Facultad de Ingeniería

Propuesta de mejora de la productividad en el departamento de producción de perfiles de aluminio en la empresa Extrusora de Aluminios S.A

Autores

Diana Marcela Fuentes González

Juan Felipe Jiménez González

Javier Andrés Palacio Jaramillo

Tutor

Ing. Jorge Enrique Rojas Rodríguez. MSc

Universidad El Bosque

Programa de Ingeniería Industrial

Línea de investigación en Diseño, Gestión e Ingeniería de Operaciones

Bogotá D.C., Colombia

2024

Agradecimientos

Agradecemos encarecidamente a nuestro director, profesores, compañeros y sobre todo a nuestras familias por acompañarnos en este arduo proceso de aprendizaje.

Gracias.

1.Introducción 11
2.Formulación Del Proyecto 12
2.1 Identificación 12
2.2 Descripción 13
2.3 Planteamiento 15
2.4 Justificación 15
2.5 Objetivos 15
2.5.1 Objetivo General 15
2.5.2 Objetivos Específicos 16
2.6 Marco Referencial 16
2.7 Antecedentes 16
2.8 Marco teórico 20
2.8.1 Productividad 20
2.8.2 Modelo *Lean* y metodologías de mejora 21
2.8.3 Kaizen 22
2.8.3.1 Diagrama Causa y Efecto 23
2.8.4 Muda 24
2.8.4.1 Diagrama flujo vertical 24
2.8.4.2 Estudio de tiempos 26
2.8.5 Mura 27
2.8.5.1 Mantenimientos 28
2.8.5.2 Diagrama de Gantt 30
2.8.6 Balanceo línea de ensamble 30
2.8.7 Plan maestro de producción (MRP) 32
2.8.8 Análisis de costo beneficio 33
2.9 Marco Legal 35
2.10 Metodología 37
2.10.1 Tipo de investigación 37
2.10.2 Fuentes de información 37

2.11 Alcances y Resultados 39
2.11.1 Conceptual 39
2.11.2 Geográfica 39
2.12 Recursos y Presupuesto 40
2.13 Cronograma 41
3.Diagnóstico 42
3.1 Estructura 42
3.2 Restricciones 44
3.3 Modelo del flujo de material 49
3.5 Pérdidas de productividad por mantenimientos (Mura) 52
3.6 Inestabilidad 55
3.7 Productividad final 57
4.Estrategias para el desarrollo de la propuesta de mejora en la productividad 59
4.1 Introducción y Evento Kaizen 59
4.2 Muda (Flujo de material) 61
4.3 Mura (Tiempo de trabajo) 64
4.4. Plan Maestro de Producción 68
4.5 Límites del Plan de Producción y Recomendaciones 71
5.Análisis de los beneficios y costos de la propuesta 72
5.1 Costos del Proyecto 72
5.2 Beneficios Costo Variables del Proyecto 73
5.3 Análisis Beneficio Costo 74
5.4VAN y Conclusiones 75
6.Conclusiones y Recomendaciones 76
6.1 Conclusiones. 76
6.2 Recomendaciones 76
7.Anexos 78
8.Referencias 85

Lista de tablas

Tabla 1.	Ventas, gastos y estado de la productividad año 2021	16
Tabla 2.	Productividad año 2021	16
Tabla 3.	Ventas, gastos y acumulado de la productividad septiembre 2022	16
Tabla 4.	Productividad año 2021	16
Tabla 5.	Formato Plan Maestro	33
Tabla 6.	Formato Niveles Plan Maestro	33
Tabla 7.	Marco legal	36
Tabla 8.	Matriz Metodológica	38
Tabla 9.	Recursos y presupuesto	40
Tabla 10.	Cronograma Tesis	41
Tabla 11.	Tabla Especificaciones de la Mezcla en Fundición	44
Tabla 12.	Características de Tocho	44
Tabla 13.	Cursograma Analítico	45
Tabla 14.	Tabla Comparación Flujo de Material	46
Tabla 15.	Tabla Flujo de Material	47
Tabla 16.	Producción de Tochos en 2021	51
Tabla 17.	Estudio de Tiempos en segundos Extrusora de Aluminios S.A	52
Tabla 18.	Variables de Productividad V1	53
Tabla 19.	Tabla de información de mantenimiento	54
Tabla 20.	Variables de Productividad V2	56
Tabla 21.	Ventas y costos mes a mes	57
Tabla 22.	Productividad mes a mes	57
Tabla 23.	Resultado de productividad de los procesos seleccionados	58
Tabla 24.	Resultado de productividad de los procesos seleccionados	58
Tabla 25.	Resultado de productividad de los procesos seleccionados	59
Tabla 26.	Resultado de productividad de los procesos seleccionados	59
Tabla 27.	Producción de Tochos año 2024	62
Tabla 28.	Tabla Comparación Flujo de Material 2024	63
Tabla 29.	Variables de productividad 2024 V1	65
Tabla 30.	Variables de productividad 2024 V2	68

Tabla 31.	Resultado de productividad Proyecto de Solución 2024	68
Tabla 32.	Resultado de productividad Proyecto de Solución 2024	68
Tabla 33.	Acciones Por Realizar y Personal de la Idea de Solución 2024	69
Tabla 34.	Plan Semanal 2024	70
Tabla 35.	Plan Maestro de Producción 2024	71
Tabla 36.	Tabla Costos 2024	72
Tabla 37.	Beneficio 2024 a 2026	74
Tabla 38.	Costo beneficio	74

Lista de Figuras

Figura 1.	Pronóstico de demanda de 2001-2024	15
Figura 2.	Algunas Herramientas Lean	23
Figura 3.	Evento Kaizen	24
Figura 4.	Diagrama Causa y Efecto	25
Figura 5.	Símbolos Estándar Diagrama de Flujo	26
Figura 6.	Ejemplo Diagrama de Flujo Vertical	27
Figura 7.	Intervalos Tiempo de Ciclos	28
Figura 8.	Diagrama de Gantt	29
Figura 9.	Requerimientos balance de línea	31
Figura 10.	Tabla de Tareas	32
Figura 11.	Diagrama de Hilos	32
Figura 12.	Resumen Marco Teórico	35
Figura 13.	Imagen Acumulación de Tochos	43
Figura 14.	Diagrama Hilos 2021&2022	48
Figura 15.	Diagrama Causa y Efecto Productividad	49
Figura 16.	Diagrama de Gantt (Aproximación de Plan actual de Mantenimientos)	55
Figura 17.	Pronóstico de demanda de 2001-2024	60
Figura 18.	Evento Kaizen	61
Figura 19.	Diagrama de hilos 2024	64
Figura 20.	Actividades Laborales en 1 Turno 2024	66
Figura 21.	Días de Producción año 2024	67
Figura 22.	Gráfica VAN	75

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA INDUSTRIAL
EVALUACION TRABAJO DE GRADO
FORMATO PGC-F11 - Última actualización 2016-2

FECHA: JUEVES 2 DE MAYO 2024 11:00 AM		TG: 4
TÍTULO DEL TRABAJO DE GRADO: PROPUESTA DE MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD EN EL DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN DE PERFILES DE ALUMINIO EN LA EMPRESA EXTRUSORA DE ALUMINIOS S.A.		
ESTUDIANTE 1: JAVIER ANDRÉS PALACIO JARAMILLO		CÓDIGO:
ESTUDIANTE 2: JUAN FELIPE JIMÉNEZ GONZÁLEZ		CÓDIGO:
ESTUDIANTE 3: DIANA MARCELA FUENTES GONZÁLEZ		CÓDIGO:
DIRECTOR TRABAJO DE GRADO: JORGE ROJAS		
VEEDOR:		CÓDIGO:
JURADO 1: RAY BELLO		
JURADO 2: ELISA NAVARRO		
NOTA OBTENIDA	3.3	TRES PUNTO TRES

Coordinación Trabajo de Grado

Resumen

El siguiente trabajo buscó plantear una propuesta para el mejoramiento de la productividad de la empresa Extrusora de Aluminios S.A. En este contexto se hace uso de distintas metodologías como lean, kaizen y el plan maestro de producción, que al ser implementados ayudarían a reducir las variables detectadas durante el diagnóstico.

En este contexto, en el departamento de producción se identificaron las variables de productividad, estas variables fueron definidas cómo mano de obra fundición, mano de obra extrusión, material estancado promedio y materia prima utilizada. Estas se definieron a través de distintas actividades como lo fueron entrevistas con el gerente de la empresa, diagramas, tablas, cursograma analítico, entre otras.

Teniendo las variables de productividad y sabiendo que el problema tiene origen en la planeación se desarrolla la propuesta de mejoramiento, el cual resulta en una propuesta para el plan maestro de producción en donde para ajustar estas variables se tuvo en cuenta la demanda, la capacidad y los tiempos disponibles, gracias a estos datos límite se realizó una predicción de cómo debería actuar el proceso de fundición para abastecer la reducción de material y así terminar con la reorganización de los espacios de mantenimiento cambiando las horas laborales y determinando el plan semanal junto al plan maestro de producción, pasando de una productividad de 1,16 en 2022 a 1,37 en 2024.

Después, durante el análisis costo beneficio a través de las actividades descritas en el capítulo anterior de la sección 4.4 se establece un costo de implementación de $ 10.843.771 COP con el que se proyecta una utilidad de $ 9.414.468 COP en 2024, $ 18.071.807 COP en 2025 y 6.020.733 COP en 2026 con un valor VAN equivalente a 14.261.681,3 COP.

Palabras clave

Las siguientes palabras claves serán de utilidad para navegar por el documento: productividad, mano de obra, materia prima, alistamiento de mesa y flujo de material.

1. Introducción

EL presente trabajo se centró en la mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A, para ello, durante el primer capítulo se estará estructurando factores y variables que intervengan en el mejoramiento a la productividad en el departamento de producción de perfiles, donde, se encuentra relación con temáticas que ayudan al incremento de la productividad como Lean, Kaizen y plan maestro de producción.

