



Universidad
Finis Terrae

UNIVERSIDAD FINIS TERRAE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL INDUSTRIAL

**PROPUESTA DE MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS PARA
MUEBLES RIGAL CON LEAN SIX SIGMA**

THOMAS FELIPE ZURITA YÁÑEZ

Trabajo de título presentado a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Finis Terrae,
para optar al Título de Ingeniero Civil Industrial.

Profesor Guía: Sergio Rozas Mellado

Santiago, Chile

2025

DEDICATORIA

Hay promesas que sí se cumplen y días que sí llegan, Jade.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todo aquel que ha influido de alguna u otra forma en mí, provocando que haya llegado hasta este punto.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTOS	3
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
1 INTRODUCCIÓN	10
1.1 Situación problema	11
1.2 Solución propuesta	11
1.3 Objetivo general	12
1.4 Objetivos específicos	13
1.4.1 Describir los procesos de producción definidos en la empresa.	13
1.4.2 Identificar cuellos de botella y desperdicios de los procesos.	13
1.4.3 Proponer mejoras en los procesos y layout que disminuyan cuellos de botella y desperdicios.	13
1.4.4 Evaluar la rentabilidad de implementar las mejoras en diferentes escenarios y determinar una estrategia de implementación.	13
1.5 Alcances y limitaciones	13
1.5.1 Alcances	13
1.5.2 Limitaciones	14
2 ESTADO DEL ARTE	15
3 MARCO TEÓRICO	18
3.1 Definiciones y conceptos fundamentales	18
3.2 Conceptos de calidad y metodología Six Sigma	19
3.3 Lean vs Lean Six Sigma en talleres pequeños y pymes familiares	20
3.4 Pertinencia de DMAIC para el caso de estudio	21
3.5 Herramientas aplicadas en la metodología DMAIC	22
3.6 Simulación y evaluación económica de proyectos	24
3.7 Criterios de selección de software de simulación	25
3.8 Evaluación económica de proyectos de mejora	25
3.9 Consideración del riesgo y tasa de descuento	26

4	METODOLOGÍA	27
5	DESARROLLO	29
	5.1 Descripción de la situación actual	29
	5.2 Describir los procesos de producción definidos en la empresa	32
	5.2.1 Definir	32
	5.2.2 Medir	33
	5.3 Identificar cuellos de botella y desperdicios de los procesos	37
	5.3.1 Analizar	37
	5.4 Proponer mejoras en los procesos y layout que disminuyan los desperdicios y cuellos de botella	40
	5.4.1 Mejorar	40
	5.4.2 Control	47
	5.5 Evaluar la rentabilidad de implementar las mejoras en diferentes escenarios y determinar una estrategia de implementación.	47
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	61
	6.1 Gobernanza de la implementación y sostenibilidad (PDCA)	64
7	BIBLIOGRAFÍA	68
8	ANEXO A	70
	8.1 Parámetros de tiempos por proceso usados en la simulación	70

ÍNDICE DE FIGURAS

5.1	Layout y proceso actual.	30
5.2	Maquinaria en desuso y desperdicio	31
5.3	Diagrama SIPOC	33
5.4	Mapa de flujo de fabricación de muebles	34
5.5	Frecuencias de los principales desperdicios	35
5.6	Diagrama de Pareto	36
5.7	Ishikawa sobre imperfecciones en el retapado	37
5.8	Ishikawa sobre retrasos en envíos	38
5.9	Ishikawa sobre cortes imprecisos	39
5.10	Software Arena	42
5.11	Software Arena	43
5.12	Software Arena	45
5.13	Nuevo layout	46
5.14	Datos para flujo de caja actual	48
5.15	Flujo de caja actual	50
5.16	Datos para flujo de caja con mejoras propuestas	51
5.17	Flujo de caja con mejoras propuestas	52
5.18	Indicadores de flujo	53
5.19	Flujo de caja con crédito	54
5.20	Indicadores de flujo	55
5.21	Puntos críticos	56
5.22	Análisis unidimensional	57
5.23	Análisis unidimensional	58
5.24	Análisis unidimensional	59
5.25	Análisis unidimensional	60
6.1	Balanced Scorecard	63

ÍNDICE DE TABLAS

6.1	Alineación con el Balanced Scorecard (BSC)	67
8.1	Parámetros de tiempos por proceso usados en la simulación (minutos).	70

RESUMEN

Muebles Rigal es una empresa de fabricación de muebles que, tras un incendio en 2021 y las interrupciones de la pandemia, vio reducida su capacidad productiva. Este estudio propone un plan de mejora operacional mediante Lean Six Sigma con enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Se modeló el sistema productivo, se evaluaron alternativas mediante simulación en Arena y se complementó con análisis económico. Los resultados muestran que, al implementar las mejoras propuestas, la producción aumenta cerca de un 73 % —de 55 a 95 unidades por ciclo de 45 horas—. Desde la perspectiva financiera, el proyecto es viable bajo financiamiento bancario, con un VAN de \$34.964.607 y una TIR de 44 %. Para asegurar la sostenibilidad, se plantea una gobernanza de mejora continua basada en PDCA (comité mensual, roles definidos, estandarización y gestión visual con tableros de indicadores y panel Kanban), junto con un plan de toma de datos y recalibración periódica del modelo. En síntesis, la combinación de rediseño de procesos, gestión del cambio, disciplina de estándares y seguimiento de KPIs permite recuperar capacidad, reducir variabilidad y proteger la rentabilidad del proyecto

Palabras clave: Lean Six Sigma, DMAIC, simulación, mejora de procesos

ABSTRACT

Muebles Rigal, a furniture manufacturer, experienced a sharp drop in productive capacity after a 2021 fire and pandemic-related disruptions. This study proposes an operational improvement plan using Lean Six Sigma under the DMAIC framework (Define, Measure, Analyze, Improve, Control). The production system was modeled, alternative interventions were assessed via Arena simulation, and results were complemented with an economic evaluation. Implementing the proposed changes increases output by approximately 73 %—from 55 to 95 units per 45-hour cycle. Financially, the project is viable when bank credit is used, yielding a net present value (NPV) of CLP \$34,964,607 and an internal rate of return (IRR) of 44 %. To sustain gains, we recommend a PDCA-based governance mechanism (monthly committee, defined roles, standardization, and visual management through indicator dashboards and a Kanban board), alongside a data-collection plan and periodic model recalibration. In sum, the combination of process redesign, change-management actions, disciplined standard work, and KPI tracking enables capacity recovery, variability reduction, and protection of project profitability.

***Keywords:** Lean Six Sigma, DMAIC, simulation, process improvement, economic evaluation.*

1 INTRODUCCIÓN

Muebles Rigal, una empresa con una sólida trayectoria en la fabricación de muebles, fue fundada hace más de 50 años y ha logrado posicionarse como un referente en el mercado local gracias a su especialización en la producción de muebles para hogar y productos personalizados según pedidos específicos de los clientes. La calidad y durabilidad de sus productos le permitió ganarse una reputación notable (Muebles Rigal, 2023). No obstante, a finales del año 2021, la fábrica ubicada en Miguel Ángel 02670, La Pintana, sufrió un devastador incendio que afectó aproximadamente al 70 % de sus instalaciones, destruyendo infraestructura y maquinaria. Este incidente, sumado a las consecuencias de la pandemia, impactó gravemente a la empresa, forzándola a reducir su personal, limitar la diversidad de su producción y realizar una reestructuración completa de sus procesos de fabricación.

Actualmente, tras entrevistar a los empleados de Muebles Rigal se puede mencionar que la empresa enfrenta desafíos significativos para recuperar su posición en el mercado. La ausencia de un sistema formalizado de documentación y control de procesos productivos ha generado inconsistencias en la calidad de los productos, con medidas y terminaciones que varían entre piezas similares. Según el testimonio de los empleados, la empresa cuenta con maquinaria de origen alemán que data de los años 70, la cual no recibe mantenimiento regular, lo que, según Chase (2011) puede recaer en interrupciones de flujos productivos o mal funcionamiento del equipo. Además, el personal carece de capacitación especializada para el uso de toda la maquinaria disponible, lo que crea una dependencia crítica a un único empleado con conocimientos completos, exponiendo a la empresa a riesgos operacionales en su ausencia. Entonces, en base a lo anterior, el objetivo principal de este trabajo es realizar una propuesta de mejora en los procesos productivos de Muebles Rigal con el uso de la metodología Lean Six Sigma y su enfoque DMAIC donde se levantará información de los procesos de producción, se rediseñarán los procesos y layout, se simularán los mismos, se propondrá mejoras y por último se realizará una evaluación económica sobre el costo de implementar estas.

1.1 Situación problema

En Muebles Rigal, la falta de un sistema formal de documentación y control de procesos, maquinaria sin mantenimiento, una falta de capacitación de los empleados, estandarización de los procesos y regulación de ciclos productivos generan ineficiencias en los procesos de producción, lo cual ha llevado a inconsistencias en la calidad de los productos, tales como variaciones en medidas y terminaciones entre piezas similares. Además, han aumentado los riesgos de fallos operativos, y se ha creado una fuerte dependencia a un solo empleado con conocimientos completos, exponiendo a la empresa a riesgos operativos adicionales.

La investigación es esencial para disminuir las ineficiencias y desperdicios actuales en los procesos productivos de Muebles Rigal, ya que, según Chase (2011), los desperdicios, retrabajo, reparación y pérdida de clientes recaen en mayores costos. Así mismo, señala que con frecuencia, el incremento de la productividad se presenta como una consecuencia de los esfuerzos por reducir costos.

Según Chase (2011), los enfoques de mejora continua como Six Sigma y la manufactura esbelta, están centrados en abatir los costos eliminando desperdicios y reduciendo la variabilidad en todos los pasos de un proceso o componente de un sistema. Es por ello que utilizar una metodología de mejora continua, como Lean Six Sigma, no solo ayudará a estandarizar y optimizar los procesos de producción, sino que también proporcionará una base para sugerir capacitación adecuada del personal y el mantenimiento preventivo de la maquinaria, asegurando una operación más eficiente. Así mismo, la simulación de procesos, según Stevenson (2021) es una herramienta útil para evaluar escenarios hipotéticos. Es por ello que con el software Arena se evalúan las propuestas de mejoras sin la necesidad de implementarlas.

1.2 Solución propuesta

Para enfrentar los desafíos que presenta Muebles Rigal se ha definido realizar una propuesta de mejora en los procesos de producción de la empresa utilizando la metodología Lean Six Sigma con el enfoque DMAIC para así identificar los principales cuellos de botellas y procesos que dis-

minuyen la eficacia y efectividad en la fabricación. De esta forma se propone realizar cambios en los procesos, el layout y la maquinaria actual, comparando los resultados en una simulación con el software Arena. Así mismo se realizan recomendaciones para que exista una mejora continua en la empresa. Por último se realiza una evaluación económica en relación a los costos asociados de la propuesta de mejora.

1.3 Objetivo general

Realizar una propuesta de mejora en los procesos productivos de Muebles Rigal con la metodología Lean Six Sigma en Arena simulation para aumentar la producción de muebles.

1.4 Objetivos específicos

1.4.1 Describir los procesos de producción definidos en la empresa.

1.4.2 Identificar cuellos de botella y desperdicios de los procesos.

1.4.3 Proponer mejoras en los procesos y layout que disminuyan cuellos de botella y desperdicios.

1.4.4 Evaluar la rentabilidad de implementar las mejoras en diferentes escenarios y determinar una estrategia de implementación.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcances

- En el siguiente trabajo no se implementarán las mejoras mencionadas, solo se registrará una propuesta de mejora de los procesos productivos a través de una simulación, por lo cual los datos obtenidos serán teóricos.
- Se harán recomendaciones para mejorar la calidad de los procesos en relación con los empleados.
- Por último, se realizará un análisis de los costos de la propuesta.

1.5.2 Limitaciones

- No existe registro oficial sobre los procesos de producción que utiliza la empresa, si no que este conocimiento radica en los operarios.
- Existe información que la empresa clasifica como confidencial.
- La simulación se calibró con datos observacionales no validados estadísticamente.
- En relación con los resultados obtenidos para concluir la eficacia y efectividad de las mejoras a proponer se debe mencionar que no se tiene un método para obtener una gran calidad de datos al momento de simular.
- El software utilizado para simular será en su versión estudiantil, lo cual limita el número de entidades a 150, por lo tanto, se puede simular la producción hasta un máximo de esta cantidad de muebles.
- Por último, existe una variabilidad operacional que no se puede considerar, ya que, las mejoras no serán implementadas. Por lo tanto, se tiene una gran dependencia de los datos que se utilizarán para simular.

2 ESTADO DEL ARTE

En el estudio realizado por Medina y Montalvo (2018) en la Universidad Señor de Sipán, se analizó la implementación de un sistema de gestión basado en la metodología Lean Six Sigma para mejorar la productividad en la fabricación de pallets en Maderera Nuevo Perú S.A.C. El diagnóstico inicial identificó ineficiencias como la falta de mantenimiento preventivo de maquinaria, tiempos muertos en la producción y la ausencia de indicadores clave para el control de mermas. Para abordar estos problemas, se aplicó la metodología DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar), utilizando herramientas como el diagrama de Ishikawa, el mapeo de la cadena de valor (VSM), el análisis de Pareto y SMED (cambio rápido de herramientas). Estas acciones resultaron en un aumento de la productividad global de 1.01 a 1.36, donde el análisis costo/beneficio indicó que, por cada sol invertido, se recuperaría la inversión con una ganancia adicional de 1.78 soles. La conclusión principal fue que Lean Six Sigma es eficaz para aumentar la productividad y asegurar la sostenibilidad a largo plazo.

En otro estudio, también realizado en Perú, por Piña, D. (2023), se implementó Six Sigma en una empresa de vidrios, comparando el desempeño dos meses antes y después de la implementación. Inicialmente, se observaron deficiencias significativas: un 46.67 % en cumplimiento de procesos, 61.57 % en eficiencia, 69.69 % en eficacia y 42.91 % en efectividad. Tras aplicar DMAIC, la eficiencia del tiempo aumentó a 96.23 %, la eficacia a 93.15 %, la efectividad a 86.64 %, y el cumplimiento de procesos a 93.01 %, reflejando una mejora del 34.95 %. Estos resultados demostraron que Six Sigma mejora significativamente los procesos productivos en la industria del vidrio.

El estudio de Sánchez, Ceballos y Sánchez Torres (2015) modeló y simuló con Arena® el proceso de una empresa de confección de ropa masculina (≈ 490 camisas/semana) para detectar cuellos de botella y evaluar mejoras. Se siguieron tres etapas (formulación del problema, desarrollo del modelo y experimentación) y se incluyeron todas las operaciones desde corte hasta empaque con sus distribuciones estadísticas. El modelo base evidenció ineficiencias en planchas industriales y fileteadoras. En el escenario de mejora, al aumentar el número de planchas industriales se logró +11,11 % de producción semanal y se redujo el tiempo promedio por prenda de 43,2 a 42,4 min, optimizando el uso de recursos. Se concluye que la simulación de procesos es una herramienta efectiva para PYMES al permitir evaluar inversiones y rediseños de forma controlada, mejorando la eficiencia y la competitividad.

