.874	5,243%	68,009%	A
Viga UPN	6	\$ 1.950.000	\$ 11.700.000	3,592%	71,601%	A
Flexible Lubricacion 1/4x2	10	\$ 950.000	\$ 9.500.000	2,917%	74,518%	A
Kit flexible hidraulicos buzón	3	\$ 3.132.000	\$ 9.396.000	2,885%	77,403%	A
Cilindro hidraulico porton	4	\$ 1.586.252	\$ 6.345.006	1,948%	79,351%	A
Kit Buzón	2	\$ 3.132.025	\$ 6.264.050	1,923%	81,274%	A
kit manguera buzón	2	\$ 3.132.000	\$ 6.264.000	1,923%	83,197%	B
Cilindro Porton Especial 950	4	\$ 1.250.000	\$ 5.000.000	1,535%	84,732%	B
Kit piping	2	\$ 2.450.000	\$ 4.900.000	1,504%	86,237%	B
Consola Buzón	5	\$ 750.000	\$ 3.750.000	1,151%	87,388%	B
Tapa visor compuerta buzón	30	\$ 112.750	\$ 3.382.500	1,038%	88,427%	B
Parilla ars 10 mas tapas	6	\$ 425.000	\$ 2.550.000	0,783%	89,210%	B
Cancamo diam. 1 hilo 5/8 x 1m	220	\$ 11.500	\$ 2.530.000	0,777%	89,986%	B
Hoja Porton Especial	1	\$ 2.376.000	\$ 2.376.000	0,729%	90,716%	B
porton especial	660	\$ 3.600	\$ 2.376.000	0,729%	91,445%	B
Kit valvulas buzón	5	\$ 460.000	\$ 2.300.000	0,706%	92,151%	B
cancamo 1	190	\$ 11.500	\$ 2.185.000	0,671%	92,822%	B
Kit soporte buzón	2	\$ 949.724	\$ 1.899.448	0,583%	93,405%	B
Kit Porton hidraulico	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000	0,537%	93,943%	B
Kit Porton hidraulico	1	\$ 1.750.000	\$ 1.750.000	0,537%	94,480%	B
Gata Porta Carrete	2	\$ 790.000	\$ 1.580.000	0,485%	94,965%	B
Cancamo 1/4x3m	55	\$ 28.000	\$ 1.540.000	0,473%	95,438%	B
Soporte Troncal n/e	15	\$ 75.000	\$ 1.125.000	0,345%	95,783%	C
Trapezio Especial	20	\$ 47.000	\$ 940.000	0,289%	96,072%	C
proporcional septiembre arriendo central - pupitre - flexible	1	\$ 853.840	\$ 853.840	0,262%	96,334%	C
Soporte Camara CCTV	22	\$ 36.500	\$ 803.000	0,247%	96,581%	C
Soporte Mundial	144	\$ 5.500	\$ 792.000	0,243%	96,824%	C
pie rack simple	21	\$ 37.500	\$ 787.500	0,242%	97,066%	C
Crucetas de riel unistrut nuevo estandar	20	\$ 37.850	\$ 757.000	0,232%	97,298%	C
Soporte Tipo Gota	20	\$ 37.500	\$ 750.000	0,230%	97,528%	C
Soporte N/E	9	\$ 75.000	\$ 675.000	0,207%	97,735%	C
Soporte Piping Riel Unistrut Largo 300MM con hilo corrido	40	\$ 16.500	\$ 660.000	0,203%	97,938%	C
pie rack remate	14	\$ 42.000	\$ 588.000	0,181%	98,119%	C
cancamo 1 1/4x4	27	\$ 21.500	\$ 580.500	0,178%	98,297%	C
Cancamo 1/4x2,5m	20	\$ 28.750	\$ 575.000	0,177%	98,473%	C
Caja Protectora señal carguio	15	\$ 37.000	\$ 555.000	0,170%	98,644%	C
tapa gomas troncal	10	\$ 55.000	\$ 550.000	0,169%	98,813%	C
Soporte de Tablero con Perforaciones 50CM	20	\$ 25.500	\$ 510.000	0,157%	98,969%	C
Soporte tablero 500	20	\$ 25.500	\$ 510.000	0,157%	99,126%	C
Cruceta mas tapa	12	\$ 42.000	\$ 504.000	0,155%	99,280%	C
Cancamo 1/4x1m	36	\$ 11.500	\$ 414.000	0,127%	99,408%	C
Cancamo diam 1-1/4 x 2 m con hilo 5/8 toriley	18	\$ 21.500	\$ 387.000	0,119%	99,526%	C
limitador canastillo	8	\$ 45.000	\$ 360.000	0,111%	99,637%	C
malla cielo	9	\$ 37.500	\$ 337.500	0,104%	99,741%	C
sensor de nivel	1	\$ 250.000	\$ 250.000	0,077%	99,817%	C
rack acumuladores	3	\$ 75.000	\$ 225.000	0,069%	99,886%	C
tapa cuneta	11	\$ 15.000	\$ 165.000	0,051%	99,937%	C
Trapezia 300mm x hilo 400mm	20	\$ 5.750	\$ 115.000	0,035%	99,972%	C
Tapa diamantada parilla gratin	6	\$ 15.000	\$ 90.000	0,028%	100,000%	C

12.4 Matriz de Riesgo

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Nivel de Riesgo	Descripción	Mitigación	Contingencia
Resistencia al cambio del personal	Alta	Moderado	Alta	Trabajadores que no se adecuan a los cambios en sus métodos de trabajos	Establecer puntos de encuentro semanales para retroalimentar Generar cambios a través del líder (administrador de maestranza)	Identificar dolores de los trabajadores, reducir la incertidumbre, generar comunicación efectiva Mejorar la recepción al recibir el mensaje por parte de una voz autorizada.
Interrupción de operaciones	Media	Alto	Media	Interrupción de los trabajos desarrollados en maestranza debido a imprevistos	Implementación gradual y pruebas exhaustivas, analizando falencias y realizar mejoras	Minimizar impacto con respecto a operaciones ya en curso y reducir riesgo de operaciones no planificadas.
Cambios en los requerimientos del cliente	Baja	Moderado	Baja	Que el cliente quiera hacer modificaciones a los productos	N/A	N/A
Falta de compromiso alta dirección	Baja	Alto	Baja	Que los altos mandos de la empresa no se comprometan con	N/A	N/A

				la implementación		
Falla en la precisión de datos	Media	Alto	Media	Que los datos ingresados al modelo no sean los adecuados	Validación de datos: establecer formatos de datos definidos Auditar regularmente los datos a utilizar en el programa	Reducir la posibilidad de errores por datos erróneos.
Problemas de producción (reproducir)	Baja	Moderado	Baja	Que los productos tengan fallas o problemas de calidad y se deba volver a procesar	N/A	N/A

12.5 Diagrama de Pareto