Para ello, se establecieron tres objetivos el cual inicia en el segundo capítulo identificado como diagnóstico, donde se comenzará a tratar los factores que afectan la productividad, por lo tanto, a lo largo del capítulo se resaltan primero algunos de los errores encontrados y después se empiezan a relacionar entre sí, para determinar dos aspectos; el primero relacionado con la búsqueda de las variables de productividad afectadas, Mano de obra, Material estancado, Mantenimientos, y la dirección del problema, lo cual llevará a señalar la planeación cómo principal temática de mejora.

Teniendo la temática y las variables, el tercer capítulo utiliza herramientas que ayuden a tratar la problemática desde una perspectiva Lean, para ello se utilizará cómo marco la metodología Kaizen con un soporte en herramientas de balanceo de línea y MRP. Con base en estas herramientas se logra plantear dinámicas de planificación que ayudarán a manejar el flujo de producción en el tiempo.

Terminando el proyecto, con base en las actividades y necesidades de este, se realiza un análisis de costo beneficio, terminando con algunas conclusiones y recomendaciones relacionadas al proyecto, para que la empresa tenga en cuenta en un futuro sus posibles campos de mejora.

2. Formulación Del Proyecto

2.1 Identificación

En 1990, se le atribuye la creación de la empresa a un joven médico llamado Jairo Jaramillo, el cual inicia con una pequeña comercializadora de Aluminios que le regala su suegro. Jaramillo, a pesar de su éxito en el campo de la medicina, decidió emprender en un proyecto que permitió ampliar sus horizontes y desarrollarse cómo empresario en la industria del aluminio.

> "En un comienzo, la empresa funcionaba cómo comercializadora de aluminio y posteriormente pudo expandirse a ser una empresa ionizadora de aluminio. En 2012, decidió emprender una investigación que tomaría algunos años de experiencia y desarrollo para poder lograr la expansión de la empresa. Para el año 2017 viendo el progreso que se había conseguido, Jaramillo, bajo la razón social de Sunny Group S.A.S logró construir una fábrica extrusora de aluminio llamada Extrusora de Aluminios S.A." (Jaramillo, 2022).

Actualmente, Extrusora de Aluminios S.A es una empresa con más de 5 años de experiencia y trayectoria en la extrusión de perfiles industriales (Exal, 2022). Incluso, está empresa pertenece a un grupo empresarial con más de 25 años de experiencia y trayectoria en el mercado de aluminio. La principal actividad que desarrolla Extrusora de Aluminios S.A es la fabricación y extrusión de barras, tubos y perfiles de aluminio de uso arquitectónico e industrial y cuenta con una sola sede ubicada en la Vía Barranquilla-Galapa Km 2500 Barranquilla, Atlántico (Exal, 2020).

Constituida cómo sociedad anónima S.A esta empresa cuenta con una utilidad operacional del área de producción de $3.269.320\].163,51COP en el año 2021 y un patrimonio neto de $15.000.000.000 COP, además, cuenta con 42 empleados tanto en planta cómo administrativos. El sector de planta también conocido como departamento de producción se divide actualmente en fundición, extrusión, pintado y anodizado. Para llevar a cabo su producción, la empresa ha afianzado una relación con algunos socios comerciales cómo Multialuminios S.A.S y Aluminios del Caribe, sin embargo, la producción va dirigida hacia ellos en un 90%, por otra parte, el restante de la producción va dirigida a las comercializadoras cómo Factoría del Aluminio y Five Inc, Exportación y Alucorp S.A.S, (Angulo, 2022).

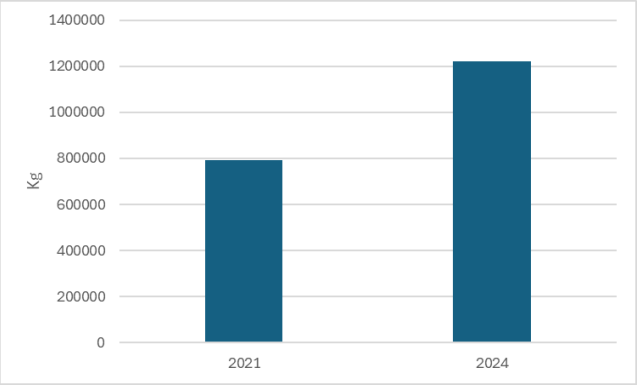
Eventualmente la empresa Extrusora de Aluminios S.A obtuvo una participación en el mercado en Colombia de un 35% y en el sector de la costa un 70%. Por otra parte, sus mayores competidores son las

empresas Alucia, Tecnoglass y Alúmina. Actualmente gracias a su expansión y su asociación con Sunny Group S.A.S la empresa ha logrado llevar su producción fuera de Colombia.

2.2 Descripción

Para iniciar entendiendo la empresa, es importante saber que los niveles de demanda que el departamento de ventas espera para el año 2024 se ve en la figura 1. Con base en la expansión por territorio norte americano alrededor del estado de la Florida en Estados Unidos durante el año 2022.

Figura 1.
Pronóstico de demanda de 2021-2024



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Con el fin de que la expansión de capacidad extrusora ocurra de la mejor manera, la empresa está buscando la mejora en su productividad actual.

Para ayudar a la empresa en este tema lo primero que se debe hacer es considerar el significado de productividad. Heizer & Render (2009, p.14) “La productividad es la relación que existe entre las salidas, bienes y servicios, y una o más entradas, recursos como mano de obra y capital”. Por lo tanto, para medir el valor de productividad el texto menciona que se necesitan valores de salidas y entradas, donde, las salidas se refieren a lo producido por los procesos y las entradas a todos los recursos necesarios para llegar a esa salida.

Gracias a una entrevista dada por Jaramillo (2022) se recolectaron datos relacionados a la productividad. Entre los datos recolectados se encontraron las ventas de producto en términos del precio de venta, después se encontraron los costos operacionales los cuales conformaron la variable de productividad para 2021, tabla 1 y 2, y hasta septiembre de 2022, tabla 3 y 4.

Tabla 1.

Ventas, gastos y estado de la productividad año 2021 (Cifras en COP)

Procesos	M.O	Material	Energía	Capital	Otros
Fundición	$ 149.152.775,88	$ 10.256.287.317,30	$ 599.422.473,60	$ 778.800.000,00	$ 169.576.659,62
Extrusión	$ 263.033.988,00	$ 341.876.243,91	$ 524.494.664,40	$ -	$ 423.941.649,05
Pintado	$ 142.638.533,45	$ 227.917.495,94	$ 149.855.618,40	$ -	$ 593.518.308,67
Anodizado	$ 49.704.545,45	$ 569.793.739,85	$ 224.783.427,60	$ -	$ 508.729.978,86
Total	$ 604.529.842,79	$ 11.395.874.797,00	$ 1.498.556.184,00	$ 778.800.000,00	$ 1.695.766.596,21

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 2.

Productividad año 2021(Cifras en COP)

Costo operacional	$ 15.973.527.420,00
Ventas	$ 19.242.847.583,51
Productividad	1,204671146

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 3.

Ventas, gastos y acumulado de la productividad septiembre 2022 (Cifras en COP)

Procesos	M.O	Material	Energía	Capital	Otros
Fundición	$ 111.864.581,91	$ 10.310.267.727,00	$ 599.422.473,60	$ 778.800.000,00	$ 89.289.232,67
Extrusión	$ 197.275.491,00	$ 343.675.590,90	$ 524.494.664,40	$ -	$ 223.223.081,67
Pintado	$ 106.978.900,09	$ 229.117.060,60	$ 149.855.618,40	$ -	$ 312.512.314,34
Anodizado	$ 37.278.409,09	$ 572.792.651,50	$ 224.783.427,60	$ -	$ 267.867.698,01
Total	$ 453.397.382,09	$ 11.455.853.030,00	$ 1.498.556.184,00	$ 778.800.000,00	$ 892.892.326,70

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 4.

Productividad año 2022(Cifras en COP)

Costo operacional	$ 15.079.498.922,79
Ventas	$ 17.503.469.368,85
Productividad	1,160746087

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

De los anteriores datos se observó que la empresa ha estado enfocada en aumentar sus niveles de productividad, sin embargo, no se ha logrado con éxito, pues la productividad del año 2021 es mayor a lo acumulado del año 2022 y cuando se observa la productividad mes a mes durante estos años se ve inestable por sus cambios abruptos durante algunos meses, esto se puede observar más a detalle en el Anexo G. Lo que resulta en una situación negativa para la empresa, donde la utilidad operacional pasó de $ 3.269.320.163,51 en 2021 a $ 2.423.970.446,06 en lo transcurrido del 2022.

2.3 Planteamiento

¿Qué acciones y estrategias hay que emplear con el fin de mejorar el nivel de productividad en el departamento de producción de perfiles de aluminio en la empresa Extrusora de Aluminios S.A?

2.4 Justificación

Una empresa necesita para su buen funcionamiento que su proceso productivo se realice de la forma más eficiente posible. Es por esto, por lo que la empresa de Extrusora de Aluminios S.A después de tener una disminución en el valor de productividad llegando 2022, podría aprovechar el siguiente trabajo para dar solución a aquellos problemas.

Esta investigación es importante para los estudiantes de ingeniería industrial, ya que les permite aplicar los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera aplicando algunas de las herramientas de ingeniería estudiadas. Con la finalidad de aportar a empresas cómo Extrusora de Aluminios S.A que pueden ayudar a prepararse en un contexto más realista.

Igualmente, para la universidad es relevante que sus estudiantes se enfrenten a problemáticas que los lleven a aplicar todos los conocimientos adquiridos, que necesiten y se vean obligados a buscar e investigar ya que en la práctica las respuestas no están escritas; en otras palabras, la creatividad y la seriedad con la que se trabaja un proyecto de mayor complejidad ayuda en forma de experiencia de vida para el futuro cómo trabajadores de la sociedad.