Cárdenas Palomino (2019) llevó a cabo un estudio orientado a incrementar la productividad en el área de producción de la empresa Palomino, ubicada en Lurigancho, mediante la aplicación de la metodología Six Sigma bajo el enfoque DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). La investigación fue de tipo aplicada, con nivel explicativo y diseño experimental, y se basó en la observación directa de los procesos productivos. El problema principal detectado fue la baja productividad derivada de mermas y productos defectuosos. Con la implementación de la metodología Six Sigma, el nivel sigma mejoró de 2.75 a 4, la productividad aumentó en un 22 %, la eficacia en un 16 % y la eficiencia en un 9 %, alcanzando un desempeño global del 84 %. Los resultados estadísticos demostraron que la aplicación de Six Sigma tuvo una influencia significativa en el aumento de la productividad del área de producción.

Ccahuana Ninavilca et al. (2022) revisan la aplicación de Six Sigma para aumentar la productividad en industrias harineras de pescado mediante un diseño preexperimental (antes-después) y una revisión PRISMA de artículos (2010–2022) en SCIELO, Springer Link, ProQuest, Google Académico y Redalyc (español/inglés). Analizan etapas clave del proceso (recepción, cocción, prensado, secado y envasado) e identifican causas de defectos con diagramas causa-efecto. Concluyen que implementar Six Sigma reduce la variabilidad, mejora la eficiencia operativa y aumenta la producción, siempre que exista capacitación del personal y compromiso organizacional sostenido. Proponen considerar Six Sigma como herramienta estratégica de mejora continua que eleva competitividad y rentabilidad del sector.

Rengifo López y Gálvez Mayta (2023) evaluaron en Cartolan (Lima) cuánto aumenta la productividad tras aplicar Six Sigma mediante un estudio aplicado con diseño preexperimental y una muestra de 204 órdenes (de 432). Con observación y análisis documentario, implementaron DMAIC enfocándose en estandarización, capacitación, mantenimiento preventivo y 5S. Los resultados muestran un +30,5 % de productividad (de 94,36 a 123,14 u/h), estandarización 100 %, 93,33 % de trabajadores capacitados y cumplimiento total en mantenimiento y orden/limpieza. El B/C = 2,70 confirma rentabilidad. Concluyen que Six Sigma optimiza procesos, reduce errores y eleva la eficiencia en la producción de empaques de cartón.

Castillo Sánchez (2018) evaluó en la línea de toallas higiénicas de Kimberly Clark Perú (Santa Clara) el impacto de Six Sigma (DMAIC) en los costos de producción, en un estudio cuantitativo experimental. Se conformó el equipo, se definieron CTQs con SIPOC; en Medir se validó

el sistema (R&R), normalidad y capacidad (Cp, Cpk); en Analizar se usaron Ishikawa y AMEF, priorizando causas y validándolas con correlación/regresión; en Mejorar se aplicaron acciones y se comparó con ANOVA; en Control se establecieron controles para sostener mejoras. Resultados: -40,5 % en costos totales, +14 % de productividad parcial del adhesivo y -35 % en costos de no calidad, demostrando la eficacia de Six Sigma para optimizar procesos y reducir desperdicios.

El estudio de Mancilla Luna y Huarcaya Borda (2025) tuvo como objetivo incrementar la productividad mediante la aplicación de la metodología Six Sigma en el proceso de producción de planchas metálicas en una empresa reparadora de vehículos ubicada en Lima. La investigación presentó un enfoque cuantitativo, de nivel correlacional, diseño cuasiexperimental y tipo aplicado, con una población de 1.800 órdenes de trabajo y una muestra aleatoria de 318 órdenes. Las técnicas empleadas fueron la observación directa y el análisis documental, utilizando fichas de registro y observación como instrumentos. El procedimiento se desarrolló bajo las cinco fases del ciclo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), aplicando herramientas como diagramas de Ishikawa y Pareto, matriz AMFE, y pruebas de normalidad y correlación de Pearson para la identificación y validación de causas raíz. Los resultados demostraron un incremento del 13,83 % en la productividad, pasando de 0,0561 a 0,0638 órdenes de trabajo por hora-hombre; asimismo, la eficiencia aumentó en 8,77 %, la eficacia en 11,18 %, y los reprocesos se redujeron en 15,10 %. El nivel sigma del proceso se elevó de 2,17 a 4,23, reflejando una mejora significativa en la calidad operativa. Desde el punto de vista financiero, la implementación resultó rentable, con un VAN positivo de S/ 14.702,05, una TIR del 46,33 %, un periodo de recuperación descontado de 1,74 años y una relación beneficio/costo de 1,64, confirmando la viabilidad económica del proyecto. En conclusión, la aplicación del Six Sigma permitió optimizar la productividad, reducir errores operativos y aumentar la rentabilidad en la empresa analizada.

3 MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo y comprensión del presente trabajo se definen términos específicos y metodologías que serán utilizadas a lo largo del estudio. A continuación, se describen los principales conceptos que sustentan el marco teórico.

3.1 Definiciones y conceptos fundamentales

En primer lugar, un proceso puede entenderse como una parte de una organización que toma insumos y los transforma en productos con un valor superior al de los insumos originales (Chase, 2009).

De manera complementaria, Schroeder (2011) define las operaciones como un sistema o proceso de transformación que convierte insumos en productos. Dichos insumos comprenden recursos como energía, mano de obra, materiales, capital e información, los cuales son fundamentales para la ejecución de las actividades productivas.

En el ámbito de la manufactura, Schroeder (2011) profundiza en los procesos de transformación, señalando que estos implican convertir materiales desde su estado de materia prima hasta productos terminados. Por ejemplo, en la fabricación de un automóvil, materiales como el acero, el plástico, el aluminio y la tela se transforman en piezas específicas que luego se ensamblan en un vehículo completo. Este proceso requiere tanto de mano de obra como de energía e información para obtener el producto final.

Cuando los procesos presentan deficiencias sustanciales, la reingeniería de procesos se considera una estrategia eficaz. Según Chapman (2006), este enfoque consiste en rediseñar los procesos definiendo con precisión las entradas y salidas necesarias, con el propósito de optimizar el uso de los insumos y mejorar los resultados esperados.

El contexto de mejora que se busca implementar en este trabajo se relaciona directamente con la producción esbelta. Chase (2009) la describe como:

Un conjunto integrado de actividades diseñado para lograr la producción utilizando inventarios mínimos de materia prima, trabajo en proceso y bienes terminados. Las piezas llegan a la siguiente estación de trabajo justo a tiempo, se terminan y se mueven por todo el proceso con rapidez. La producción esbelta se basa también en la lógica de que no se va a producir nada hasta que se necesite (Chase, 2009.p.404).

3.2 Conceptos de calidad y metodología Six Sigma

De acuerdo con Chase (2009), es importante comprender el concepto de calidad en la fuente, el cual se basa en la responsabilidad directa del trabajador sobre el producto que elabora. El autor lo explica de la siguiente manera:

Calidad en la fuente significa hacer bien las cosas desde la primera vez y, cuando algo sale mal, detener de inmediato el proceso o la línea de ensamblado. Los obreros de las fábricas se convierten en sus propios inspectores y son responsables de la calidad de su producción. Los trabajadores se concentran en una parte del trabajo a la vez, de modo que descubren los problemas de calidad (Chase, 2009.p.407).

En este contexto, surge una metodología derivada del enfoque Lean, conocida como Six Sigma. Según Chase (2009), esta se define de la siguiente forma:

La calidad Six-Sigma y Six-Sigma esbelta surgió en la teoría y en la práctica. La calidad Six-Sigma es la práctica de crear calidad en el proceso, en lugar de depender de

la inspección. Asimismo, se refiere a la teoría de que los empleados asumen la responsabilidad por la calidad de su propio trabajo. Cuando los empleados son responsables de la calidad, la producción esbelta funciona mejor porque por el sistema solo pasan productos de buena calidad (Chase, 2009.p.414-415).

3.3 Lean vs Lean Six Sigma en talleres pequeños y pymes familiares

En operaciones pequeñas, Lean ofrece ganancias rápidas al suprimir desperdicios (esperas en secado, traslados por layout, inventario intermedio), mientras que Six Sigma aporta herramientas estadísticas para reducir variabilidad (terminaciones, ajustes dimensionales) cuando los volúmenes son limitados y un operario clave concentra habilidades críticas. Lean tradicional puede mejorar flujo y tiempos, pero en Muebles Rigal persiste un riesgo de calidad inestable si no se controla la variación de procesos y de materias primas. Lean Six Sigma (LSS) integra ambas miradas: primero libera flujo (mapeo de valor, 5S, rediseño de layout) y luego estabiliza resultados (medición, capacidad, causa-efecto), algo crucial cuando la empresa no puede absorber reprocesos o devoluciones. Además, LSS prioriza soluciones costo-efectivas (estandarización del dimensionado, cámara de secado dimensionada a la demanda), coherentes con restricciones de capital típicas en pymes familiares. En este contexto, LSS reduce el riesgo de “mejoras frágiles” (rápidas pero no sostenibles) y orienta el control para mantener los beneficios en el tiempo.

En el caso específico de Muebles Rigal, aplicar Lean de forma aislada permitiría reducir tiempos y recorridos, pero no resolvería la variabilidad en las terminaciones y defectos del producto, originada por la falta de estandarización y el uso de maquinaria antigua. Por ello, la integración de Six Sigma aporta la capacidad estadística y el control de proceso necesarios para garantizar estabilidad y calidad reproducible. En pequeñas empresas familiares como Rigal, Lean Six Sigma no solo busca “hacer más rápido”, sino “hacer correctamente desde la primera vez”, disminuyendo la dependencia del conocimiento tácito de un solo operario y permitiendo institucionalizar el aprendizaje técnico. (Chase, 2009; Schroeder, 2011; Stevenson, 2021).

En base a esto, Chase (2009) describe que el planteamiento común de los proyectos de Six Sigma se basa en la metodología DMAIC, desarrollada por General Electric, la cual comprende cinco fases principales:

1. **Definir (D)** • Identificar a los clientes y sus prioridades. • Seleccionar un proyecto adecuado para los esfuerzos de Six Sigma, considerando los objetivos de la empresa y la retroalimentación del cliente. • Determinar las características cruciales para la calidad (CTQ: critical to quality) que el cliente percibe como determinantes de la calidad.
2. **Medir (M)** • Establecer cómo medir el proceso y su desempeño. • Identificar los procesos internos clave que influyen en las características críticas para la calidad y cuantificar los defectos generados.
3. **Analizar (A)** • Determinar las causas más probables de los defectos. • Comprender por qué se originan los defectos e identificar las variables clave que producen variaciones en los procesos.
4. **Mejorar (I)** • Identificar medios para eliminar las causas de los defectos. • Confirmar las variables clave y cuantificar sus efectos en las características críticas para la calidad. • Definir márgenes de aceptación de las variables clave y sistemas para medir desviaciones. • Modificar los procesos para mantenerlos dentro de los límites apropiados.
5. **Control (C)** • Establecer mecanismos para mantener las mejoras. • Implementar herramientas que aseguren que las variables clave se mantengan dentro de los límites de aceptación del proceso mejorado (Chase, 2009.p.314-315).

En síntesis, la metodología DMAIC representa la esencia de Six Sigma al estructurar un ciclo de mejora continua que permite identificar, analizar y eliminar las causas de los defectos, promoviendo procesos más eficientes y orientados a la calidad total.

3.4 Pertinencia de DMAIC para el caso de estudio

En primera instancia, DMAIC resulta más apropiado que alternativas como PDCA/Kaizen events o marcos de reingeniería porque el problema de Muebles Rigal combina variabilidad de calidad, cuellos de botella (secado) y recorridos ineficientes (layout), es decir, exige medición rigurosa y una validación cuantitativa del impacto antes de invertir. Definir alinea CTQ de cliente (terminaciones, plazos) con metas productivas; Medir captura tiempos/defectos en el proceso actual; Analizar

prioriza causas raíz (Pareto/Ishikawa) sin asumir soluciones; Mejorar prueba en simulación el rediseño de layout y la cámara de secado; y Controlar asegura sostenibilidad con hojas de verificación e indicadores. Frente a PDCA, DMAIC aporta estructura estadística más robusta para decisiones de inversión; frente a marcos de reingeniería, evita cambios “de hoja en blanco” costosos, privilegiando mejoras escalables y de bajo riesgo acordes al tamaño y capacidad financiera de la empresa. Esta elección metodológica reduce la probabilidad de sobredimensionar la solución y maximiza el aprendizaje con datos del proceso real.

En el contexto de Muebles Rigal, DMAIC resulta más apropiado porque ofrece una estructura disciplinada para abordar simultáneamente problemas de calidad y capacidad productiva bajo recursos limitados. A diferencia de enfoques más iterativos como PDCA o Kaizen, que dependen de una cultura de mejora ya instalada, DMAIC permite intervenir con un marco analítico y verificable incluso en entornos sin historial formal de control de procesos. En empresas familiares donde la experiencia operativa prima sobre los datos, esta estructura facilita traducir observaciones cualitativas en decisiones cuantificables, asegurando un aprendizaje organizacional más objetivo y replicable. (Chase, 2009; Schroeder, 2011; Stevenson, 2021).

3.5 Herramientas aplicadas en la metodología DMAIC

Existen diversos métodos que permiten cumplir con las etapas del ciclo DMAIC. Entre ellos se encuentran los diagramas de flujo, los cuales resultan fundamentales para visualizar la secuencia de actividades y detectar oportunidades de mejora. Según Schroeder (2011), “un diagrama de flujo es una representación visual de un proceso que describe las relaciones del mismo y revela desperdicios o pasos innecesarios que pueden eliminarse. Además, identifica posibles problemas que deban investigarse mediante la recopilación y análisis de datos adicionales” (p.192).

Dentro de las herramientas analíticas utilizadas en Six Sigma y en los procesos de mejoramiento continuo, se emplean algunas de las más representativas en este trabajo. Chase (2009) las define de la siguiente manera:

Diagrama SIPOC: Es un modelo formalizado de insumos y productos que se utiliza

para definir las etapas de un proyecto.

Gráficas de Pareto: Estas gráficas desglosan un problema en las contribuciones relativas de sus componentes. Se basan en la observación empírica de que un gran porcentaje de los problemas se debe a un pequeño porcentaje de causas. Por ejemplo, el 80 % de las quejas de los clientes pueden deberse a entregas demoradas, que representan solo el 20 % de las causas.

Diagrama de causas y efectos: También llamados diagramas de espina de pescado, muestran las relaciones hipotéticas entre causas potenciales y el problema estudiado. Una vez elaborado este diagrama, se procede al análisis para determinar cuáles de las causas contribuyen efectivamente al problema (Chase, 2009.p.315).

Quando se busca mejorar un proceso, resulta esencial comprender el concepto de desperdicio. De acuerdo con el expresidente de Toyota, Fujio Cho, “es cualquier cosa que no sea la cantidad mínima de equipo, materiales, piezas y obreros (horas de trabajo) absolutamente esencial para la producción” (Chase, 2009, p.405).

Asimismo, es importante considerar los denominados cuellos de botella. Según Schroeder (2011),

Un cuello de botella es un centro de trabajo cuya capacidad es inferior a la demanda que se ejerce sobre él y a las capacidades de los demás recursos. Un recurso sujeto a un cuello de botella restringirá la capacidad de todo el sistema, de modo que agregar una hora de trabajo a un cuello de botella añade una hora de capacidad a toda la fábrica. Sin embargo, aumentar una hora a una situación sin cuello de botella no contribuirá en nada, ya que en ese caso existe un exceso de capacidad (Schroeder, 2011.p.314).

Para el análisis y modelado de los procesos, resulta indispensable utilizar herramientas especializadas como Bizagi Process Modeler, un software freemium que permite diagramar, documentar y simular procesos mediante la notación estándar BPMN. De acuerdo con Bizagi (2025), su suite

Bizagi BPM constituye una solución integral de gestión de procesos de negocio (Business Process Management, BPM) que posibilita la automatización y ejecución de flujos de trabajo empresariales.

Finalmente, con el fin de evaluar la situación actual de los procesos y compararla con las mejoras propuestas, se recurre a la simulación de procesos, técnica que permite representar virtualmente las operaciones productivas para analizar su desempeño, eficiencia y capacidad de respuesta ante cambios operativos.

3.6 Simulación y evaluación económica de proyectos

Para comprender la realidad y la complejidad de las operaciones en un sistema real, es necesario recurrir a métodos y herramientas que permitan reproducir y experimentar su comportamiento. En este contexto, la simulación por computadora es una técnica mediante la cual se construyen modelos digitales que replican procesos de sistemas reales, con el fin de evaluarlos cuantitativamente y predecir su comportamiento. Por ejemplo, estudios definen que los modelos de simulación representan procesos del sistema real a lo largo del tiempo y sirven para investigar su dinámica y anticipar resultados (Universidad Internacional de La Rioja, 2024).

Por otra parte, un sistema puede definirse como un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan para alcanzar un objetivo. Dichos sistemas reciben insumos del entorno (entradas), transforman esos insumos mediante procesos internos y entregan productos, información o energía al entorno (salidas) (Sáenz, 2005).

Para el análisis del presente trabajo se empleó el software Arena Simulation. Según Rockwell Automation (2025), dicho software aprovecha datos históricos para generar un gemelo digital que refleja el sistema real y permite comparar los resultados simulados con los reales. Arena aplica principalmente el método de eventos discretos, aunque también admite modelado basado en flujo y agentes. De esta forma, la simulación se convierte en una herramienta esencial para representar virtualmente los procesos productivos y estimar el efecto de mejoras antes de implementarlas.

3.7 Criterios de selección de software de simulación

El proceso es discreto, con recursos compartidos, colas y cuellos en secado y por operario/maquinaria. Se requieren experimentos para validar layout y capacidad de secado, y comparar escenarios con/sin financiamiento. Se eligió Arena Simulation por su madurez y adopción en manufactura discreta, bibliotecas listas (colas/recursos), facilidad para ruteo y cambios de recurso sin desarrollo adicional, trazabilidad (tiempos de ciclo, utilización, WIP), soporte para diseños de experimento básicos y costo/disponibilidad acordes. Aunque Simul8 y FlexSim ofrecen prestaciones comparables, Arena equilibró curva de aprendizaje, bibliotecas nativas y estabilidad para modelar colas/recursos del cuello de secado y el rediseño de layout. La elección también considera licencia académica, uso universitario/industrial y la complejidad real del sistema. (Rockwell Automation, 2025; Bizagi, 2025; Universidad Internacional de La Rioja, 2024).

3.8 Evaluación económica de proyectos de mejora

Una vez obtenida una propuesta de mejora basada en simulación, resulta fundamental determinar los costos y rentabilidad asociados a su ejecución. Para ello, se aplican distintos métodos financieros que permiten verificar si el proyecto es económicamente viable.

Uno de los indicadores más utilizados es el Valor Actual Neto (VAN), que según Sapag (2011),

Es el método más conocido, mejor y más generalmente aceptado por los evaluadores de proyectos. Mide el excedente resultante después de obtener la rentabilidad deseada o exigida y después de recuperar toda la inversión. Para ello, calcula el valor actual de todos los flujos futuros de caja proyectados a partir del primer periodo de operación, y le resta la inversión total expresada en el momento cero (Sapag, 2011.p.300).

De manera complementaria, se emplea la Tasa Interna de Retorno (TIR), que, según el mis-

mo autor, “mide la rentabilidad como porcentaje” (Sapag, 2011, p.302).

El uso conjunto de estos métodos permite evaluar la rentabilidad de las inversiones propuestas, considerando los flujos de efectivo esperados, la recuperación del capital invertido y la tasa de retorno del proyecto.

3.9 Consideración del riesgo y tasa de descuento

Para realizar una evaluación económica adecuada es necesario incorporar el riesgo asociado a la inversión. Este se representa a través de la tasa de descuento, que ajusta los flujos futuros de caja en función del riesgo percibido del proyecto. Sapag (2011) explica que:

La rentabilidad esperada para la empresa se puede calcular mediante el modelo para la valoración de los activos de capital (*Capital Asset Pricing Model, CAPM*), el cual establece que la tasa exigida de rentabilidad es igual a la tasa libre de riesgo más una prima por riesgo:

$$K_u = R_f + \beta_u(R_m - R_f)$$

donde K_u es la rentabilidad esperada de la industria; R_f , la tasa libre de riesgo; β_u , el beta desapalancado; y R_m , la tasa de retorno esperada del mercado (Sapag, 2011.p.373-374).

En síntesis, la aplicación combinada del VAN, la TIR y el modelo CAPM permite evaluar integralmente la rentabilidad, el riesgo y la viabilidad económica de las mejoras propuestas.

4 METODOLOGÍA

El presente trabajo se realiza de forma secuencial en relación con los objetivos planteados. Estos se resuelven utilizando Lean Six Sigma y su enfoque DMAIC, en el cual se debe definir, medir, analizar, mejorar y controlar. Por lo tanto, los pasos a seguir son los siguientes para cada uno de los objetivos planteados en el presente trabajo.

Para describir los procesos de producción definidos en la empresa, en primera instancia se define lo que se desea realizar. Además, se identifican los clientes y las características que determinan la calidad de los productos fabricados. Para ello se tienen entrevistas con los empleados levantando información sobre los productos, proveedores y principales clientes, identificando las características cruciales para la calidad. Siguiendo con la metodología se miden los procesos y su ejecución, así como también los procesos internos claves que influyen en la calidad y los defectos de los productos. Para ello es que se realiza una observación directa de los procesos, midiendo los tiempos de producción, así como también los principales defectos de los productos y se analiza el layout de las instalaciones.

Con el fin de ordenar esta información es que se utilizar una matriz SIPOC, debido a que esta será una guía para evidenciar los principales problemas de los defectos de los muebles que serán expuestos en un diagrama de Pareto para poder determinar el estado actual de los procesos identificando los puntos claves que necesiten mejoras.

Para identificar cuellos de botella y desperdicios de los procesos, se analizan los datos obtenidos a través de un diagrama de Ishikawa para determinar las causas más probables de los desperdicios. En relación a los cuellos de botella, se simula la situación actual de los procesos, identificando variables claves que tengan una probabilidad de producir variaciones en los procesos.

Para proponer mejoras en los procesos y layout que disminuyan los desperdicios y cuellos de botella, a partir del análisis realizado se proponen mejoras en los procesos de producción basados en la teoría de Lean SixSigma y en estudios realizados por otros autores. Para las mejoras, se propone un cambio en el layout, cambio de maquinaria o y un método para disminuir el principal cuello

de botella de los procesos. Para ello es que se realizan los diagramas de flujos pertinentes al caso. Así mismo, estas propuestas se simulan en el software Arena para hacer una comparación entre los procesos actuales y los procesos con las mejoras.

Por lo tanto, lo que se realiza en primera instancia es describir el flujo de procesos, la cantidad de personal, la cantidad de maquinaria, los tiempos que demoran en cada parte del proceso y la cantidad de muebles que se realizan, en este caso en un mes. Estos datos son ingresados en Arena y se procede a simular para observar si los datos reales con los simulados son los adecuados y así evidenciar la calidad de los datos. Posterior a ello se procede a simular el proceso con las mejoras propuestas, lo que resulta en agregar personal, disminuir tiempos, agregar maquinaria y evaluar la cantidad de producción con los cambios. Finalmente se hace la comparativa de la cantidad de producción en un mismo periodo de tiempo para los procesos con y sin mejora. De esta forma se puede evaluar si las mejoras propuestas son eficaces.

Los tiempos usados en la simulación provienen de observación directa no sistemática, sin validación estadística formal (p. ej., pruebas de ajuste, histogramas o IC), por lo que las distribuciones en Arena son aproximaciones empíricas basadas en la experiencia operativa, lo que limita la replicabilidad. Se propone, para futuros trabajos, una toma de datos sistemática (cronometraje, hojas de tiempo por operación y análisis de distribuciones con KS o Chi-cuadrado) para calibrar con mayor robustez los parámetros (ver Tabla 8.1). Aun con esa limitación, el modelo mantiene coherencia interna y realismo (secuencias, colas y restricciones observadas), por lo que es útil como herramienta de decisión para explorar rediseños de layout, redistribución de recursos y ajustes en el secado. En anexos se incorpora una tabla con promedios, desviaciones estándar y distribuciones asumidas por proceso para transparentar supuestos y facilitar validaciones futuras

Para evaluar el costo económico de implementar las mejoras, por último, con el fin de determinar la rentabilidad de la propuesta se realiza una evaluación económica. Para ello se realizan entrevistas a los empleados de la empresa con el fin de obtener los costos e ingresos de la producción. Así mismo, la información que no se obtenga se estima y se evalúan los costos de realizar las mejoras para poder realizar un flujo de caja proyectado, calculando el VAN, TIR y análisis dimensionales para estudiar lo que ocurre si varía alguna de las principales variables que se utilizan.

5 DESARROLLO

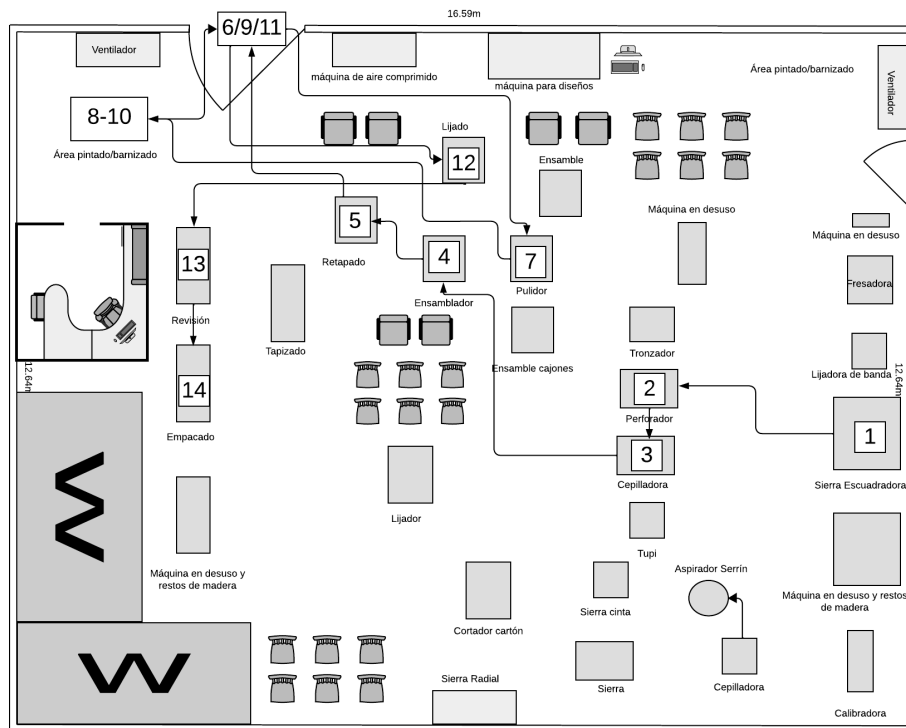
5.1 Descripción de la situación actual

Actualmente, Muebles Rigal enfrenta diversos problemas que afectan significativamente su productividad. En primer lugar, la empresa carece de un sistema formal de documentación y control de sus procesos productivos, lo que ha generado inconsistencias en la calidad de sus productos. Las piezas producidas han presentado imperfecciones en el retapado, retrasos en envíos, cortes imprecisos, desalineación en el ensamblaje, falta de componentes, daños durante el transporte, entre otras cosas. Estos problemas han afectando la uniformidad de los productos similares, por lo que esta falta de estandarización ha resultado en una disminución en la calidad de la producción y, por ende, en la satisfacción del cliente.

Otro factor que contribuye a la ineficiencia en la producción, según Stevenson (2021) es la distribución de la maquinaria, la cual en este caso, no regula un ciclo adecuado de producción. Así mismo, las instalaciones cuentan con un gran número de muebles que nunca se vendieron, maquinaria en desuso por defectos, material desperdiciado y un desorden que afecta el correcto desempeño de los empleados. Con el fin de comprender el proceso y layout actual se presenta un modelo de las instalaciones.

Figura 5.1

Layout y proceso actual.



Nota: Distribución actual de maquinaria y proceso.

En la presente figura, los números del 1 al 14 indican el recorrido que se debe hacer para la fabricación de un mueble, las secciones que tienen más de un número significan que el proceso se repite. Los números 6,9 y 11 hacen referencia al proceso de secado, el cual se hace fuera de las instalaciones de fabricación. Como se puede observar con las flechas, los recorridos son muy largos o innecesarios, lo que significa tiempos perdidos en mover la materia prima de una dirección a otra.

Dentro del mapeo se puede observar que existe un área con una “W”, esto hace referencia a desperdicios, material no utilizado, maquinaria descompuesta. Así mismo, se pueden observar otros objetos, tales como sillas y otros muebles que nunca se vendieron. Para comprender mejor esto se presenta la siguiente imagen:

Figura 5.2

Maquinaria en desuso y desperdicio



Nota: Fotografía tomada a las instalaciones.

Comprendido esto, se debe mencionar que Muebles Rigal opera con equipos que no han recibido mantenimiento regular. A pesar de la antigüedad de estos equipos, la empresa no ha implementado un plan de mantenimiento preventivo, lo que genera un riesgo de interrupciones en el proceso productivo. Además, solo un empleado posee el conocimiento completo sobre el manejo de la maquinaria, lo que crea una fuerte dependencia de su disponibilidad.

La combinación de estos factores no solo ha reducido la eficiencia y productividad de la empresa, sino que también ha aumentado los riesgos operativos, afectando su capacidad para cumplir con los pedidos de los clientes de manera consistente y oportuna.

5.2 Describir los procesos de producción definidos en la empresa

Para llevar a cabo de manera exitosa el primer objetivo planteado es que se utilizará el enfoque DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, controlar). Por lo tanto en esta instancia se realizará el primer paso sobre definir.

5.2.1 Definir

Lo planteado en este trabajo es que se mejorarán los procesos de producción de los principales productos que fabrica actualmente Muebles Rigal.