2.5 Objetivos

i. 2.5.1 Objetivo General

Diseñar una propuesta de mejora que permita aumentar la productividad en el departamento de producción de perfiles de aluminio en la empresa Extrusora de Aluminios S.A.

ii. 2.5.2 Objetivos Específicos

- Desarrollar un diagnóstico que permita determinar el estado actual de la productividad en el departamento de producción en la empresa Extrusora de Aluminios S.A. y comprender las causas que inciden en su inestabilidad.

- Elaborar una propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A con el fin de alcanzar un progreso en la productividad en el departamento de producción.
- Evaluar los costos y beneficios que conlleva el desarrollo de la propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A.

2.6 Marco Referencial

A continuación, se presentan los antecedentes encontrados y posteriormente se describe el marco teórico y legal del proyecto basándose en la investigación de diferentes propuestas de mejoramiento en la productividad, identificando conceptos y herramientas claves que permiten el desarrollo de la investigación.

2.7 Antecedentes

Según Ordoñez y Milques (2019) en su proyecto "Propuesta de mejora de la productividad en la empresa industrias Romil S.A.S" cuando una empresa opta por tener una ventaja competitiva esta debe tener una mejora continua en sus procesos. Cuando se diseña la propuesta de mejoramiento a estos procesos hay que tener presente cuál es la situación actual de la empresa, las necesidades, los recursos y demás. Esta situación se tiene clara mediante la aplicación de herramientas de ingeniería las cuales permiten diagnosticar correctamente dicha situación. Debido a esto, en su proyecto se propone una secuencia estructurada de metodología relacionadas a *Lean Manufacturing* e Ingeniería Industrial para el aumento de la productividad en la empresa seleccionada, esto, ajustado a las características y necesidades que salieron cómo resultado del diagnóstico de la situación de la empresa previamente realizado. En conclusión, con la propuesta en marcha surgieron mejoras significativas que permitieron disminuir los altos costos de venta que se observaron en la empresa, lo cual, a futuro aumentará la competitividad y la supervivencia en el mercado. Este trabajo aporta a la investigación presente debido a que muestra las características de *Lean Manufacturing,* el cómo se puede emplear en una empresa, los beneficios que traería la implementación de la metodología en las empresas con problemas o baja productividad.

Arica y Llagas (2021) realizan en su investigación acerca de la mejora para aumentar la productividad en la empresa Serflex S.A.C la implementación de la metodología Lean Manufacturing y la gestión por procesos la cual fue modelo conciso para la identificación de problemas. También

realizaron entrevistas al personal a cargo del área de producción y la gerencia para saber más acerca del contexto de la empresa. Esta metodología fue escogida debido a que la empresa es pequeña y no requiere de una metodología compleja, trayendo así para la empresa una reducción de costos y mejora en sus procesos. Debido a esto se logró incrementar la productividad a 0.091 Und/sol, el cual era el objetivo de la investigación, además, se logró la disminución de las prendas reprocesadas. En conclusión, a lo obtenido en este trabajo y en relación con el uso de *Lean Manufacturing*, este tipo de metodologías ayudan a analizar diversos puntos críticos en la empresa aumentando la productividad y disminuyendo defectos.

En su publicación Chukwulozie, Nnaemeka, y Chigoziri (2018) dicen que la productividad es una herramienta de medición que determina la eficiencia de la organización en términos de la relación de producción con respecto a los insumos utilizados. Por lo tanto, en las operaciones, los gerentes necesitan llevar a cabo una revisión regular de todos estos factores para mantener y mejorar la productividad. Por tanto, la productividad y la calidad son componentes integrales de estrategias operativas de las organizaciones y para lograr el objetivo de entrega de productos de calidad y alto nivel de productividad, la gestión de la organización debe esforzarse por considerar la inversión en recursos humanos para capacitar a su personal en diversas gestiones de calidad tanto la técnica cómo la productividad. En conclusión, debido a que se detectaron algunos problemas relacionados a la mano de obra durante el proceso de producción y además se habla de componentes integrales de estrategias operativas para el logro de entrega de productos de alta calidad y una optimización alta de la productividad, este documento sirve cómo guía para el desarrollo de la presente actividad.

En el trabajo de grado titulado “Plan de mejoramiento del proceso productivo para la empresa Comodidad y Lujo.” por Bernad y Gómez (2019) se utilizó las metodologías de seis sigma y LEAN manufacturing con el fin de lograr un mejoramiento de la productividad, el cual los llevó a mejorar en un 41% los recorridos de diferentes productos de carpintería. En conclusión, debido a la propuesta de mejora implementada, se logró aumentar la productividad parcial de los productos estudiados, así como la disminución de tiempos improductivos. Por lo que se puede tomar como base para el trabajo las diversas metodologías para la solución del problema de estudio.

Según Benavides, Cucaita y Gómez (2023) en su proyecto titulado “Propuesta de mejora para el proceso de producción en la planta de espumas de poliuretano flexible de Colchones Paraíso” se tuvo

como objetivo “Elaborar una propuesta que permita incrementar la capacidad de producción de espuma flexible de poliuretano en la empresa Colchones Paraíso” y para ello se hace uso de diferentes herramientas de ingeniería, donde lo más relevante es el uso de la metodología Lean Kaizen como base para usar herramientas *lean* u otras. Con el uso de aquellas herramientas se concluyó que, las 7 mudas clasificadas podían trabajarse con el fin de establecer una reducción de 1.5 horas al proceso, lo cual terminaría en una posible expansión de 15 bloques.

Según Moreno, Reina, Suarez y Zuluaga (2020) en proyecto titulado “Plan de Mejoramiento para la minimización de mudas en el proceso de manufactura de Inarplas” se tuvo como objetivo “Diseñar un plan de mejoramiento para la minimización de mudas en los procesos de manufactura en la empresa Inarplas” y para ello se hace uso de varias herramientas *lean*, entre ellas, lo más importante es el uso de kaizen cómo base, para poder complementar con otras herramientas *lean* cómo las 5 s. De esta manera terminaron concluyendo que la minimización de mudas ayuda a producir 80 unidades adicionales.

Fernández (2020) en su trabajo de grado “Propuesta de diseño y estandarización de los procesos de producción en la empresa Agentes M SAS” desarrolló las problemáticas enfocadas a la productividad, haciendo énfasis en los tiempos producción, actividades y enfoque productivo. La utilización de manufactura esbelta, levantamiento de procesos, diseño del puesto de trabajo, cronograma de actividades y otras herramientas para tratar con la problemática, además de la estandarización de sus procesos de producción con base en la división por etapas en las que se determinó un tiempo estándar para cada una logrando la reducción del 37% del tiempo de producción actual. Esta mejora se logró gracias a que se llegó a la conclusión de que la ausencia de planeación de pedidos, de plan de mantenimientos correctivo y de mejora de equipos ocasiona que se acumulen las solicitudes y se generan tiempos improductivos por las fallas de los equipos. Por lo tanto y viendo cómo la empresa incurre en tiempos improductivos y mantenimientos correctivos, puede ser de utilidad cómo ejemplo para este trabajo.

Latorre, Peña y Calvo (2023) en su trabajo de grado titulado “Modelo de Programación de la Producción en Células de Trabajo en el Proceso de Selección y Empaque de Hierbas Aromáticas de la Empresa Agrifresh S.A.” utiliza el método Kaizen con el fin de “Proponer un modelo para la programación de la producción en células de trabajo en el proceso de selección y empaque de hierbas aromáticas de la empresa Agrifresh S.A. con el fin de incrementar la productividad de la mano de obra.”

En este caso se utiliza el kaizen cómo base para centrar su trabajo en las mudas que tiene la empresa y así con el apoyo de herramientas de programación lineal se logró reducir horas laborales, horas extra, tiempos muertos y el número de personas por célula de trabajo.

Rodríguez (2018) en su tesis nombrada “Implementación de la metodología Kaizen para incrementar la producción en el área de operaciones de la empresa taller de confecciones san Luis S.A” con la utilización de esta metodología se pretende usar herramientas de gestión para un mejor monitoreo y control, con el fin de mejorar la productividad de la empresa sin caer en costos excesivos. Como conclusión principal del trabajo, se puede decir que la estandarización de procesos permite tener la trazabilidad de un producto y un mejor control de personas responsables de cada proceso y así poder tomar medidas correctivas en caso de error o realizar mejoras cada vez que se requiera.

Por otra parte, Amortegui, Aunta y Hernadez (2019) con su trabajo titulado “Modelo de Programación de la Producción para la Máquina de Corte Refiladora T8: Caso de Estudio Espumas Santafé de Bogotá SAS” con el objetivo de “Diseñar el modelo de planeación y control de la producción para los productos estratégicos en la empresa Ingeniería de Estructuras Metal Asset.”. El anterior trabajo se relaciona con el nuestro a través del problema de la producción el cual se enfoca en la poca planeación presente de la empresa, por lo tanto, aunque nuestro enfoque es la productividad, las herramientas utilizadas para atacar este problema incluidas en el MRP pueden ser complementos interesantes por tener problemas similares.

Ahora, teniendo en cuenta que la búsqueda de antecedentes se enfocó en proyectos relacionados con el mejoramiento de productividad, por lo tanto, los antecedentes han mostrado que algunas de las mejores herramientas para solucionar problemas de productividad se relacionan con herramientas Lean, sin embargo, Lean se basa en un repertorio de metodologías y herramientas muy amplio, por lo que si se tiene en cuenta que la empresa tiene también problemas para abastecer la demanda de producto con la ya mencionada, expansión del mercado y se identifica que algunos trabajos de grado al acercarse a esta problemática utilizaban como base el Kaizen, complementando con herramientas cómo las 5 S, Kanban, diagramas de flujo y otros para dar respuesta a la problemática. Por otro lado, no solo Lean se utilizarán para resolver problemas de productividad, también se encontraron herramientas como el MRP que se observó en otros trabajos de grado cómo soporte para establecer un mejor flujo de material para no tener costos innecesarios, estas sería un perfecto complemento para el uso de Lean *manufacturing*.