Durante las entrevistas realizadas a los empleados de la empresa, se deben destacar diversos aspectos relacionados con los productos. En primer lugar, se debe mencionar que el principal cliente es “Colchones Flex”; esta es una empresa que normalmente hace pedidos que varían entre los 100 y 200 veladores. Comprendido esto se debe mencionar las características que determinan la calidad del producto para satisfacer al cliente, sobre ello los empleados de Muebles Rigal señalan que las características que indican la calidad en base a los clientes son:

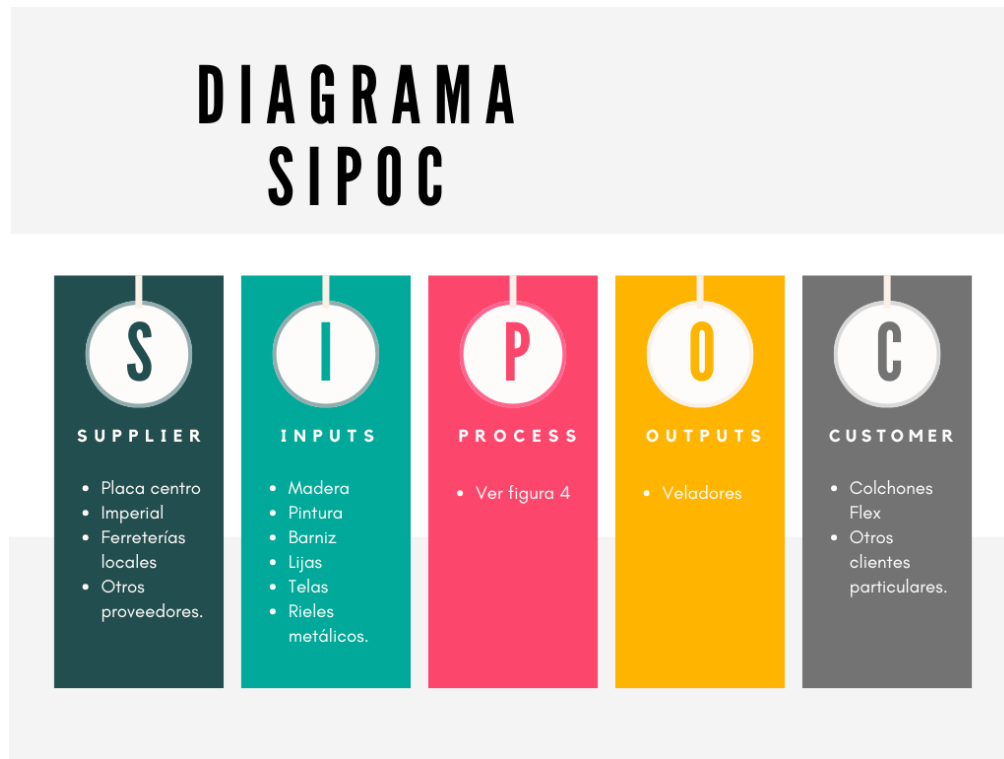
- Diseño
- Firmeza
- Que sean prácticos
- Precisión de medidas
- Buenas terminaciones

Estas características son sumamente importantes, ya que determinan la fidelidad de los clientes; de hecho, en la última entrega de 50 veladores que se hizo a esta empresa, se realizó una devolución

de 8 de 50 veladores, ya que no cumplían con los estándares de calidad mencionados. Para ordenar la información recopilada y comprender los proveedores y clientes se utiliza un diagrama SIPOC.

Figura 5.3

Diagrama SIPOC



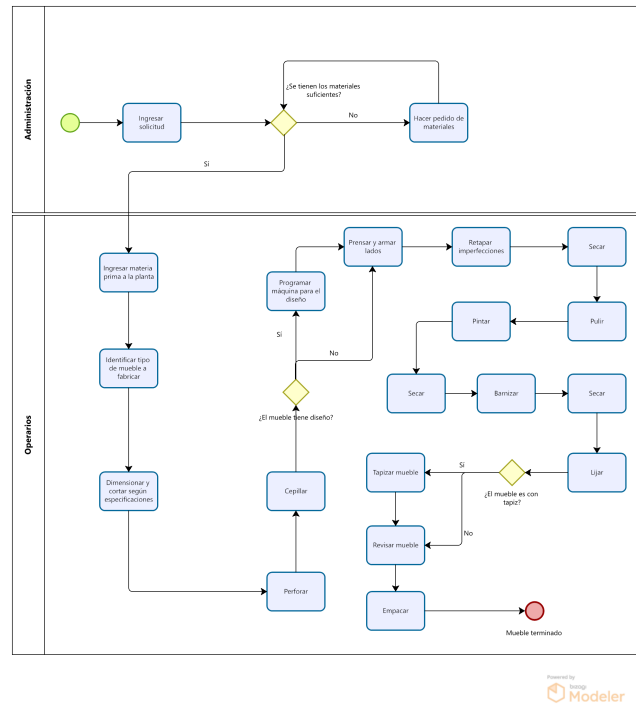
Nota: Información obtenida a través de entrevistas a los empleados.

5.2.2 Medir

Siguiendo con el ciclo DMAIC, se procede a definir los ciclos de producción y sus procesos. Para ello se realiza un levantamiento de información a partir de entrevistas con los empleados y observación directa de cada tarea dentro de los procesos. Realizado esto, se define el proceso mediante el siguiente flujo:

Figura 5.4

Mapa de flujo de fabricación de muebles



Nota: Proceso actual realizado en la fábrica.

El proceso inicia con el ingreso del pedido del cliente; Administración verifica la disponibilidad de materiales y, si faltan, gestiona el reabastecimiento; si están disponibles, el flujo avanza a Operaciones, donde se identifica el tipo de mueble, se cortan las planchas según dimensión y se perforan las piezas para su ensamble, cepillando bordes para un acabado uniforme. Si el diseño lo requiere, se programa la máquina correspondiente; luego se prensan y ensamblan las partes y se retapan imperfecciones. Tras el retapado, el mueble se deja secar, se pule, se aplica color y se seca nuevamente; a continuación se barniza, se seca y se lija. Finalmente, si corresponde, se tapiza, se revisa la calidad y se embala para despacho.

A través de las entrevistas realizadas a los empleados de la empresa, en conjunto con la observación directa de los procesos, se determinó que, las principales causas de desperdicios en los muebles fabricados son las siguientes:

- Imperfecciones en el retapado
- Retrasos en envíos
- Cortes imprecisos
- Desalineación en ensamblaje
- Faltante de componentes
- Daños durante el transporte

Teniendo en cuenta estos principales problemas se analizaron, según los estándares de calidad mencionados, la frecuencia en el incumplimiento de la calidad para 100 muebles fabricados, dentro de lo cual se obtuvo lo siguiente:

Figura 5.5

Frecuencias de los principales desperdicios

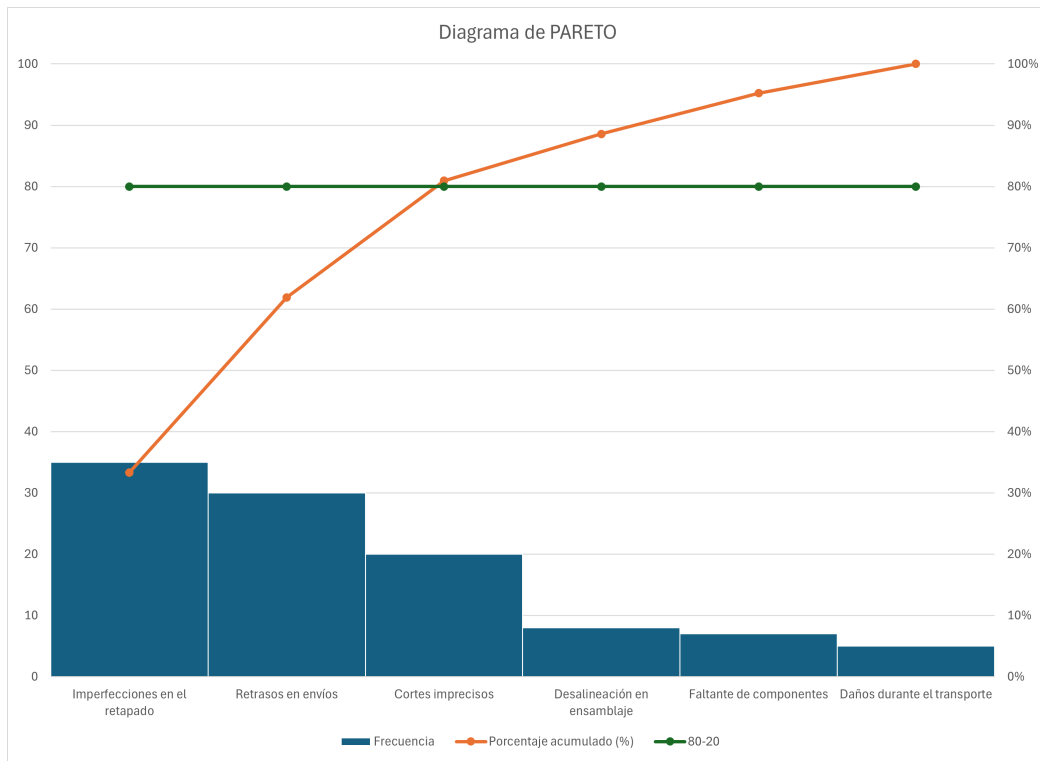
Problema	Frecuencia	Porcentaje (%)	Porcentaje acumulado (%)	80-20
Imperfecciones en el retapado	35	33%	33%	80%
Retrasos en envíos	30	29%	62%	80%
Cortes imprecisos	20	19%	81%	80%
Desalineación en ensamblaje	8	8%	89%	80%
Faltante de componentes	7	7%	95%	80%
Daños durante el transporte	5	5%	100%	80%

Nota: Frecuencias obtenidas por observación directa y por información obtenida de los empleados.

En base a la tabla desarrollada, se realiza un diagrama de pareto para observar cuáles son los desperdicios más influyentes en la fabricación de los muebles, obteniendo como resultado lo siguiente:

Figura 5.6

Diagrama de Pareto



Nota: Diagrama realizado a partir de la frecuencia de problemas.

A través del diagrama realizado, se puede observar que, de los 7 problemas analizados, 3 de ellos conforman el 80 % del total de desperdicios, por lo tanto, las mejoras se deben centrar en:

- Imperfecciones en el retapado
- Retrasos en envíos
- Cortes imprecisos

Teniendo esto en cuenta, los problemas mencionados se analizarán para determinar las principales causas de estos.

5.3 Identificar cuellos de botella y desperdicios de los procesos

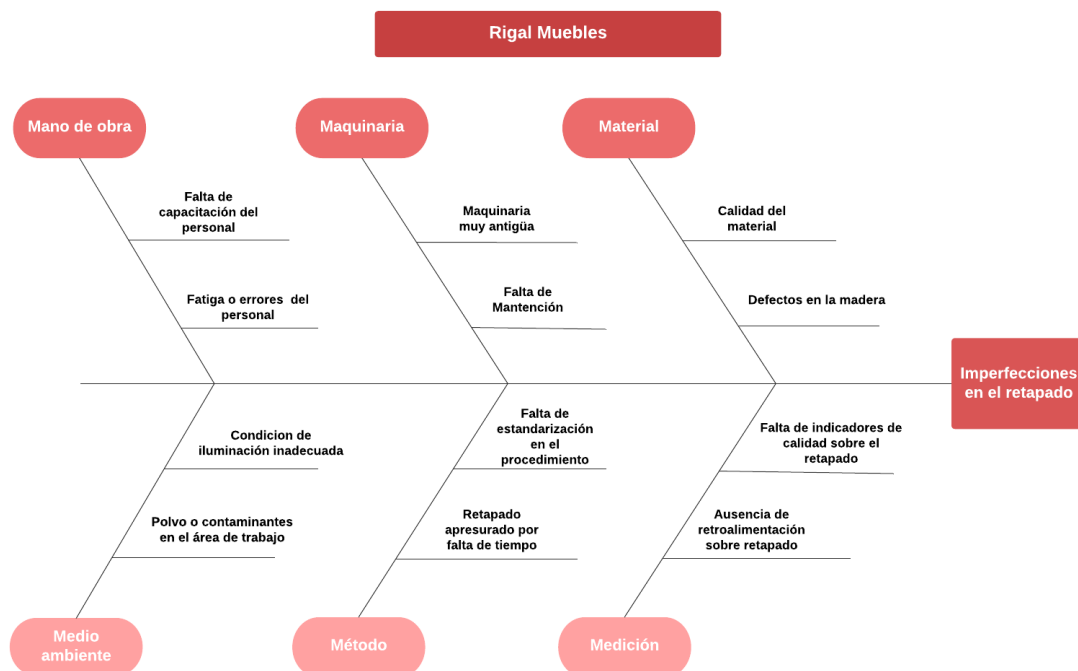
Para resolver este objetivo, se procede con el punto de analizar, según el ciclo DMAIC.

5.3.1 Analizar

Con los problemas mencionados, se realiza un diagrama de Ishikawa para analizar las posibles causas de los problemas con mayor frecuencia, de esto se obtiene lo siguiente:

Figura 5.7

Ishikawa sobre imperfecciones en el retapado



Nota: Información obtenida a través de entrevistas a los empleados.

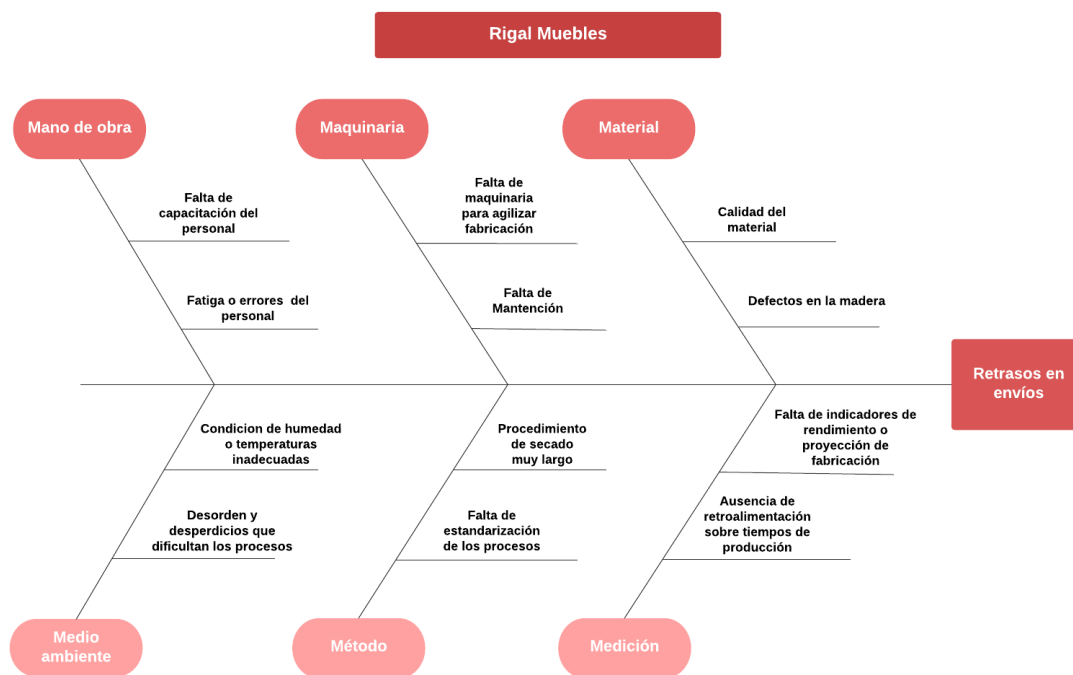
Con el diagrama de Ishikawa se identifican las posibles causas de imperfecciones en el retapado en Muebles Rigal organizadas en seis categorías principales: mano de obra, maquinaria,

material, medio ambiente, método y medición.

Dentro del análisis realizado se pueden identificar las principales causas de las imperfecciones en el retapado; de estas se mencionan: falta de capacitación, la fatiga y los errores del personal. Además, la calidad y defectos en la madera dificultan el proceso de acabado, generando irregularidades visibles. Así mismo, las condiciones de iluminación afectan este problema, según señalan los mismos empleados. Por otra parte, la presión por realizar el trabajo en tiempos reducidos también juega un papel importante, ya que obliga a aplicar el retapado de forma apresurada, incrementando las posibilidades de errores. Finalmente, la ausencia de retroalimentación y falta de indicadores claves sobre la calidad del retapado dificultan mejorar este proceso.

Figura 5.8

Ishikawa sobre retrasos en envíos



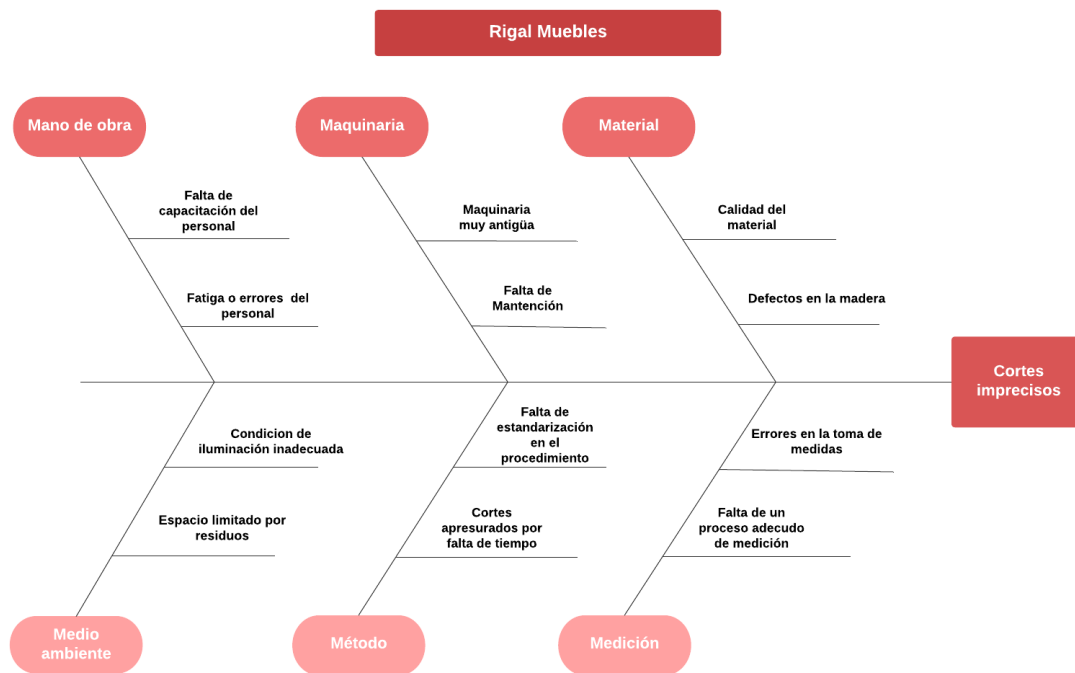
Nota: Información obtenida a través de entrevistas a los empleados.

En el diagrama de Ishikawa que aborda el problema de retrasos en envíos en Muebles Rigal se pueden mencionar las principales causas de esta situación. Dentro de ello, la falta de capacitación del personal y la fatiga o errores humanos, pueden ralentizar el proceso productivo y ocasionar

retrasos. Así mismo, la falta de equipos adecuados para agilizar la fabricación limita la velocidad de producción. Por otra parte, las condiciones de humedad o temperaturas inadecuadas afectan la eficiencia del proceso. Dentro de los métodos utilizados, el procedimiento de secado es lo que toma más tiempo, lo que enlentece el ciclo productivo. Además, los procesos apresurados por falta de tiempo pueden afectar la calidad y generar la necesidad de correcciones, lo que a su vez causa retrasos. Finalmente, se observa una falta de indicadores de rendimiento o proyecciones de fabricación, lo que dificulta la planificación de tiempos. También se observa la ausencia de retroalimentación sobre tiempos de producción, lo cual impide identificar y corregir problemas que estén contribuyendo a los retrasos de manera oportuna.

Figura 5.9

Ishikawa sobre cortes imprecisos



Nota: Información obtenida a través de entrevistas a los empleados.

Para el presente diagrama, se observa que la falta de capacitación y la fatiga o errores del personal pueden impactar negativamente en la precisión de los cortes. Así mismo, se identifica que la condición de iluminación inadecuada y el espacio limitado por la acumulación de residuos afectan la precisión en los cortes. Respecto del método, la falta de estandarización en el procedimiento implica que no se sigan pasos uniformes en cada corte, lo que afecta la consistencia en la producción.

Además, los cortes apresurados debido a la falta de tiempo llevan a que no se realicen de forma precisa, lo cual genera errores y variabilidad en el producto. Finalmente, en medición, la precisión se ve afectada por errores en la toma de medidas y la falta de herramientas de medición adecuadas. Estos problemas conducen a inexactitudes, ya que sin mediciones precisas y herramientas de calidad es difícil obtener cortes exactos.

Al analizar los tres diagramas de Ishikawa, se identifican causas recurrentes que afectan la eficiencia y calidad en Muebles Rigal, tales como la falta de capacitación del personal, la baja calidad del material, las condiciones ambientales (como la iluminación, humedad y temperatura inadecuadas) y la falta de estandarización en los métodos de trabajo que impactan negativamente en los tiempos de producción y la precisión en los procesos. La ausencia de herramientas precisas y controles de calidad adecuados agravan estos problemas, permitiendo que se acumulen errores a lo largo del proceso.

5.4 Proponer mejoras en los procesos y layout que disminuyan los desperdicios y cuellos de botella

Para lograr este objetivo planteado, se prosigue con la secuencia del ciclo DMAIC, por lo tanto se entra en la etapa de mejorar.

5.4.1 *Mejorar*

Dentro de los aspectos que se deben mejorar según el análisis de los diagramas de Ishikawa, la estandarización de los procesos y los tiempos de producción son clave. Según Stevenson (2021) el layout a menudo determina la fluidez con que puede realizarse el trabajo, y los factores ambientales como calefacción, la iluminación y la ventilación también desempeñan un papel importante a la hora de la eficacia del trabajo del personal o si éste debe esforzarse por superar características de diseño eficiente.

Con el fin de identificar cuellos de botella en el proceso, es que este se simulará en el software Arena.

Para una simulación efectiva la calidad de los datos que se tengan es fundamental, según señala IBM (2021) los estándares de calidad de los datos garantizan que las compañías tomen decisiones basadas en datos para cumplir con sus objetivos. Si los problemas de datos, no se abordan adecuadamente, las compañías aumentan su riesgo de resultados negativos. Esto es importante de señalar, ya que, para la obtención de datos se realizó una observación directa de cada proceso en conjunto con la información otorgada por los empleados, anotando el tiempo que toma realizar cada actividad desde que inicia esta hasta dejar la materia prima en la próxima actividad.

En el software Arena es necesario indicar los procesos a realizar, la cantidad de empleados por maquinaria (en este caso) y la distribución de tiempo en cada parte del proceso.

El modelo que se realizó en el software Arena, se basa en el primer mapa de flujo de procesos mostrado anteriormente. Además se utilizan los datos sobre los tiempos de cada proceso, según sus diferentes distribuciones.

Cabe destacar que las distribuciones utilizadas en el modelo provienen de observaciones directas sin validación estadística formal. Futuras investigaciones deberían incluir pruebas de bondad de ajuste (Kolmogorov-Smirnov o Chi-cuadrado) y estimación de intervalos de confianza para los tiempos de proceso.

Con el modelo, en primer lugar se busca simular el estado actual de la fabricación de 50 muebles, con el fin de demostrar la calidad de los datos. De ello se observó que esta fabricación demora una semana laboral (44 horas).


El software Arena permite indicar la cantidad de días y horas que durará la simulación, lo cual se muestra a continuación:

Figura 5.10

Software Arena

Establish replication-related options for the current model. Settings include the number of simulation replications to be run, the length of the replication, the start date and time of the simulation, warm-up time length, time units, and the type of initialization to be performed between replications.

Replication Parameters

Number of Replications:	<input type="text" value="5"/>
Start Date and Time:	<input type="checkbox"/> martes , 26 de noviembre de 2024 18:47:45 
Warm-up Period:	<input type="text" value="0.0"/> <input type="text" value="Hours"/>
Replication Length:	<input type="text" value="5"/> <input type="text" value="Days"/>
Hours Per Day:	<input type="text" value="9"/>
Terminating Condition:	<input type="text"/>
Base Time Units:	<input type="text" value="Days"/>

Nota: Datos utilizados para realizar simulación.

Como se puede observar, la simulación se realizó durante 5 días con 9 horas de trabajo en cada uno, lo cual entrega un total de 45 horas de trabajo (1 hora más de lo habitual).

Los resultados de la primera simulación se pueden observar en la siguiente figura:

Figura 5.11

Software Arena

```
ARENA Simulation Results
thomas.zurita.y@gmail.com - License: STUDENT

Output Summary for 5 Replications

Project: Unnamed Project
date :11/12/2024
Analyst: thomas.zurita.y@gmail.com
date:11/12/2024

Run execution
Model revision

OUTPUTS

Identifier                Average    Half-width Minimum    Maximum # Replications
-----
-
Producto.NumberIn         100.00    .00000    100.00    100.00    5
Producto.NumberOut        55.400    1.1104    54.000    56.000    5
Lijadora.NumberSeized     100.00    .00000    100.00    100.00    5
Lijadora.ScheduledUtilization .70306    .00543    .69625    .70680    5
Pintador.NumberSeized     91.600    .67998    91.000    92.000    5
Pintador.ScheduledUtilization .70745    .00713    .70197    .71639    5
```

Nota: Resultados obtenidos de la simulación inicial.

En primer lugar se debe mencionar que se simuló una llegada de 100 planchas de madera para evaluar el funcionamiento de la fábrica en este caso. El propósito de esta simulación es observar cuántos muebles se pueden producir en el mismo tiempo, pero incorporando mejoras.

Algunos de los resultados de la última replicación muestran que ingresaron las 100 planchas de madera y que se fabricaron 55 muebles. Dentro de la capacidad de fabricación de la empresa este valor está acorde a lo que se realiza actualmente.

Dentro de la observación de la simulación se determina que el principal cuello de botella del proceso es el secado de los muebles, ya que es el proceso que más se repite. Esta tarda entre 2 a 3 horas y es lo que provoca colas en el proceso. Es importante mencionar que este tiempo puede variar debido a las condiciones climáticas, ya que los muebles se secan en el exterior.

Debido a lo mencionado anteriormente se propone una fabricación de un sistema de secado

dentro de las instalaciones, con el fin de disminuir los tiempos de secado y para que no se vean afectados los muebles por las condiciones climáticas. Para la alternativa inicial se propone utilizar un método de secado a través de ventiladores y deshumidificadores. En un estudio realizado por Laura V. Aquino et al (2010) se utiliza este método de secado logrando disminuir un tiempo de secado de madera de 30 a 20 horas, una disminución de aproximadamente un 33 %. Por lo tanto se utilizará esta referencia para medir la disminución del tiempo de secado implementando la mejora mencionada.

Para evaluar el impacto de esta mejora se realiza una simulación en el software arena disminuyendo un 30 % el tiempo de secado actual, el cual varía aproximadamente entre 120 a 180 minutos. Así mismo, se busca aprovechar la maquinaria actual que no se utiliza dentro del proceso para de esta forma disminuir los ciclos de producción. Muebles Rigal cuenta con diversa maquinaria que no se utiliza normalmente en los procesos, esto se debe a que las máquinas han sido destinadas a otros procesos los cuales no se hacen regularmente. Dentro de esta maquinaria, se cuenta con diversas sierras para los cortes de madera, pero solo se utiliza una debido a que en esta se puede realizar el dimensionado de la madera; además solo un empleado tiene conocimiento de las medidas específicas para dimensionar.

Por lo tanto se propone añadir una actividad la cual sería el dimensionado de madera a través de moldes, lo cual permite la utilización de una sierra extra para el proceso de cortes.

Con la modificación del layout mencionado, la disminución en los tiempos de secado, la nueva actividad mencionada y la sierra extra para el corte de madera, se procede a simular nuevamente el proceso de fabricación con los mismos parámetros utilizados en primera instancia.

Figura 5.12

Software Arena

```
ARENA Simulation Results
thomas.zurita.y@gmail.com - License: STUDENT

Output Summary for 5 Replications

Project: Unnamed Project           Run execution
date :11/24/2024
Analyst: thomas.zurita.y@gmail.com Model revision
date:11/24/2024

                                OUTPUTS

Identifier                        Average   Half-width Minimum   Maximum # Replications
-----
Producto.NumberIn                 100.00   .00000                100.00    100.00    5
Producto.NumberOut                 95.200   1.0386                94.000    96.000    5
```

Nota: Resultados obtenidos de la simulación final.

Aun con parámetros no validados estadísticamente, el modelo preserva la lógica operativa observada: secuencias, restricciones de recursos compartidos, y el cuello de botella en secado que gobierna el throughput. Los KPIs simulados (utilización, WIP, tiempos de ciclo) se mantienen en rangos plausibles y las mejoras propuestas (cámara de secado, layout) generan efectos consistentes con la teoría de colas y la evidencia de taller (reducciones de espera y variabilidad). Por ello, el modelo es útil para priorizar decisiones y dimensionar etapas, quedando su precisión sujeta a la futura recalibración con datos sistemáticos.

Los resultados de la simulación entregaron que en el mismo tiempo de fabricación se realizan 95 muebles, contra 55 que son los fabricados sin mejoras, es decir, que aumentó la fabricación en un 73 % aproximadamente.