2.8 Marco teórico

A continuación, se estarán describiendo los conceptos necesarios para tratar las problemáticas, donde se utilizará el modelo *lean manufacturing* y con base en su estructura, se establezcan otras herramientas que ayuden a sustentar la estructura de definición de variables e ideas de solución.

iii. 2.8.1 Productividad

"La productividad es la relación que existe entre las salidas, bienes y servicios, y una o más entradas, recursos como mano de obra y capital" (Heizer & Render 2009, p.14)

La medición de la productividad puede realizarse en horas-trabajo por tonelada, dependiendo del tipo de insumo con el que se esté trabajando. A pesar de esto, las horas-trabajo representan una medida común de insumo, pueden usarse otras medidas cómo el capital, los materiales o la energía. La ecuación estándar de la medición de la productividad corresponde a la siguiente ecuación. (Heizer & Render 2009, p.15)

Ecuación 1.
Productividad

$$Productividad = \frac{Unidades\ producidas}{Insumo\ empleado}$$

Fuente: Heizer & Render (2009).

Para un trabajo más amplio, existe la posibilidad de medir la productividad de múltiples factores. Esta medición incluye todos los insumos o entradas. La productividad múltiple se calcula combinando las unidades de entrada cómo se muestra en la siguiente ecuación. (Heizer & Render 2009, p.15)

Ecuación 2.
Productividad más detallada

$$Productividad = \frac{Salida}{Mano\ de\ obra + Material + Energía + Capital + Otros}$$

Fuente: Heizer & Render (2009).

iv. 2.8.2 Modelo *Lean* y metodologías de mejora

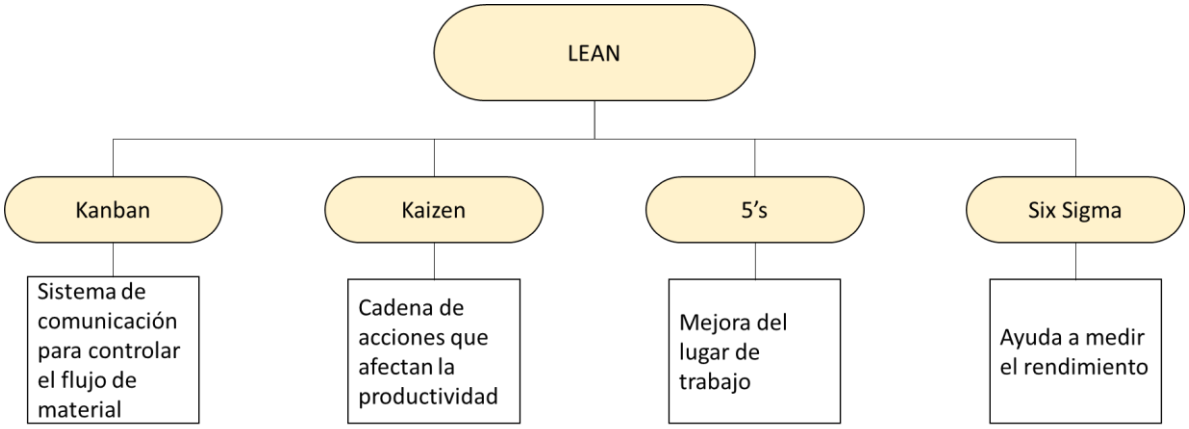
A partir de lo que se plantea en el libro "*Lean Manufactoring Step by Step por Socconini"* (2020, p.22) "*lean manufacturing* es el nombre dado al sistema *just in time* y puede ser identificado cómo un modelo que permanentemente hace eliminación de los desechos y excesos". Entendiendo cómo exceso cualquier actividad que no agregue valor al proceso.

Para desarrollar esta metodología se buscan los siguientes objetivos:

Primer objetivo: el diagnóstico busca las variables de productividad.

Segundo objetivo: busca la eliminación de los desechos y excesos al elegir una metodología o herramienta *lean* la cual se adapte estas variables.

Figura 2.
Algunas Herramientas Lean



Fuente: "*Lean Manufacturing*" Step by Step (Socconin, 2020)

v. 2.8.3 *Kaizen*

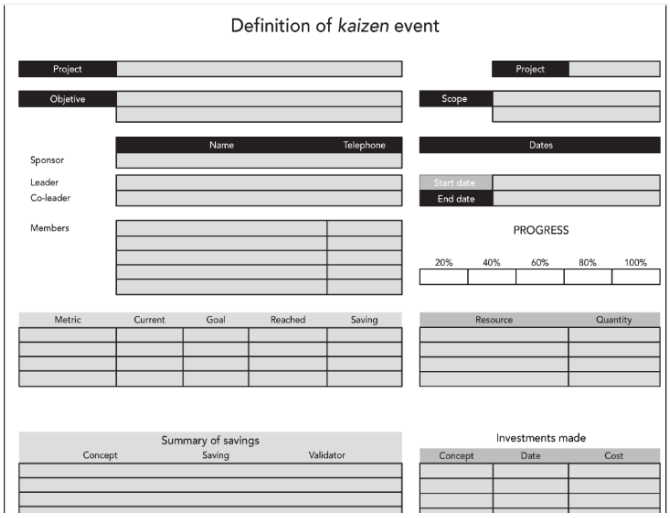
La metodología puede verse cómo "una cadena de acciones llevada por equipos de trabajo que buscan mejorar los procesos. A través de acciones, los dueños del proceso y los operadores podrán ejercer mejoras en el lugar de trabajo, el cual resulta en mejoras de productividad" (Socconin, 2020, p.116).

En otras palabras, es una metodología perteneciente a Lean que busca mejorar la productividad en procesos ya existentes.

Para llegar a la mejora de productividad, el pensamiento Lean *kaizen* propone dividir en tres secciones los problemas: *muda, mura y muri*. Teniendo en cuenta la estructura, donde se busca entender a los empleados, sus responsabilidades y posición organizacional. Además del diseño, donde se busca entender el producto de tres maneras dependiendo del proyecto, la primera desde la perspectiva del cliente, la segunda desde la perspectiva del proveedor y la tercera desde la perspectiva del proceso.

Por otra parte, con el fin llevar a cabo la mejora de estos objetivos se plantean actividades que estén basadas en un evento *kaizen*, el cual es ejemplificado en la siguiente figura.

Figura 3.
Evento kaizen



Fuente: Lean Manufacturing Step by Step (Socconin, 2020)

Por último, es importante establecer que el evento *kaizen* tiene como propósito encaminar la solución de los problemas enfocados en las *mudas, muras* y *muris*. Las cuales se explicarán más adelante, sin embargo, se puede resumir que las *mudas* ayudan a enfocar el problema desde una perspectiva de la reducción de desperdicios o sobrantes, después las *muras* enfocan los aspectos de la problemática desde una perspectiva de variabilidad y por último las *muris* observan la problemática desde una perspectiva de condiciones de trabajo. En este contexto, es importante aclarar que las *mudas, muras y muris* son solo un enfoque, por lo que para poder desarrollarlos de una manera más cuantitativa se necesitan otras herramientas cómo diagramas, tablas, estudios y otros, los cuales también se desarrollarán más adelante.

vi. 2.8.3.1 Diagrama Causa y Efecto

El diagrama de causa y efecto permite ver cómo la variable de estudio se conecta a las problemáticas.

El diagrama causa y efecto también conocido como diagrama Pareto se describe cómo “una comparación ordenada de factores relativos al problema” (Stachú, 2009, p.4). Por lo tanto, para poder llevarlo a acabo se hace uso de los siguientes pasos:

a) Ponerse de acuerdo en la definición del efecto o problema

b) Trazar una flecha y escribir el efecto del lado derecho

c) Identificar causas principales a través de flechas secundarias terminan en la flecha principal

d) Identificar causas secundarias que terminan en las flechas secundarias

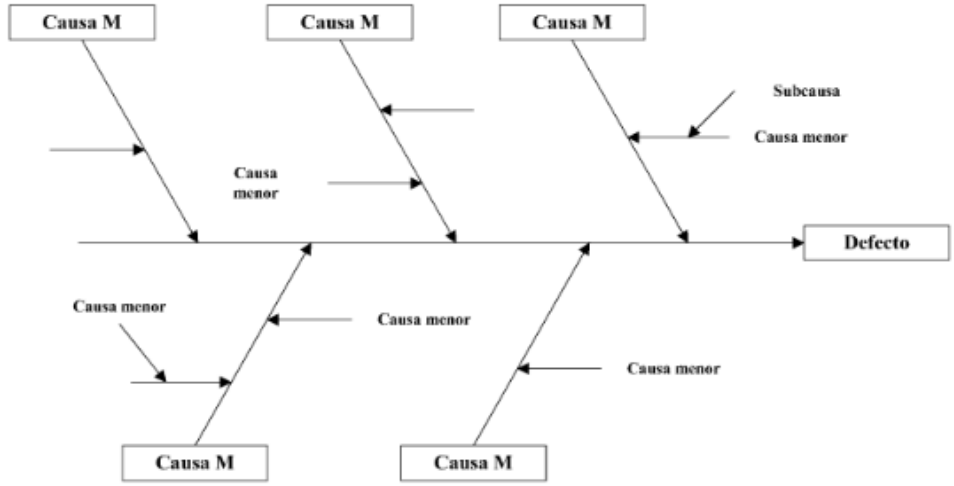
e) Asignar la importancia de cada factor

f) Definir los principales conjuntos de probables causas: materiales, equipos, métodos de trabajo, mano de obra, medio ambiente.

g) Marcar los factores importantes que tienen incidencia significativa sobre los problemas

h) Registrar información de utilidad.

Figura 4.
Diagrama Causa Y Efecto



Fuente: Walter Stachú, S (2009)

vii. 2.8.4 *Muda*

La sección de muda busca reducir desperdicios, durante este paso se trata de entender lo que ocurre durante el proceso, para ello se debe observar el flujo de material y el rendimiento de las operaciones. Por lo tanto, se utilizarán herramientas de ingeniería cómo un diagrama flujo de procesos, estudio de tiempos y *tack time*.

viii. 2.8.4.1 Diagrama flujo vertical

"El diagrama de flujo es una mezcla de símbolos y explicaciones que expresan secuencialmente los pasos de un proceso, de forma que este se comprenda más fácilmente" (Gutiérrez, 2009, p.2).