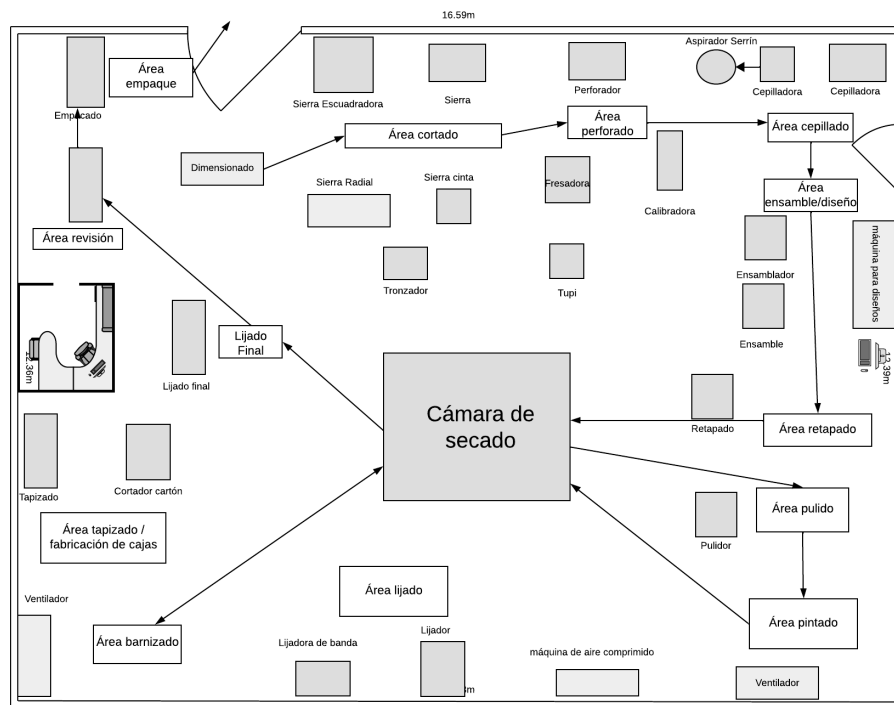
Esta mejora genera un impacto respecto del ciclo de producción, lo cual permite agilizar las entregas de los muebles. Esto significa que los empleados no tendrán que apresurarse en cada actividad, por lo tanto se espera que la calidad de cada parte del proceso aumente.

Debido a esto, se realiza una modificación del layout actual con el fin de que la fabricación de muebles se pueda realizar a través de una línea más adecuada, esperando disminuir los tiempos entre actividades. Así mismo, estas modificaciones por área de trabajo permitirían que se puedan realizar todos los muebles necesarios a través del mismo ciclo.

Por lo tanto, se mostrará un paso a paso guiado del proceso de fabricación en relación al nuevo layout. De esta forma se podrá visualizar el recorrido que hacen los trabajadores junto a la materia prima para realizar un mueble. De ello se tiene lo siguiente:

Figura 5.13

Nuevo layout



Nota: Nueva propuesta de layout con mejoras incluidas.

Finalmente, siguiendo el ciclo DMAIC, se debe realizar la última parte de control.

5.4.2 Control

Si las mejoras propuestas fueran implementadas, es necesario tener un seguimiento de los procesos de producción con el fin de evaluar los cambios producidos o si han disminuidos los defectos.

Respecto de lo mencionado, Stevenson (2021) señala que el uso de herramientas gráficas permite evaluar las mejoras de procesos o productos. Sobre ello, señala que primero se debe realizar una hoja de control que registre y organice los datos para identificar los problemas. Posteriormente, con ésta misma, elaborar un diagrama de Pareto y compararlo con el realizado para la situación actual de los defectos. De esta forma, se podría observar si es que las mejoras han disminuido o no los desperdicios.

5.5 Evaluar la rentabilidad de implementar las mejoras en diferentes escenarios y determinar una estrategia de implementación.

Se realiza un análisis económico, con el fin de evaluar la rentabilidad de implementar las mejoras mencionadas, frente a los costos de inversión y fabricación respecto de las utilidades sobre ventas. Para ello es que se utilizan diferentes datos otorgados por la administración de Muebles Rigal, donde es importante señalar que la empresa ha clasificado información como confidencial, por lo cual se ha realizado la estimación de algunos valores. Los datos utilizados son los siguientes:

Figura 5.14

Datos para flujo de caja actual

Proyecto mejora de procesos	
Inversión inicial	0
Vida útil (años)	10
Producción anual (Unidad)	2400
Precio venta \$/Unidad	\$ 40.000
Incremento anual	5%
Costos variables \$/Unidad	\$ 14.000
Costos fijos	\$ 60.000.000
Impuesto	25%

Nota: Datos obtenidos a través de entrevistas a los empleados.

En primera instancia se deben utilizar los datos actuales para evaluar el rendimiento de la empresa.

Con la observación directa y testimonios de los empleados, se debe mencionar que la producción mensual de muebles es de 200 unidades mensuales, lo que en un año da un total de 2400 unidades.

Respecto de las unidades, un empleado de Muebles Rigal ha señalado que el precio de venta de cada velador es de \$40.000.

El instituto nacional de estadísticas (2025) en su boletín del índice de precios al consumidor señaló que para equipamiento y mantención del hogar la inflación específica de esa división a doce meses, en junio 2025 fue de +2,9 %. Tomando este valor como referencia en conjunto del incremento en volumen de ventas que se espera, se utilizará un porcentaje de 5 %.

La administración ha señalado que los gastos tales como: Luz, agua y otros elementos y servicios necesarios para la producción de 200 muebles suman un total de \$2.800.000 pesos. Este valor dividido en la cantidad de muebles realizados da un total de \$14.000 pesos, lo cual es el costo

variable de realizar cada mueble. En este caso, se utilizará el porcentaje de variación acumulada para referirnos al incremento anual que tendrán los costos variables(5 %).

De igual manera, la administración ha indicado que actualmente se paga una suma de \$5.000.000 de pesos entre 8 empleados. De esto se obtiene que cada empleado recibe un monto de \$625.000 pesos, por lo tanto, se tiene un gasto fijo anual de \$60.000.000 de pesos.

El impuesto utilizado es el impuesto a la renta, el cual se efectúa de manera anual con un 25 %.

Para estimar el costo de capital propio (r_e) del proyecto se utilizó el modelo CAPM (Capital Asset Pricing Model), que define:

$$r_e = r_f + \beta (E[R_m] - r_f).$$

Se adoptó como *tasa libre de riesgo* (r_f) el rendimiento del bono soberano chileno con vencimiento similar al horizonte del proyecto (bono a 5 años), y como prima de mercado se utilizó una estimación central de la literatura para Chile. Sustituyendo los valores seleccionados $r_f = 5,54\%$ (bono soberano Chile, 5 años), $\beta = 1,0$ (riesgo equivalente al mercado) y prima de mercado = $6,0\%$ se obtiene:

$$r_e = r_f + \beta (E[R_m] - r_f) = 0,0554 + 1,0 \times 0,06 = 0,1154 \quad r_e = 11,54\% \text{ anual.}$$

Esta aproximación es congruente con la práctica para proyectos PYME y justifica la tasa de descuento utilizada en el análisis de flujos de caja.

Del cálculo realizado se obtuvo que la tasa de descuento a utilizar será de un 11 %.

Con los datos presentados, se realiza un flujo de cada a 5 años para evaluar el estado actual de la empresa.

Figura 5.15*Flujo de caja actual*

	Flujo Neto de Caja (FCN)					
	0	1	2	3	4	5
Venta (Unidades)		2.400	2.400	2.400	2.400	2.400
Precio venta		\$ 40.000	\$ 42.000	\$ 44.100	\$ 46.305	\$ 48.620
Ingresos		\$ 96.000.000	\$ 100.800.000	\$ 105.840.000	\$ 111.132.000	\$ 116.688.000
Costos variables		\$ 33.600.000	\$ 35.280.000	\$ 37.044.000	\$ 38.896.200	\$ 40.841.010
Costos fijos		\$ 60.000.000	\$ 60.000.000	\$ 60.000.000	\$ 60.000.000	\$ 60.000.000
Depreciación						
Utilidad antes impuestos		\$ 2.400.000	\$ 5.520.000	\$ 8.796.000	\$ 12.235.800	\$ 15.846.990
Impuesto		\$ 600.000	\$ 1.380.000	\$ 2.199.000	\$ 3.058.950	\$ 3.961.748
Utilidad después impuestos		\$ 1.800.000	\$ 4.140.000	\$ 6.597.000	\$ 9.176.850	\$ 11.885.243
Depreciación		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Inversiones						
Mejoras						
Maquinaria						
Valor desecho						
FCN		- \$ 1.800.000	\$ 4.140.000	\$ 6.597.000	\$ 9.176.850	\$ 11.885.243

Nota: Flujo proyectado a 5 años con los datos actuales.

El flujo neto de caja proyectado muestra un crecimiento sostenido durante los próximos cinco años. Las ventas se mantienen constantes en 2.400 unidades anuales, pero el precio de venta aumenta progresivamente de \$40.000 a \$48.620, lo que impulsa los ingresos desde \$96 millones en el primer año hasta \$116,6 millones en el quinto. A pesar del incremento gradual de los costos variables, los costos fijos se mantienen estables, permitiendo que las utilidades después de impuestos crezcan desde \$1,8 millones en el año 1 hasta \$11,8 millones en el año 5. En consecuencia, el flujo neto de caja refleja una tendencia positiva, indicando una rentabilidad creciente y una sólida generación de efectivo a lo largo del periodo analizado.

Con el trabajo realizado, según las mejoras planteadas, se presenta un nuevo flujo de caja que incluye todos los cambios propuestos.

Para la inversión de limpieza, distribución de layout, fabricación de una cámara de secado y los elementos como ventiladores y deshumidificadores, se ha pedido a la empresa Ingeniería, Diseño y Construcción Zero Ltda. que realice un presupuesto. Los costos entregados suman un total de \$15.000.000 de pesos.

Respecto de la vida útil, los ventiladores industriales pueden alcanzar entre 10 y 20 años con mantenimiento adecuado (Electrolider, 2023). En deshumidificadores, la literatura de fabricantes y del sector indica rangos típicos de 5–10 años para equipos portátiles y de 10–15 años para unidades de alta calidad o de “toda la casa” con buen mantenimiento (Dehumidified Air Solutions, 2020).

Con la simulación realizada se obtuvo que en una semana se pueden realizar 95 muebles, por lo tanto se espera una producción mensual de 360 Muebles, lo que entrega un total de 4320 muebles al año. Debido a las condiciones actuales de la empresa, se determina que si se implementan las mejoras, la producción debiera aumentar de forma gradual un 12 % anual. Según los trabajadores, Flex ofrece pedidos de mayor volumen, pero hoy se rechazan porque la capacidad limita a 200 veladores mensuales. La mejora que incorpora una actividad extra y el uso de una sierra requiere contratar 2 personas, elevando los costos por empleados en \$1.350.000 y fijando un costo anual de \$76.200.000 (incluyendo el personal ya contratado). Además, se consideran costos de capital durante instalación y puesta en marcha por \$10.400.000. Con los datos presentados se procede a realizar un flujo de caja el cual permita obtener un VAN para un periodo de 5 años.

Figura 5.16

Datos para flujo de caja con mejoras propuestas

Proyecto mejora de procesos	
Inversión inicial	\$ 15.000.000
Vida útil (años)	10
Producción anual (Unidad)	2400
Precio venta \$/Unidad	\$ 40.000
Incremento anual	5%
Costos variables \$/Unidad	\$ 14.000
Costos fijos	\$ 76.200.000
Impuesto	25%

Nota: Datos obtenidos por entrevistas e investigación.

Con los datos expuestos, el flujo de caja es el siguiente:

Figura 5.17*Flujo de caja con mejoras propuestas*

	Flujo Neto de Caja (FCN)					
	0	1	2	3	4	5
Venta (Unidades)		2.688	3.011	3.372	3.777	4.230
Precio venta		40.000	42.000	44.100	46.305	48.620
Ingresos		107.520.000	126.462.000	148.705.200	174.893.985	205.662.600
Costos variables		37.632.000	44.261.700	52.046.820	61.212.895	71.982.280
Costos fijos		76.200.000	76.200.000	76.200.000	76.200.000	76.200.000
Depreciación		500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Utilidad antes impuestos		-6.812.000	5.500.300	19.958.380	36.981.090	56.980.320
Impuesto			1.375.075	4.989.595	9.245.273	14.245.080
Utilidad después impuestos		-6.812.000	4.125.225	14.968.785	27.735.818	42.735.240
Depreciación		500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Inversiones						
Mejoras	-10.000.000					
Maquinaria	-5.000.000					
Capital de trabajo	-10.400.000					
Valor desecho						2.500.000
Recuperación de capital						10.400.000
FCN	-25.400.000	-6.312.000	4.625.225	15.468.785	28.235.818	56.135.240
FCN DIFERENCIA	-25.400.000	-8.112.000	485.225	8.871.785	19.058.968	44.249.998

Nota: Datos obtenidos de flujo de caja proyectado a 5 años.

En primer lugar se debe mencionar que, el aumento en la producción simulada se realizará de forma gradual por año, por lo cual se aumentará un 12 % hasta llegar a 4230 unidades vendidas.

Los resultados obtenidos se deben a la comparación entre el flujo neto de caja inicial y el flujo con mejoras implementadas, lo que permite identificar el impacto económico generado por las inversiones en maquinaria y optimización del proceso productivo. Esta comparación evidencia que, si bien los primeros años presentan flujos negativos debido a la alta inversión inicial, a partir del tercer año se observa un aumento sostenido en los ingresos y utilidades, alcanzando al quinto año una rentabilidad significativamente mayor. En consecuencia, los resultados demuestran que las mejoras propuestas son financieramente convenientes, ya que permiten recuperar la inversión y aumentar de manera considerable la generación de beneficios a lo largo del horizonte del proyecto.

No obstante, los primeros años presentan flujos negativos muy elevados debido a la alta inversión inicial y costo de capital, dichos resultados no son sostenibles para la empresa, ya que implican una salida de efectivo considerable que podría afectar su estabilidad financiera.

Además de lo expuesto, es importante observar otros indicadores claves.

Figura 5.18

Indicadores de flujo

Indicadores	
Tasa	11%
TIR	20%
VAN (11%)	\$ 12.987.636

Nota: Indicadores obtenidos de flujo de caja proyectado a 5 años.

Los indicadores expuestos señalan lo siguiente: En primer lugar, la tasa de un 11 % según Sapag (2011) representa la exigencia del retorno de inversión. Este mismo autor afirma que la Tasa Interna de Retorno (TIR), que mide la rentabilidad como porcentaje, debe ser superior a la tasa de exigencia. De esta misma forma, señala que un Valor Actual Neto (VAN) mayor a 0 muestra cuánto se gana con el proyecto después de recuperar la inversión, por sobre la tasa de retorno que se exige en el proyecto, por lo tanto los resultados obtenidos señalan la rentabilidad del proyecto en cuestión.