Para estos diagramas es importante tener en cuenta la simbología la cual se ve reflejada en las siguientes figuras:

Figura 5.
Símbolos Estándar Diagrama de Flujo

Símbolo	Significado
	Origen
	Operación
	Inspección
	Transporte
	Demora
	Almacenamiento
	Almacenamiento Temporal

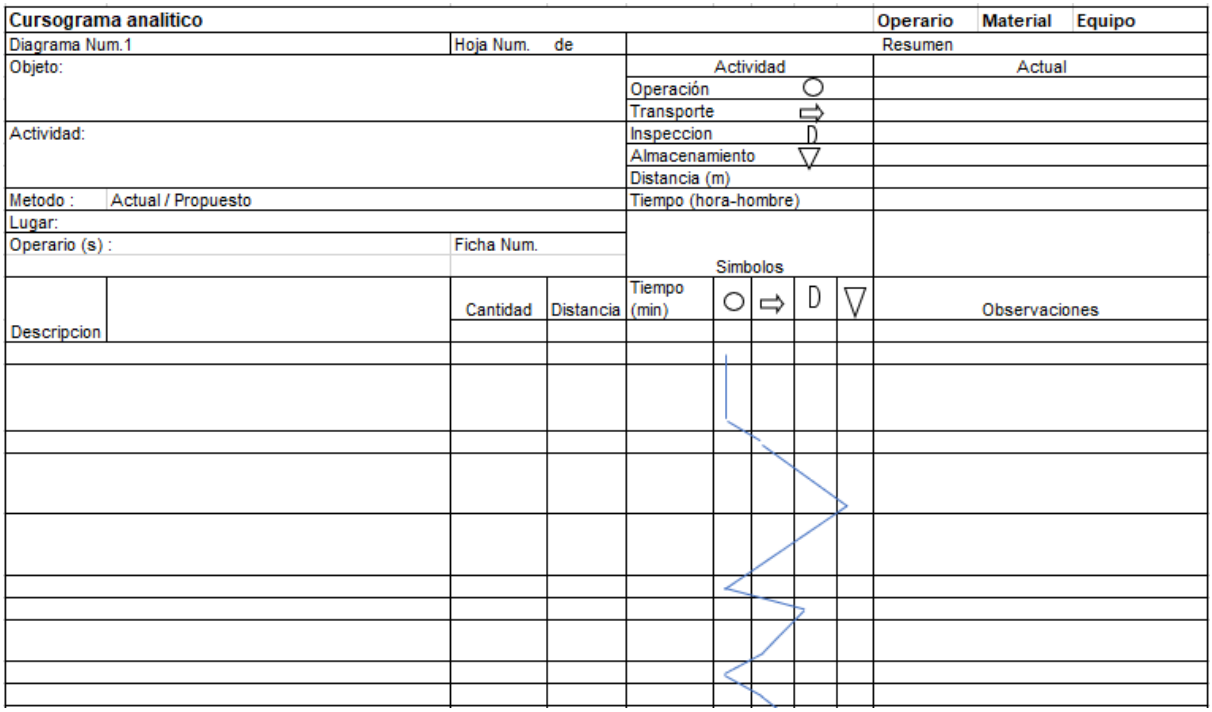
Fuente: Gutiérrez (2009)

Los pasos necesarios para realizar el diagrama de flujo por procesos son:

a) Estructurar el encabezado con la información de los posibles símbolos.
b) Recolectar información para describir los pasos del proceso.
c) Se conecta la información de forma secuencial con el uso de líneas y puntos como se ve en la figura 6.

Figura 6.

Ejemplo Diagrama de Flujo Vertical



Fuente: Gutiérrez (2009)

ix. 2.8.4.2 Estudio de tiempos

El estudio de tiempos "implica medir el tiempo de una muestra del desempeño de un trabajador y usarlo para establecer un estándar" (Heizer & Render, 2009, p.413)

Del libro de Heizer & Render (2009) se puede resumir que los pasos para realizar un exitoso estudio de tiempos son:

a) Establecer la operación, fecha y el operador.

b) Seleccionar metodología cómo regresión a cero o continúo dependiendo de la longitud entre las mediciones, ya que la regresión a cero suele utilizarse para los tiempos más divididos, y continuo, suele utilizarse en casos donde las mediciones ocurran en intervalos cortos de tiempo.

c) Elegir la herramienta de toma de tiempos cómo cronómetro o celular.

d) Establecer el número de ciclos con apoyo de la siguiente información (figura 7)

Figura 7.
Intervalos Tiempo de Ciclo

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

Fuente: Heizer & Render (2009).

e) Registrar durante la operación la C, calificación, TO, tiempo observado y TN, tiempo normal

f) Resumir los datos

x. 2.8.5 *Mura*

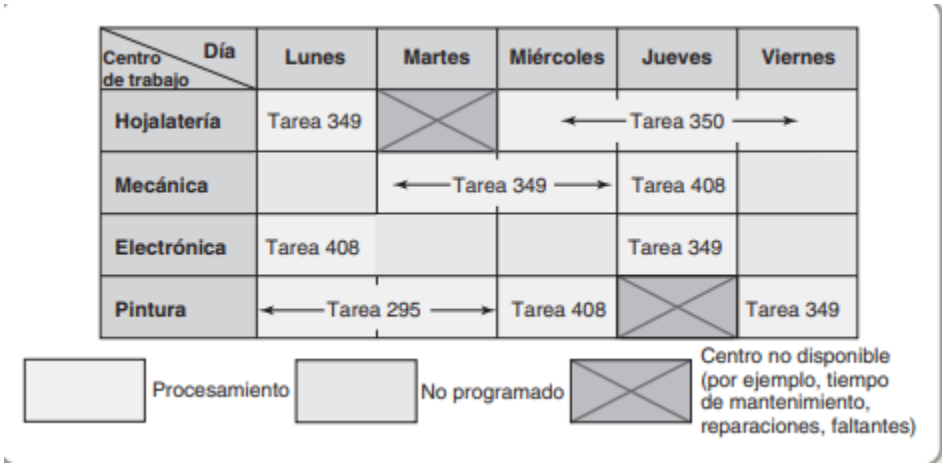
La segunda sección busca la reducción de variabilidad, por lo tanto, durante este paso se debe observar lo que ocurre durante el proceso de manera que se logre entender las estrategias en el tiempo.

Algunas de las actividades que pueden consumir tiempo adicional son los mantenimientos, por lo tanto, se busca reducir la variabilidad debido a mantenimientos. Ya que de ello depende en gran medida que la planta física se conserve en buena condición de operación y que los trabajadores tengan que realizar o no, horas extra.

xi. 2.8.5.2 Diagrama de Gantt

Los mantenimientos tienen que ir en secuencia con la producción, es por esto, por lo que se usarán horarios para planificar estas secuencias utilizando la herramienta de diagrama de Gantt (figura 8). Las gráficas de Gantt son una ayuda visual muy útil para determinar las cargas de trabajo y la programación. Las gráficas muestran el uso de los recursos; por ejemplo, los centros de trabajo y la mano de obra. Una gráfica de Gantt de programación se usa para vigilar el avance de los trabajos; indica qué tareas están a tiempo y cuáles están adelantadas o atrasadas.

Figura 8.
Diagrama de Gantt.



Fuente: Heizer, J. & Render, B. (2009)

xii. 2.8.5.1 Mantenimientos

"El mantenimiento industrial es una disciplina que se relaciona con todas las demás disciplinas involucradas en el proceso de producción industrial" (Gonzáles, 2013, p.11).

El mantenimiento correctivo es el conjunto de acciones encaminadas a reparar las averías o fallas que se presentan en los equipos o en las instalaciones de la empresa cuando estas han perdido operatividad y es necesario detener la máquina o instalación dañada.

El proceso que se debe seguir cuando ocurre una falla que no se tenía prevista es el siguiente:

a) Las fallas suelen manifestarse durante la operación, y en algunas ocasiones se descubren al realizar una inspección.

b) Se solicita la ejecución del trabajo por los medios y procedimientos establecidos.

c) Dependiendo del tipo de falla, el responsable del mantenimiento ordenará el análisis que debe ser ejecutado por una persona suficientemente capacitada para:

d) Inspeccionar el equipo, la instalación o el vehículo +» Detectar la falla» Planear el trabajo necesario para corregir la falla + Estimar la mano de obra necesaria + Estimar el material necesario

e) En el momento oportuno, el encargado del mantenimiento ordenará la ejecución del trabajo con mayor o menor grado de supervisión.

f) Ejecutado el trabajo, personal de mantenimiento debidamente calificado hará la inspección final, la cual puede incluir pruebas de funcionamiento.

g) Se entrega el equipo o la máquina, así como las instalaciones, en condiciones de seguir operando en forma segura y eficiente.

El mantenimiento preventivo es un procedimiento programado que previene la ocurrencia de fallas. Sus principales actividades se centran en la limpieza, la lubricación, el recambio programado de piezas y los ajustes en el equipo; estas actividades se realizan de manera periódica, se controlan con base en el tiempo y se establecen mediante inspecciones, medidas y el control de las condiciones de los equipos.

Para implementar un buen programa de mantenimiento preventivo lo más recomendable es empezar por reducir o eliminar las actividades innecesarias de mantenimiento.

a) Estandarización

b) Fiabilidad y mantenibilidad

c) Partes que requieren de algún tipo de servicio

d) Capacitación

e) Documentación

f) Herramientas especiales y equipo de prueba

g) Seguridad

El mantenimiento predictivo o mantenimiento basado en la condición, se apoya en un conjunto de actividades que permiten predecir y prevenir el desarrollo de fallas.