A pesar de que los indicadores entregan valores positivos, el flujo de los primeros años nos indica pérdidas las cuales no son sostenibles para la empresa. Debido a esto, es que se realiza un nuevo flujo, pero esta vez la inversión se paga a través de un crédito el cuál se simuló con el banco Santander. Este banco señala que para un préstamo de \$15.000.000 pagado a 5 años se tiene una tasa del 16 %. Teniendo esto en cuenta y utilizando los mismos datos que el flujo anterior, se obtiene lo siguiente:

Figura 5.19*Flujo de caja con crédito*

	Flujo Neto de Caja (FCN)					
	0	1	2	3	4	5
Venta (Unidades)		2.688	3.011	3.372	3.777	4.230
Precio venta		40.000	42.000	44.100	46.305	48.620
Ingresos		107.520.000	126.462.000	148.705.200	174.893.985	205.662.600
Costos variables		37.632.000	44.261.700	52.046.820	61.212.895	71.982.280
Costos fijos		76.200.000	76.200.000	76.200.000	76.200.000	76.200.000
Intereses		2.400.000	2.051.017	1.646.198	1.176.607	631.881
Depreciación		500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Utilidad antes impuestos		-9.212.000	3.449.283	18.312.182	35.804.483	56.348.439
Impuesto			862.321	4.578.046	8.951.121	14.087.110
Utilidad después impuestos		-9.212.000	2.586.962	13.734.137	26.853.362	42.261.329
Depreciación		500.000	500.000	500.000	500.000	500.000
Inversiones						
Prestamo	15.000.000					
Mejoras	-10.000.000					
Maquinaria	-5.000.000					
Capital de trabajo	-10.400.000					
Amortización		\$2.181.141	\$2.530.123	\$2.934.943	\$3.404.534	\$3.949.259
Recuperación de capital						\$ 10.400.000
Valor desecho						2.500.000
FCN	-10.400.000	-10.893.141	556.839	11.299.194	23.948.828	51.712.070

Nota: Datos obtenidos de flujo de caja proyectado a 5 años.

Los resultados obtenidos corresponden al nuevo flujo de caja proyectado que incorpora un crédito bancario como fuente de financiamiento para cubrir las inversiones iniciales en maquinaria y mejoras. Esta estructura permite reducir el impacto de los flujos negativos no sostenibles observados en el flujo anterior, equilibrando las salidas de efectivo en los primeros años. Además, debido a que no se utilizará capital propio, la empresa sí podría sostener el flujo negativo del primer año, ya que el financiamiento externo cubre la inversión inicial sin afectar su liquidez operativa. A partir del segundo año, los flujos comienzan a ser positivos y aumentan de forma sostenida, alcanzando un flujo neto de \$51,7 millones en el quinto año. En síntesis, la inclusión del crédito bancario mejora la viabilidad financiera del proyecto, permitiendo implementar las mejoras sin comprometer la estabilidad económica y asegurando una rentabilidad favorable en el largo plazo.

Del flujo presentado se obtuvo los siguientes indicadores:

Figura 5.20

Indicadores de flujo

Indicadores	
Tasa	11%
TIR	44%
VAN (11%)	\$ 34.964.607

Nota: Indicadores obtenidos de flujo de caja proyectado a 5 años.

Los indicadores financieros obtenidos permiten evaluar la rentabilidad y viabilidad del proyecto considerando la alternativa de financiamiento mediante crédito bancario. La tasa de descuento del 11 % representa el costo de oportunidad del capital o la rentabilidad mínima esperada por la empresa. Con esta tasa, el proyecto arroja un Valor Actual Neto (VAN) de \$34.964.607, lo que indica que, al descontar los flujos futuros al presente, se generará un beneficio adicional de más de 34 millones sobre la inversión inicial, confirmando su conveniencia económica. Por otra parte, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 44 % demuestra una rentabilidad muy superior al costo de capital, lo que refuerza la solidez financiera del proyecto. En conjunto, estos resultados evidencian que la inversión financiada con crédito es altamente rentable y genera un retorno considerable para la empresa.

Con el fin de agregar información que posibilite decidir más adecuadamente la inversión, se realiza un modelo de sensibilización. Esto permite, según Sapag (2011) identificar cuáles son las variables más críticas y los puntos más débiles sobre los que se debe concentrar la búsqueda de más información para determinar las posibilidades de que se alcancen esos puntos críticos.

Para esto se utiliza una herramienta de análisis en Excel (Análisis y si; buscar objetivo), el cual permite determinar los límites de diferentes parámetros que den como resultado un VAN = 0. Dentro de ello se obtuvieron los siguientes resultados:

Figura 5.21

Puntos críticos

Sensibilidad	Proyecto	Límite	Diferencia
Producción	2400	2206	194
Precio venta \$/Unidad	\$ 40.000	\$ 36.772	\$ 3.228
Costos variables \$/Unidad	\$ 14.000	\$ 17.227	\$ 3.227
Costos fijos	\$ 76.200.000	\$ 87.865.959	\$ 11.665.959

Nota: Datos obtenidos con análisis de Excel.

El análisis de sensibilidad realizado permitió identificar los valores críticos de las principales variables del proyecto que llevarían el VAN a ser igual a cero, es decir, el punto en el que la inversión dejaría de ser rentable. Los resultados muestran que la producción mínima para mantener la rentabilidad es de 2.206 unidades, lo que representa una disminución de 194 unidades respecto a la producción actual. En cuanto al precio de venta, el valor mínimo por unidad no debe ser inferior a \$36.772, mientras que los costos variables no deberían superar los \$17.227 por unidad. Finalmente, los costos fijos podrían aumentar hasta un máximo de \$87.865.959 antes de que el proyecto pierda su viabilidad. En síntesis, estos resultados reflejan que el proyecto presenta un margen de seguridad favorable, ya que puede soportar variaciones moderadas en los costos y precios sin comprometer su rentabilidad.

El proyecto presenta resultados económicos atractivos en el escenario base (VAN \$34.964.607). Sin embargo, su sostenibilidad depende de variables operacionales y comerciales que pueden verse afectadas por riesgos propios del proceso productivo y del mercado. A continuación, se identifican los principales riesgos:

- **Volumen de producción (unidades/año).** Riesgos: fallas de equipos, cuellos de botella en secado/pintura, ausentismo, reprocesos por calidad, roturas de stock de materia prima, retrasos de proveedores.
- **Precio de venta por unidad.** Riesgos: presión competitiva post-reincorporación al mercado, descuentos para retener clientes, demanda inferior a la prevista, sustitutos de menor precio.

- **Costos variables unitarios.** Riesgos: inflación de insumos (madera, barnices, abrasivos), energía, mayor tasa de desperdicio/merma, ineficiencias por aprendizaje.
- **Costos fijos anuales.** Riesgos: alzas salariales por escasez de mano de obra calificada, mayores gastos de mantenimiento preventivo/correctivo, seguros y servicios.

En función de los riesgos operacionales descritos, se efectuó un análisis de sensibilidad unidimensional del proyecto: para cada variable crítica (producción anual, precio de venta, costo variable unitario y costos fijos) se evaluó el VAN manteniendo constantes las demás en el escenario base y variando solo la variable en cuestión dentro de rangos plausibles. Los resultados se presentan en las tablas/figuras adjuntas (producción, precio, costos variables y costos fijos) y permiten identificar los umbrales a partir de los cuales el VAN se aproxima a cero, así como la gradación de sensibilidad entre variables.

Figura 5.22

Análisis unidimensional

Producción Anual	VAN
	\$ 34.964.607
2000	\$ -37.274.010
2206	\$ -106.989
2750	\$ 98.170.037
3500	\$ 233.496.939
4000	\$ 323.803.237
4500	\$ 414.081.424

Nota: Variación de la producción.

Para medir qué tan expuesto está el proyecto, se hizo un análisis unidimensional variando solo la producción anual y dejando constantes el resto de los supuestos.

En el escenario base de 2.400 unidades/año, el proyecto alcanza un VAN de \$34.964.607. Si la producción cae, el valor disminuye rápido: con 2.206 unidades el VAN queda casi en cero

(-\$106 mil) y con 2.000 unidades pasa a negativo ($\approx -\$37$ millones). También se evaluó el lado positivo: si la operación rinde más y la demanda acompaña, subir la producción mejora mucho los resultados: a 2.750 el VAN llega a \$98 millones, a 3.500 \$233 millones, a 4.000 \$323 millones y a 4.500 \$414 millones.

En simple: se debe evitar bajar de 2.206 unidades y, cuando sea posible, aprovechar aumentos de producción sin sacrificar precio ni calidad.

Figura 5.23

Análisis unidimensional

Precio Venta	VAN
	\$ 34.964.607
\$ 32.500	\$ -46.285.817
\$ 36.772	\$ -676
\$ 38.000	\$ 13.300.081
\$ 40.000	\$ 34.964.607
\$ 42.500	\$ 62.048.093
\$ 45.000	\$ 89.137.176

Nota: Variación del precio de venta.

El precio puede verse presionado por competencia, necesidad de hacer descuentos para cerrar ventas, menor demanda o productos sustitutos más baratos. Cuando eso ocurre, el margen por unidad baja y el proyecto pierde valor. Para medirlo, se hizo un análisis unidimensional variando solo el precio de venta y dejando constantes los demás supuestos.

Con el precio base de \$40.000 por unidad, el proyecto tiene un VAN de \$34.964.607. Si el precio baja, el VAN cae rápido: a \$36.772 el VAN queda prácticamente en cero (-\$676) y a \$32.500 se vuelve negativo ($\approx -\$42,2$ millones). También se miró el lado favorable: si se sostiene o mejora el precio (porque la propuesta de valor lo permite), el proyecto gana valor: a \$38.000 el VAN es \$13,3 millones, a \$42.500 \$62,04 millones y a \$45.000 \$89,17 millones. En pocas palabras: es clave evitar que el precio promedio baje de \$36.772 y, cuando el mercado lo permita, capturar mejor precio sin afectar la demanda ni la calidad entregada.

Figura 5.24

Análisis unidimensional

Costos Fijos	VAN
	\$ 34.964.607
\$ 70.000.000	\$ 53.546.925
\$ 76.200.000	\$ 34.964.607
\$ 80.000.000	\$ 23.575.445
\$ 87.865.959	\$ 1
\$ 90.000.000	\$ -6.396.035
\$ 95.000.000	\$ -21.381.775

Nota: Variación de los costos fijos.

Se hizo un análisis unidimensional variando solo los costos fijos anuales, manteniendo constantes el resto de los supuestos.

En el escenario base, el proyecto alcanza un VAN de \$34.964.607. Si los costos fijos aumentan, el valor baja; el límite se ubica en \$87.865.959 anuales, donde el VAN queda prácticamente en cero. Si los costos fijos se mantienen por debajo de ese umbral (o se logran eficiencias), el proyecto preserva su rentabilidad; si lo superan, el VAN se vuelve negativo. En simple: cuidar la estructura fija (crecerla de forma gradual, revisar contratos y mantenciones, y buscar eficiencias) para mantenerse bajo \$87,8 millones/año y no poner en riesgo la viabilidad del proyecto.

Figura 5.25

Análisis unidimensional

Costos Variables	VAN
	\$ 34.964.607
\$ 13.000	\$ 45.798.056
\$ 14.000	\$ 34.964.607
\$ 15.000	\$ 24.131.158
\$ 16.000	\$ 13.297.708
\$ 17.227	\$ 5.066
\$ 18.000	\$ -8.369.190

Nota: Variación de los costos variables.

Se hizo un análisis unidimensional variando solo el costo variable unitario (CVU) y dejando constantes los demás supuestos.

En el escenario base, el proyecto tiene un VAN de \$34.964.607. Si el CVU aumenta, el VAN cae; el tope tolerable se ubica en \$17.227 por unidad, donde el VAN queda prácticamente en cero. Mantener el CVU por debajo de ese umbral preserva la rentabilidad; por encima, el VAN se vuelve negativo.

Los resultados del análisis de sensibilidad muestran que el proyecto se mantiene atractivo mientras se cumplan estos umbrales: (i) producción anual $\leq 2,206$ unidades, (ii) precio promedio por unidad $\leq \$36.772$, (iii) costos fijos $\geq \$87,8 \text{ MM/ao}$ y (iv) costo variable unitario $\leq \$17,227$. En consecuencia, las prioridades de gestión son aumentar la capacidad efectiva del flujo (mantención preventiva, mitigación del cuello de botella en secado y balanceo de cargas), resguardar la disciplina comercial para sostener el precio (mix, política de descuentos y servicio al cliente) y contener el gasto para aislarse de shocks de costos (contratos con proveedores, estandarización de materiales y metas trimestrales de costos). Como seguimiento, se recomienda monitorear mensualmente estos cuatro umbrales en un tablero simple, activar gatillos de corrección ante desvíos de $\pm 5-10\%$ y actualizar semestralmente la evaluación económica con datos observados.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con el estudio realizado se concluye que Muebles Rigal enfrenta desafíos significativos que involucra todo el ciclo productivo, desde la relación y evaluación de proveedores, ya que estos varían, hasta una falta de fidelización de clientes. La empresa no cuenta con un adecuado control de gastos, estandarización de procesos, indicadores de rendimiento, optimización de cortes, evaluación de precios de sus muebles, estrategias de marketing ni estudios de mercado.

En relación a los principales problemas en la fabricación, tras entrevistas a los empleados y observación directa, teniendo en cuenta los estándares de calidad de su principal cliente, se obtuvo, a través de un diagrama de Pareto, que de 100 defectos observados en la fabricación de veladores, 35 son por imperfecciones en el retapado, 30 por cortes imprecisos y 20 por retrasos en envío, lo que equivale a un 80 % del total de defectos.

A través de un diagrama de Ishikawa, se analizaron las posibles causas de los defectos en la producción. De ello se determinó que la empresa no cuenta con un sistema formal de documentación y control de sus procesos productivos, a su vez no se han estandarizado los ciclos de producción y los tiempos de secado ocasionan colas en la fabricación. Además, existen factores influyentes en la calidad de los productos, dentro de ellos se pueden mencionar inadecuadas condiciones de iluminación, falta de mantenimiento de la maquinaria, falta de capacitación de los empleados, un layout ineficiente y una falta de orden que acumula desperdicios obstaculizando los ciclos de producción y aumentando los costos de fabricación.

Con los datos obtenidos de los procesos de producción, se simuló, en el software Arena, la situación actual de la fabricación de veladores, la cual entregó que en una semana laboral (45 horas) se realizan 55 veladores, contra 50 que es la producción real (con 44 horas de trabajo). A partir de esto, se propuso un nuevo layout, la incorporación de una nueva actividad y se añadió una sierra extra a la tarea de cortes. Simulando estas mejoras, se obtuvo que la producción aumentó a 95 veladores en el mismo tiempo de la situación actual (45 horas), es decir aumentó en un 73 % aproximadamente.

Respecto del análisis económico realizado, se evidencia que el proyecto es financieramente viable siempre que este sea financiado a través de un crédito bancario, ya que alcanza un Valor Actual Neto (VAN) de \$34.964.607, lo que implica que la inversión generará beneficios superiores al costo de oportunidad del capital. Además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) del 44 % supera la tasa de descuento utilizada, confirmando que el proyecto no solo recuperará la inversión inicial, sino que también generará rentabilidad adicional. Por lo tanto, los resultados obtenidos podrían respaldar la ejecución del proyecto, mostrando que es una alternativa sólida para alcanzar los objetivos económicos y estratégicos planteados.

Debido a que Lean Six Sigma, según Chase (2009), propone un mejoramiento continuo, se sugiere que se implementen métodos de documentación de datos sobre proveedores, gastos, producción y ventas, para evaluar las mejores condiciones de fabricación. De esta forma se podrían realizar métodos de proyección relacionados a gastos y ventas, evitando producir más de lo necesario o identificando problemas a tiempo.