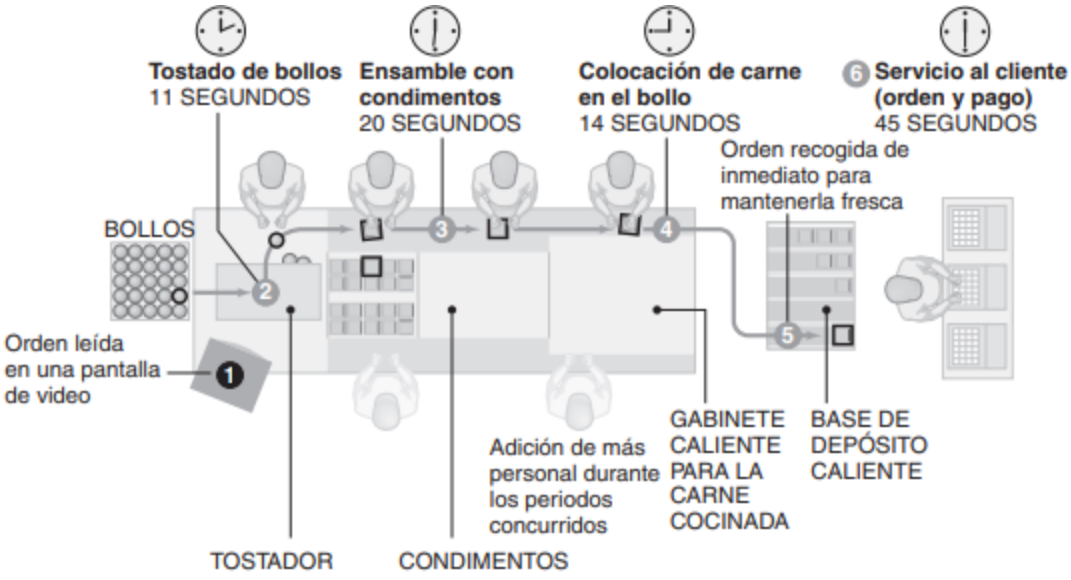
La forma correcta de iniciar la implementación del mantenimiento predictivo es realizando el cronograma de una máquina seleccionada por el responsable del departamento de mantenimiento. Este cronograma debe contener un listado de las piezas o elementos susceptibles de falla, así como los tiempos en los que se estima realizar el cambio, de acuerdo con la información señalada por el fabricante del equipo o de las refacciones; estas especificaciones pueden indicarse en horas, kilómetros, volumen, número de piezas o ciclos, por mencionar algunos parámetros. Como se sabe, siempre habrá un excedente de vida útil del que se tendrá que tomar parte, aunque en la actualidad este tiempo no se aprovecha; de ahí la importancia de contar con la experiencia del personal o el historial acumulado con el tiempo.

xiii. 2.8.6 Balanceo línea de ensamble

Según Heizer & Render (2009) el balanceo de línea se realiza comúnmente para minimizar el equilibrio entre maquinaria y personal, al mismo tiempo que se cumple con la producción requerida en línea. Por lo tanto, primero se deben recolectar los requerimientos de línea cómo tiempo, maquinaria y otros, como se ve ejemplificado en la figura 9. Teniendo en cuenta que herramientas cómo la toma de tiempos y diagrama de flujo ayudan a determinar los datos base de la tabla de tareas.

Figura 9.

Requerimientos balance de línea



Fuente: Heizer, J. & Render, B. (2009)

Después, se separa la información en una tabla de tareas cómo se muestra en la siguiente figura 10. Con el fin de resumir las tareas, tiempos de ensamble y los requerimientos de secuencia para el producto de ensamble o fabricación.

Figura 10.

Tabla de Tareas

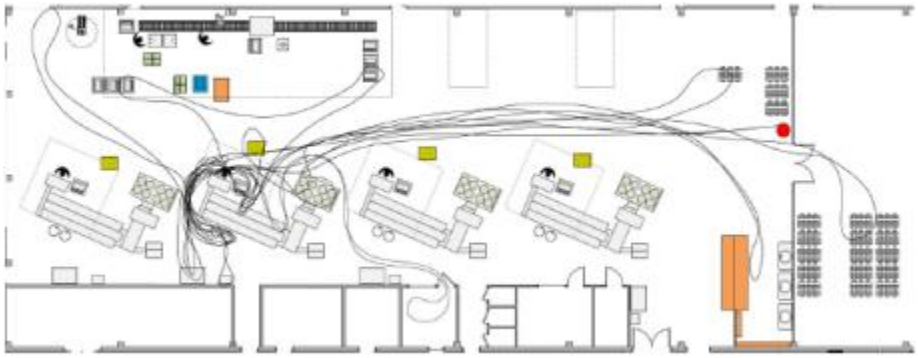
Tarea	Tiempo de realización (minutos)	Tarea que deben seguir las tareas enlistadas abajo	
A	10	—	Esto significa que las tareas B y E no pueden realizarse sino hasta que se termine la tarea A.
B	11	A	
C	5	B	
D	4	B	
E	12	A	
F	3	C, D	
G	7	F	
H	11	E	
I	3	G, H	
	Tiempo total 66		

Fuente:Heizer & Render (2009).

Paso seguido, el Balanceo de línea continua con un diagrama de precedencia, sin embargo, teniendo en cuenta la variable de este estudio se piensa utilizar el diagrama de hilos; esto se debe a que el diagrama de hilos según Senderská & others (2017) además de ser un modelo, es un método para ver movimiento de los objetos, a través del sistema en colaboración con la línea, como se ejemplifica en la siguiente figura.

Figura 11.

Diagrama de Hilos



Fuente: Senderská & others (2017)

Por último, en el balanceo de línea se debe determinar y analizar los ciclos, sin embargo, por la naturaleza de esta investigación, estos datos recolectados serán reflejados en las variables de productividad.

xiv. 2.8.7 Plan maestro de producción (MRP)

Es "un plan de producción el cual indica las cantidades de cada producto que va a fabricarse en cada uno de los intervalos que se divide el horizonte" (Companys Pascual, 2009, p.27)

Para elaborar este plan maestro de producción seguirá los siguientes pasos:

a) Realizar el plan maestro base a la tabla 5 teniendo en cuenta las referencias de material y tiempo, cómo se muestra en el siguiente ejemplo. Marcando la cantidad de unidades esperadas.

Tabla 5.

Formato Plan Maestro

Formato de un plan maestro de producción								
Producto	1988					1989		
	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	....	Marzo	Total
SR04	125	132	137	128	36	...	128	1 402
SR06	87	92	105	99	23	...	92	924
SR08	102	113	114	95	34	...	107	1 188
SR12	52	45	37	38	12	...	39	501
SR20	46	39	42	42	13	...	43	496
Total	412	421	435	402	118	...	409	4 511
días lab.	21	20	21	19	5	...	422	220

Fuente: Companys Pascual, 2009

b) Decidir el nivel de plan maestro con base en la siguiente tabla.

Tabla 6.
Formato Niveles Plan Maestro

Los dos niveles del plan maestro				
Plan	*Objetivo*	*Horizon-te*	*Inter-valo*	*Frecuencia de revi-sión*
Maestro agregado o global	Distribución de los recursos limitados críticos	12 meses	mes	mensual
Maestro detallado	Establecer tasas de producción Hacer posible el cálculo de necesidades	4 meses	semanal	semanal

Fuente: Companys Pascual, 2009

c) Realizar el plan agregado con base a la información del plan maestro, pero agregando información con base en la demanda. Esta información se agregará a la tabla determinando materia prima necesaria, necesidades de carga, caminos y espacios, y recursos internos, mano de obra, recursos propios, etc.

xv. 2.8.8 Análisis de costo beneficio

"Cualquier proyecto de inversión puede ser considerado como un cambio en la economía con respecto a lo que habría ocurrido si el proyecto no se hubiese llevado a cabo" (Atkinson & Stiglitz, 2015, p. 398 citado por Rus, G. D, 2021, p.17).

Las etapas del costo-beneficio que ayudan en el proyecto serán las siguientes, con base en la información encontrada en Rus, G. D, (2021).

1) Objetivos del proyecto: Se debe evaluar "su objetivo (el problema a resolver) debe estar claramente definido y las alternativas pertinentes identificadas" (Rus, G. D, 2021, p.25).

2) Identificación de Costos y Beneficios: Para identificarlos "los beneficios son ingresos y los costes son los inputs valorados a precios del mercado" (Rus, G. D, 2021, p.26).

3) Interpretación de resultados: Se utilizan las cifras de costo y beneficio en el tiempo para determinar el VAN que "es una cifra que recoge los beneficios y costos de todo lo que afecta al proyecto durante su vida" (Rus, G. D, 2021, p.29).

4) Rentabilidad: Donde se determina si el valor VAN es positivo para el objetivo del proyecto.

Para dicho análisis, se busca comparar las utilidades en los periodos con base en la siguiente fórmula.

Bajo las siguientes variables: B = beneficios, C = Costos, i = tasa de descuento, t = periodo y T = horizonte.

Ecuación 3.

Fórmula del beneficio-costo.

$$Utilidad = Bt - C\mathrm{t}$$

Fuente: Rus, G. D, 2021

Por último, la utilización del VAN tiene como objetivo decidir el mejor proyecto, por lo tanto, se busca que sea lo más alto posible y se calculará de acuerdo a la siguiente ecuación.

Ecuación 4.

Rentabilidad del proyecto.

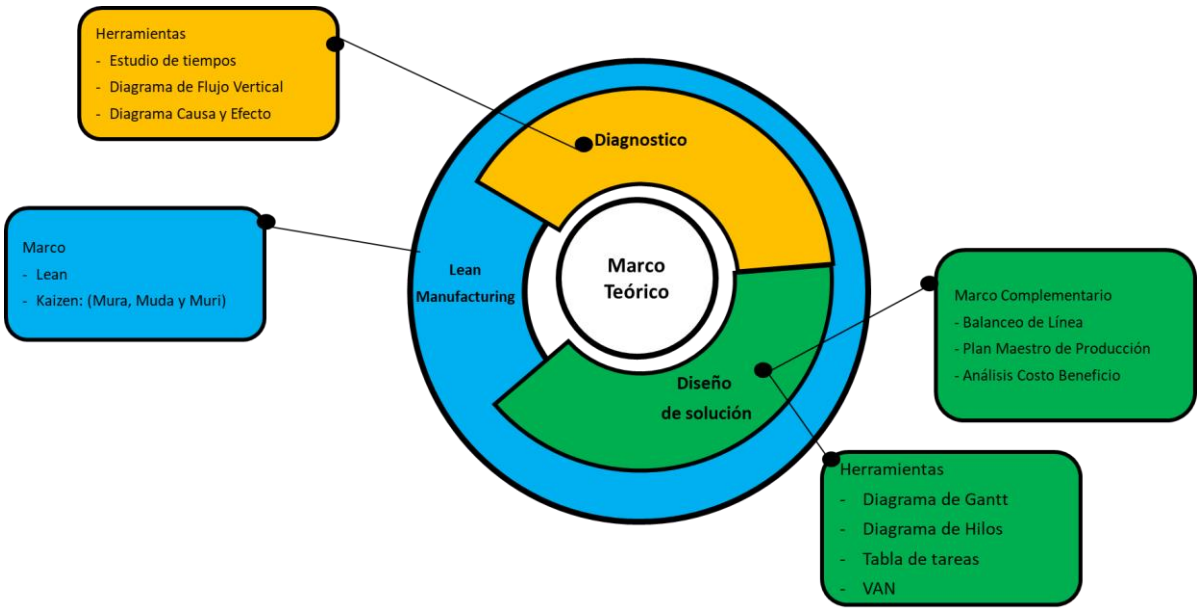
$$VAN = \sum_{t=1}^{T} \frac{B_t - C_t}{(1+i)^t} - I = \frac{\bar{B}}{i} - I$$

Fuente: Rus, G. D, 2021

Por último, en relación con lo visto durante el marco teórico podemos ver el siguiente diagrama, el cual resume lo visto durante el marco.

Figura 12.

Resumen Marco Teórico



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

2.9 Marco Legal

Para el marco legal se tendrá en cuenta la normativa relacionada a la fabricación del aluminio señalada en la tabla 7.

Tabla 7.
Marco legal

Normativa	**Descripción**	**Importancia**
Decreto 948 de 1995	Este decreto contiene leyes relacionadas a la protección y control de la calidad del aire, donde, se pueden encontrar artículos relacionados a la calidad del aire y los hornos que pueden producirlo.	Este decreto es de suma importancia ya que pueden existir riesgos asociados al manejo de maquinaria, productos químicos y procesos industriales.
Decreto 4741	Este decreto dado por el ministerio de	Regula aspectos ambientales

de 2005	ambiente, vivienda y desarrollo territorial define múltiples términos relacionados al desarrollo sostenible	críticos relacionados con la contaminación atmosférica y la gestión ambiental. Cumplir con estas regulaciones puede tener un impacto significativo en la operación y la reputación de la empresa.
Resolución 2254 de 2017	Consagra el derecho colectivo a gozar de un ambiente sano y por lo tanto habla sobre las emisiones al medio ambiente	La importancia de un ambiente sano y la seguridad de los espacios de trabajo
Ley 1566 de 2011	Gestión integral de residuos y desechos peligrosos, regula todos los pasos hasta la disposición final de residuos peligrosos	Es importante disponer de un buen manejo de los recursos en toda la etapa productiva del producto hasta la disposición final de sus desechos.
NTC 4114	Seguridad industrial en las empresas	Contiene directrices sobre la prevención de accidentes y la protección de la salud de los trabajadores de todas las industrias incluyendo las que se dedican a la extrusión de aluminio.

Fuente: Autores (2022)

2.10 Metodología

xvi. 2.10.1 Tipo de investigación

Según Borda (2013) el enfoque cuantitativo busca brindar una explicación de los hechos que se estudian en el objeto de investigación, es decir, dar respuesta al porqué de los fenómenos o causas de los eventos en estudio. En la búsqueda de la causalidad, emplea la construcción de elementos que permitan la medición de las variables, la aplicación del método científico con todo su rigor y de procesos estadísticos para analizar y explicar la realidad.

Para la metodología de este trabajo se planea ejecutar una metodología cuantitativa explicativa, ya que ésta permite establecer una causalidad a los orígenes de los eventos a través de los mecanismos de medición de datos cuantificables, demostrando así con hechos si al final de esta investigación la productividad del departamento de producción tuvo o no una mejora y si se debió a la implementación de la propuesta expuesta en esta investigación.

xvii. 2.10.2 Fuentes de información

En esta investigación se hará uso de fuentes de información primarias y secundarias para lograr cumplir los objetivos propuestos. Entre las fuentes primarias se encuentra la entrevista al gerente general de la empresa y la observación directa que se hará para realizar las actividades de diagnóstico y demás. Las fuentes secundarias serán las revisiones de los informes de contabilidad de la empresa y las consultas de libros, artículos, revistas y trabajos de grado que servirán como base para el desarrollo de esta investigación.

La población para estudiar es el departamento de producción de la empresa Extrusora de Aluminios S.A.

Para esto el proyecto se dividirá en tres fases las cuales son: diagnóstico, la implementación de la propuesta de mejora y la evaluación de costos y beneficios que esta conlleva, las actividades que se realizarán en estas fases se describen en la tabla presentada a continuación en la tabla 8:

Tabla 8.
Matriz Metodológica

Objetivo	Herramientas	Actividades
Desarrollar un diagnóstico que permita determinar el		Visitar la empresa.

estado actual de la productividad en el departamento de producción en la empresa Extrusora de Aluminios S.A y comprender las causas que inciden en su inestabilidad.	Diagrama de Redes Estudio de Tiempos Diagrama Causa y Efecto Mudas Mura	Recolectar datos de los procesos y procedimientos. Realizar entrevistas al gerente y a algunos empleados. Analizar los datos resultantes de las herramientas con base en las variables de productividad. Organizar los datos de productividad resultantes del análisis.
Elaborar una propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A con el fin de alcanzar un progreso en la productividad en el departamento de producción.	Balanceo de línea Mudas Mura MRP	Ejecutar un análisis de los datos obtenidos del objetivo anterior contra herramientas metodológicas. Analizar detalladamente el impacto de las metodologías en el sistema Diseñar una propuesta de mejora con base en los resultados del análisis anterior.
Evaluar los costos y beneficios que conlleva el desarrollo de la propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A.	Costo-beneficio VAN	Evaluar el contexto económico de los resultados de las herramientas financieras

Fuente: Elaboración de los autores a partir del marco referencial (2022).

2.11 Alcances y Resultados

En el presente proyecto, se plantea una propuesta de mejoramiento en el departamento de producción, con el fin de mejorar la productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A se realizará una propuesta para la implementación de un plan maestro de producción. Y el proyecto se desarrollará con base a tres etapas: En la primera etapa se desarrolla un diagnóstico analizando el estado actual de la productividad por medio de herramientas de toma de tiempos y estandarización de los procesos, comprendiendo las causas que inciden en la inestabilidad de ésta. En la segunda etapa se presenta una propuesta de mejora y un plan de acción, permitiendo desarrollar la problemática identificada y alcanzar un progreso en la productividad. En la tercera y última etapa se evaluarán costos y beneficios que obtendrá la empresa en caso de que se implemente la propuesta de mejora.

La variable de estudio de esta investigación es la productividad, la cual se medirá a partir del cociente entre las entradas y las salidas que tiene la empresa, cómo resultado de esto se entregará una propuesta de mejora de la productividad.

xviii. 2.11.1 Conceptual

La temática central del proyecto se basará en el concepto de productividad. Para esto, es necesario la realización de un estudio de tiempos y recolección de datos, con el fin de establecer estándares de tiempo por medio de herramientas relacionadas con la gestión de procesos en el área de producción, cómo lo son diagramas, metodologías, modelos, requerimientos, ciclos, sistemas lógicos y otros relacionados con la evaluación financiera de la propuesta.

xix. 2.11.2 Geográfica

El presente proyecto se realizará en la empresa Extrusora de Aluminios S.A ubicada en la vía Barranquilla-Galapa Km 2500 Barranquilla, Atlántico. Ya que en este lugar se encuentra la fábrica de perfiles de aluminio y por lo tanto su área de producción.

2.12 Recursos y Presupuesto

El establecimiento de los recursos necesarios para desarrollar el trabajo se establecerá en la tabla 9.

Tabla 9.

Recursos y presupuesto

Objetivo	Actividades	Recursos	Presupuesto

Desarrollar un diagnóstico que permita determinar el estado actual de la productividad en el departamento de producción en la empresa Extrusora de Aluminios S.A y comprender las causas que inciden en su inestabilidad.	Visitar la empresa. Recolectar datos de los procesos y procedimientos. Realizar entrevistas al gerente y a algunos empleados. Analizar los datos resultantes de las herramientas con base en las variables de productividad. Organizar los datos de productividad resultantes del análisis.	Tiquetes Papelería	$ 855. 000 COP
Elaborar una propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A con el fin de alcanzar un progreso en la productividad en el departamento de producción.	Ejecutar un análisis contra herramientas metodológicas. Analizar detalladamente el impacto de las metodologías en el sistema. Diseñar una propuesta de mejora con base en los resultados del análisis anterior.	Papelería Servicios Públicos	$ 81. 900 COP
Evaluar los costos y beneficios que conlleva el desarrollo de la propuesta de mejora de productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A.	Evaluar el contexto económico de los resultados de las herramientas financieras		$ 350.000 COP

Fuente: Elaboración de los autores (2022).

2.13 Cronograma

El establecimiento del cronograma se establece en el siguiente diagrama de Gannt, como se ve en la tabla 10.

Tabla 10.