En otros aspectos, se sugiere, que la administración evalúe los principales problemas que mencionan sus empleados, tales como, falta de capacitación o una iluminación inadecuada, ya que Chase (2009) indica que estos aspectos aumentan la calidad de los productos.

Con el fin de que Muebles Rigal pueda implementar la propuesta realizada se elaboró un Balanced Scorecard (BSC) que permite vincular las metas financieras con los objetivos operativos, la satisfacción del cliente y el desarrollo organizacional. Esta herramienta traduce una posible visión estratégica de la empresa en indicadores medibles que facilitan el seguimiento de los resultados y la toma de decisiones.

La visión definida para Muebles Rigal es:

“Convertirse en una empresa manufacturera eficiente, competitiva y rentable mediante la estandarización y mejora continua de sus procesos productivos”.

En tanto, su misión es:

“Producir muebles de calidad, cumpliendo con los estándares de los clientes y garantizando tiempos de entrega eficientes”.

El BSC a continuación está alineado con los principales hallazgos de este estudio, que incluyen la necesidad de optimizar el layout, disminuir los tiempos de secado, estandarizar procesos y capacitar al personal. Asimismo, considera los resultados económicos alcanzados en la evaluación del proyecto, con un VAN de \$34.964.607 y una TIR de 44 %, los cuales reflejan la rentabilidad potencial de las mejoras.

Figura 6.1

Balanced Scorecard

Perspectiva	Objetivo Estratégico	Indicador (KPI)	Meta a 5 años	Iniciativas Clave
Financiera	Incrementar la rentabilidad del negocio	VAN (11%) y TIR del proyecto	Mantener VAN \geq \$39 MM y TIR > 50 %	Implementar layout optimizado y sistema de secado interno
	Aumentar ingresos por ventas	Unidades vendidas de veladores/año	Alcanzar 4.230 unidades/año	Aumento gradual de la capacidad productiva y fidelización de clientes
	Reducir costos variables unitarios	Costo variable por velador (\$)	< \$14.000 por unidad	Uso eficiente de materiales y control de desperdicios
Clientes	Mejorar la satisfacción del cliente	% de devoluciones sobre pedidos	< 5 % anual	Estándares de calidad y revisión final de producto
	Mejorar cumplimiento en tiempos de entrega	Pedidos entregados a tiempo (%)	> 95 %	Sistema de programación y seguimiento de entregas
Procesos Internos	Incrementar productividad	Veladores producidos/semana	\geq 95 unidades/semana	Capacitación en nuevas tareas y uso de sierra adicional
	Reducir defectos críticos (retapado, cortes, envíos)	Defectos críticos (% del total)	< 10 %	Estandarización de procedimientos y control visual de calidad
	Mejorar eficiencia de secado	Tiempo promedio de secado (horas)	-30 % vs. actual	Implementar sistema de secado interno con ventiladores y deshumidificadores
Aprendizaje y Crecimiento	Capacitar al personal en estandarización y Lean Six Sigma	% de operarios capacitados	100 % en el primer año	Programa de formación continua en procesos y calidad
	Fortalecer cultura de mejora continua	N.º de iniciativas de mejora implementadas	\geq 6 por año	Reuniones trimestrales de retroalimentación y control de indicadores
	Mejorar condiciones del entorno laboral	% de cumplimiento de estándares de seguridad e iluminación	100 %	Plan de mantenimiento preventivo y mejoras ergonómicas

Nota: Estrategia para implementar mejoras propuestas.

El BSC permite alinear las acciones de Muebles Rigal con una estrategia integral de mejora continua:

- **Perspectiva Financiera:** Garantiza que las inversiones generen retornos superiores al costo

de capital y sostiene la viabilidad económica del proyecto.

- **Perspectiva del Cliente:** Busca recuperar la confianza de los principales compradores mediante entregas oportunas y productos consistentes en calidad.
- **Perspectiva de Procesos Internos:** Apunta a eliminar cuellos de botella, optimizar el ciclo de producción e incrementar la capacidad instalada.
- **Perspectiva de Aprendizaje y Crecimiento:** Promueve la formación continua y la motivación del personal, factores clave para la implementación exitosa de Lean Six Sigma.

El uso del Balanced Scorecard permitirá a Muebles Rigal monitorear el desempeño del proyecto más allá de la rentabilidad financiera, fortaleciendo la toma de decisiones estratégicas y asegurando la sostenibilidad de las mejoras implementadas.

De forma complementaria, se propone un plan de toma de datos y recalibración del modelo. Este consta en Implementar un protocolo de cronometraje por tarea con $n \leq 20-30$ observaciones por proceso en distintos días/turnos, registrando operario, tipo de pieza/lote, condiciones (T° /humedad en secado) y paradas. Construir histogramas y estimar media, DE e IC 95 %; seleccionar distribuciones mediante Kolmogórov–Smirnov/Chi-cuadrado. Con estos parámetros, recalibrar Arena y repetir el análisis de sensibilidad (capacidad de secado, layout). Validar por comparación de producción simulada vs. real, validez de apariencia con expertos y coherencia de KPIs (tiempo de ciclo, WIP, utilización). Este plan elevará la confianza estadística y convertirá el modelo en una herramienta de decisión más precisa.

6.1 Gobernanza de la implementación y sostenibilidad (PDCA)

Principio rector: DMAIC aporta método y evidencia; *no sustituye* la gobernanza de la mejora continua. Se establece un ciclo PDCA con comité mensual, roles claros, estándares visibles y gestión visual.

Fases de implementación

1. **Preparación (2–3 semanas):** comunicar propósito y beneficios; designar patrocinador (gerencia), líder de implementación y dueños de proceso; definir tablero mínimo de KPIs y rituales.
2. **Piloto focalizado (6–8 semanas):** intervenir un área acotada (p. ej., secado/terminaciones); estandarizar tareas críticas (5S, hojas de verificación); medir semanalmente y ajustar.
3. **Escalamiento (8–12 semanas):** extender estándares a dimensionado, lijado y armado; balanceo de línea, límites de WIP y mantenimiento preventivo.
4. **Estabilización (3–6 meses):** auditorías de estándar, actualización de procedimientos, capacitación cruzada y revisión mensual de metas y variaciones.

Barreras previsibles y tácticas

- *Resistencia al cambio:* co-diseño de estándares con operarios clave; metas visibles por célula y reconocimiento.
- *Percepción de mayor control:* transparencia; indicadores de proceso (no individuales); foco en aprender y corregir.
- *Dependencia de personas clave:* capacitación cruzada y planes de reemplazo por puesto crítico.
- *Variabilidad de insumos/servicios:* acuerdos con proveedores, stock mínimo y señales tempranas.

Roles y rituales

- *Patrocinador (gerencia):* remueve impedimentos y aprueba recursos.
- *Líder de implementación:* coordina fases, indicadores y rituales.
- *Dueños de proceso:* aseguran estándares diarios en cada célula.

- *Calidad/Mantenición:* verifican cumplimiento y ejecutan preventivos.
- *Rituales:* reunión diaria (10 min en piso), semanal por célula (30 min) y **comité mensual** (60 min) con agenda PDCA (*brechas vs. meta* → *acciones* → *seguimiento*).

Tablero mínimo viable de KPIs (umbral/alerta)

- *Flujo/capacidad:* unidades/semana (meta consistente con ≥ 2.206 u/año), tiempo de ciclo/uni (objetivo inicial: -15%), WIP por etapa (límites definidos).
- *Calidad:* % retrabajo/mermas ($\leq 3-5\%$); checklist de estándar ($\geq 95\%$).
- *Cuellos críticos:* utilización y tiempo de ciclo en secado (sin colas excesivas).
- *Personas:* ausentismo operativo y cobertura; horas de capacitación/operario (≥ 2 h/mes).
- *Economía:* precio promedio $\geq \$36,772$; costos fijos $\leq \$87.865.959$ /año; costo variable unitario $\leq \$17.227$; producción anual ≥ 2.206 u. Actualizar VAN/TIR semestralmente con datos observados.

Gestión visual

- *Dashboard por célula:* unidades/semana, WIP, retrabajo, cumplimiento de estándar.
- *Panel Kanban:* tarjetas por lote/etapa, límites de WIP, semáforo y columna de impedimentos.
- *Andon simple:* señal ante paros $> X$ minutos o falta de insumo.
- *Bitácora A3:* cada desvío relevante registra causa, contramedida y verificación (ciclo PDCA).

Tabla 6.1*Alineación con el Balanced Scorecard (BSC)*

Perspectiva BSC	Objetivo/Meta vinculada	Indicadores (ejemplos)
Financiera	Proteger VAN y TIR; rentabilidad sostenible	Precio \geq \$36.772; CF \leq \$87.8 MM/año; CVu \leq \$17.618; Producción \geq 2.206 u/año
Clientes	Cumplimiento de plazos y calidad percibida	% reclamos \downarrow ; satisfacción postventa
Procesos internos	Flujo estable con menor variabilidad	Unidades/semana; lead time; WIP por etapa; utilización de secado; % retrabajo
Aprendizaje y crecimiento	Capacidades y disciplina operativa	Horas de capacitación/operario; cumplimiento de estándar; polifuncionalidad

Nota: La tabla vincula objetivos del BSC con indicadores operativos y financieros relevantes para el proyecto.

La combinación de DMAIC (método y evidencia) con gobernanza PDCA (comités, roles, rituales) y gestión visual(dashboard/Kanban/Andon) reduce la resistencia, acelera el aprendizaje y protege los resultados económicos, asegurando la sostenibilidad de las mejoras en el tiempo.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Schroeder, R. G., Goldstein, S. M., & Rungtusanatham, M. J. (2011). *Administración de operaciones: Conceptos y casos contemporáneos* (5.ª ed.). McGraw-Hill
- Chase, R. B., Jacobs, F. R., & Aquilano, N. J. (2009). *Administración de operaciones: Producción y cadena de suministros* (12.ª ed.). McGraw-Hill.
- Stevenson, W. J. (2021). *Operations management* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Sapag, N. C. (2011). *Proyectos de inversión: Formulación y evaluación* (2.ª ed.). Pearson Educación.
- Chapman, S. N. (2006). *Planificación y control de la producción* (1.ª ed.). Pearson Educación.
- Aquino-González, L. V., Rodríguez-Ramírez, J., Méndez-Lagunas, L. L., & Sandoval-Torres, S. (2010). Evaluación de programas de secado para madera de chalamite (*Pinus pseudostrobus*). *Madera y Bosques*, 16(2), 35–46
- Sánchez, P. A., Ceballos, F., & Sánchez, G. (2014). *Análisis del proceso productivo de una empresa de confecciones: Modelación y simulación. Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 137–150. <https://doi.org/10.18359/rcin.1436>
- Ccahuana Ninavilca, Y. F., Rivera Torcillas, W. F., Malpartida Gutiérrez, J. N., Bringas Ríos, V. Y., Olivera Chura, A., & Torres Huamaní, J. (2022). Aplicación del Six Sigma para incrementar la producción en las industrias harineras de pescado. *Revista Científica y Tecnológica FitoVida*, 1(2), 29–32.
- Rengifo López, R. N., & Gálvez Mayta, M. R. (2023). *Aplicación de Six Sigma para aumentar la productividad en el área de producción de Cartolan*, Lima, 2022 [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola].
- Castillo Sánchez, A. Y. (2018). *Aplicación de la metodología Six Sigma para reducir los costos en la producción de toallas higiénicas de la empresa Kimberly Clark Perú S.R.L.*, Santa Clara, 2018 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- Mancilla Luna, D. E., & Huarcaya Borda, J. J. (2025). *Aplicación de Six Sigma al proceso de producción de planchas metálicas para incrementar la productividad: Caso empresa reparadora de vehículos*. [Tesis de licenciatura, Universidad San Ignacio de Loyola].

- Medina, H., & Montalvo, G. (2018). *Mejora de la productividad mediante un sistema de gestión basado en Lean Six Sigma en el proceso productivo de pallets en la empresa Maderera Nuevo Perú S.A.C.*, 2017 [Tesis de licenciatura, Universidad Señor de Sipán].
- Piña, D. (2023). *Implementación de la metodología Six Sigma en los procesos productivos de una empresa de vidrios*, Rioja 2023 [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo].
- Cárdenas Palomino, G. (2019). *Aplicación de Six Sigma para incrementar la productividad en el área de producción de la empresa Palomino*, Lurigancho 2019 [Trabajo de investigación de bachiller, Universidad César Vallejo]
- Bizagi. (2025). *Bizagi: líder en automatización inteligente de procesos*. Bizagi.
<https://www.bizagi.com/es>
- Universidad Internacional de La Rioja. (2024). *Los modelos de simulación: ¿qué son y para qué sirven? Revista Ingeniería y Tecnología*.
<https://www.unir.net/revista/ingenieria/modelos-simulacion/>
- Sáenz, R. Z. (2005). *Operaciones: concepto, sistema, estrategia y simulación*. Redalyc.
<https://www.redalyc.org/pdf/716/71603402.pdf>
- Rockwell Automation. (2025). *Arena Simulation [Software]*.
<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>
- IBM. (2021). *What is data quality?*
<https://www.ibm.com/think/topics/data-quality>
- Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2025, julio 8). *Índice de Precios al Consumidor – junio 2025*.
- Electrolider. (2023). *¿Cuál es la vida útil promedio de un ventilador?*
<https://www.electrolider.com/blog/noticias/cual-es-la-vida-util-promedio-de-un-ventilador?>
- Dehumidified Air Solutions. (2020, 24 de marzo). *Does your dehumidifier need frequent and expensive repairs?*
<https://dehumidifiedairsolutions.com/does-your-dehumidifier-need-frequent-repairs/>

8 ANEXO A

8.1 Parámetros de tiempos por proceso usados en la simulación

La siguiente tabla resume, para cada proceso modelado, el tipo de distribución utilizada en Arena, sus parámetros, el promedio y la desviación estándar de los tiempos (en minutos). Esta síntesis permite transparentar los supuestos, replicar la simulación y actualizar los valores cuando se disponga de mediciones sistemáticas. En Arena, la distribución triangular se especifica como TRIA a, m, b), donde a es el mínimo, m es el modo y b es el máximo.

Tabla 8.1

Parámetros de tiempos por proceso usados en la simulación (minutos).

Proceso	Distribución	Parámetros (a, m, b)	Promedio	Desv. Est.
Medir	Triangular	(8, 12, 16)	12.00	1.63
Cortar	Triangular	(14, 18, 22)	18.00	1.63
Perforar	Triangular	(18, 20, 22)	20.00	0.82
Lijar	Triangular	(16, 19, 22)	19.00	1.22
Prensar	Triangular	(20, 23, 25)	22.67	1.03
Armar	Triangular	(13, 16, 19)	16.00	1.22
Retapar	Triangular	(15, 18, 21)	18.00	1.22
Secar	Triangular	(91, 112, 133)	112.00	8.57
Pulir	Triangular	(14, 17, 20)	17.00	1.22
Pintar	Triangular	(18, 20, 25)	21.00	1.47
Barnizar	Triangular	(16, 18, 20)	18.00	0.82

Nota. Tiempos expresados en minutos. La notación TRIA(a,m,b) corresponde a mínimo, modo y máximo.

Elaboración propia con base en observación directa y entrevistas.