Cronograma Tesis

	N. Actividad	Inicio	Final	Diciembre	Enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio
1.	Visitar la empresa	14/12/2022	20/12/2022							
2.	Recolectar datos de los procesos y procedimientos	14/12/2022	20/12/2022							
3.	Realizar entrevistas a al gerente y a algunos empleados	17/12/2022	19/12/2022							
4.	Identificar la capacidad de producción de la empresa	20/12/2022	29/12/2022							
5.	Diagnosticar el estado actual	3/01/2022	31/01/2023							
6.	Calcular valor de mejora para la productividad	02/02/2023	23/02/2023							
7.	Propuestas de idea de mejora	24/02/2023	28/02/2023							
8.	Priorización de ideas de mejora	03/03/2023	10/03/2023							
9.	Determinar flujo de caja del proyecto	06/03/2023	20/03/2023							
10.	Estructurar la planeación de la propuesta de mejora	22/03/2023	10/04/2023							
11.	Evaluar en el contexto social, político y económico los resultados de las herramientas financieras	10/04/2023	05/06/2023							

Fuente: Elaboración de los autores

3. Diagnóstico

Este capítulo se enfoca en investigar y presentar los datos relacionados con las problemáticas en productividad de la empresa. Para ello, el capítulo iniciará estructurando el problema, después se contextualizará con base en las problemáticas determinadas, para poder desarrollar los factores de productividad llevándolos a variables y por último se concluirá el diagnóstico.

3.1 Estructura

"La empresa Extrusora de Aluminios S.A cuenta con una amplia experiencia en el diseño y desarrollo de matrices y con equipos de alta tecnología que integran en su fábrica los procesos de fundición, extrusión, pintura electrostática y anodizado, lo cual le permite tener un extenso surtido con la más alta calidad de diversos acabados para cubrir con las necesidades del sector, es por esto que en el último año, se ha posicionado cómo una de las empresas líderes en el mercado de extrusión de aluminios en la costa caribe" (Jaramillo, 2022).

En una entrevista dada a Raad (2022) donde se vio un recorrido de la fábrica y se detallaron los procesos de ésta, se mostró que la producción de aluminio en Extrusora de Aluminios S.A inicia con un proceso de fundición donde un horno de 80 toneladas funde aluminio, chatarra, *scrap* de fábrica y algunos otros metales, donde el 95 % de la mezcla es de aluminio. Una vez que la mezcla está completa es puesta en unos cilindros de metal que están en vertical a 50 metros de profundidad, donde se espera hasta que se enfríe el aluminio. Posteriormente, este aluminio transformado en Tochos pasa por un proceso de homogeneización en otro horno, después pasará a una cámara de enfriamiento, para terminar en espera hasta que la extrusora esté lista. Entonces, son puestos en otro horno para ser precalentados y después pasar a extrusión. Simultáneamente se hace la preparación de la matriz de extrusión la cual se pone en otro horno y después cuando las dos partes están a la temperatura correcta inicia el proceso. Cuando la extrusión se lleva a cabo, el tocho de aluminio pasa a ser un perfil de aluminio de alta temperatura por lo que necesita enfriamiento y una revisión. De aquí en adelante pueden pasar tres cosas las cuales reflejan los tres tipos de productos que fabrica la empresa, lo primero que puede ocurrir es que salga en crudo, en segundo lugar, puede que pase a la sección de pintado y en tercer lugar puede pasar a la sección de anodizado, terminando en un proceso de revisión y empaquetado.

Después, durante una visita al área de producción de la empresa Extrusora de Aluminios S.A se identificó que tenía material acumulado en el proceso de fundición, por lo tanto, analizar el proceso de fundición más detenidamente es un buen punto de partida para entender los problemas de productividad.

Figura 13.
Imagen Acumulación de Tochos

Fuente: Tomado por los autores con base en información de la empresa (2022).

Ahora que el diagnóstico se ha acercado al proceso de fundición con el fin de mejorar la productividad es importante tener claros algunos aspectos que componen este proceso.

Primero, el cliente que solicita los perfiles de aluminio a la empresa espera que la composición del aluminio sea la correcta, por lo que durante la operación del horno de fundición se busca que la colada, mezcla de aluminio en estado líquido con otros complementos, tenga las especificaciones correctas las cuales se pueden ver en la tabla 11.

Tabla 11.
Tabla Especificaciones de la Mezcla en Fundición

Materia Prima	Porcentaje de Mezcla
Aluminio	99,47%
MG	0,35%
SI	0,06%
TI	0,12%

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Segundo, el resultado después de pasar por el horno de fundición es el Tocho, el cual es un cilindro de aluminio con las siguientes especificaciones:

Tabla 12.
Características de Tocho

Variable	Medida
Largo	6 m
Diámetro	127 mm
Masa	200 kg

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

3.2 Restricciones

Entendiendo que el proceso de fundición cuenta con diferentes operaciones es importante entender cómo fluye el material en el proceso. Lo primero que sucede es que los bloques de aluminio se funden y dan forma al tocho de aluminio, el cual pasa por varios hornos hasta llegar al inventario. Una vez llega el momento, se calienta nuevamente y se corta en una parte de tocho para que se adapte a la medida de extrusión.

Para representar este proceso y tener más claridad de los pasos existentes, en la tabla 13 se representó un cursograma analítico que muestra las distintas etapas del proceso de fabricación en Extrusora de Aluminios SA.

Tabla 13.
Diagrama de flujo vertical

Cursograma analítico								Operario	Material	Equipo
Diagrama Num. 1	Hoja Num. de							Resumen		
Objeto:			Actividad					Actual		
			Operación					8		
			Transporte					4		
Actividad: Proceso de extrusión de aluminio			Inspeccion					2		
			Almacenamiento					2		
			Distancia (m)					71		
Metodo: Actual			Tiempo (hora-hombre)					946529		
Lugar: Empresa de aluminios EXAL										
Operario (s):	Ficha Num. 1		Simbolos							
Descripción	Cantidad	Distancia	Tiempo (s)			D		Observaciones		
Fundición de materia prima en mezcla	8,5 ton		32656							
Se vierte la colada del horno en una zanja con forma cilindrica	8,5 ton		2400							
Enfriamiento	40 tochos		864000							
Se usa una grua para acomodar los tochos en una canasta especial y se transportan en un carro semiautomático	40 tochos	15	7420					Se crea un inventario adicional por lo que la capacidad de la canasta se llena por la acumulación de tochos en esta operación		
Se utiliza un carro semiautomático para mover la canasta de tochos	40 tochos		600							
Se pasa al horno homogeinizador de tochos	40 tochos		21600					En el horno con frecuencia se encuentra material estancado		
Revision de que el proceso vaya bien	40 tochos		60							
Se mueve la canasta de tochos en el carro semiautomatico	40 tochos	4,5	600							
Se enfria el material con una cabina de enfriamiento que utiliza aire	40 tochos		7200					En la cabina de enfriamiento se encuentra material estancado		
Se transportan los tochos con el monta carga	40 tochos	9	1200							
Se hace el inventario de los tochos	40 tochos									
Se transportan de nuevo los tochos	31 tochos	40	600							
Se calientan los tochos para la extrusion	31 tochos		7961							
Se hace el corte del tocho a medida	31 tochos		20							
Se desliza el tocho	31 tochos	2,5	2							
Se hace la extrusion en la forma de perfil solicitada por el cliente	31 tochos		210							
Total de salida	6,2 ton	71	946529	8	4	2	2			

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Después, con base en los datos recolectados, se compararon los resultados de tiempo con su carga máxima cómo se muestra en la tabla 14. Donde se puede observar que las dos operaciones que más se extienden en el tiempo son el enfriamiento y la extrusión, por lo tanto, al observar su producción por hora se obtiene que: el enfriamiento logra procesar 40 Tochos en 24 h lo que es igual a 1,67 Tochos/hora y la extrusión logra procesar 31 Tochos en 21.7 h lo que es igual a 1,42 Tochos/hora. Con lo cual concluimos que entre las operaciones analizadas el cuello de botella se encuentra en el proceso de extrusión.

Tabla 14.

Tabla Comparación Flujo de Material

Operación	Carga 1 Ciclo de Producción			Carga Máxima por Máquina		
	Tiempo (s) Total	Material		Tiempo (s) Total	Material	
Horno de Fundición	32656	8.5	T	32656	8.5	T
Bajar colada	2400	40	Tochos	2400	40	Tochos
Enfriamiento	86400	40	Tochos	86400	40	Tochos
Canasta Tochos	7420	40	Tochos	4308	65	Tochos
Carro	600	40	Tochos	600	65	Tochos
Horno Homogeinización	21600	40	Tochos	21600	65	Tochos
Inspección	60	40	Tochos	60	65	Tochos
Carro	600	40	Tochos	600	65	Tochos
Cabina de enfriamiento	7200	40	Tochos	7200	65	Tochos
Montacargas	739	40	Tochos	739	65	Tochos
Inventario	------	40	Tochos	------	165	Tochos
Trasporte (Montacargas)	4800	31	Tochos	4800	31	Tochos
Horno de calentamiento	49358	31	Tochos	49358	31	Tochos
Corte de tocho	7440	31	Tochos	7440	31	Tochos
Transporte (Rampa)	744	31	Tochos	744	31	Tochos
Extrusión	78120	31	Tochos	78120	31	Tochos

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

En este contexto, se puede comparar lo encontrado en la empresa con el flujo de material. Al inicio del capítulo se mostró en la figura 13 cómo se puede encontrar acumulación de material en proceso entre los hornos del proceso fundición y si ahora se compara con la capacidad que la maquinaria maneja en la tabla 14, se observa que la empresa produce más material en proceso del que puede manejar; donde el punto de inicio a este problema es el encanastado, canasta de tochos, puesto que la tabla 14 muestra cómo existe una diferencia en capacidad de 15 tochos con respecto a la operación anterior en términos de carga máxima y la figura 13 muestra cómo con el tiempo la acumulación de estos sobrantes se convierten en un inventario adicional que no debería existir.

Según la anterior conclusión el material estancado indica una pérdida de productividad, esta afirmación se puede comprobar con datos del anexo A. Primero se ve que este material estancado se queda una parte en un inventario parcial de tochos ubicado en la operación de encanastado cómo una de sus actividades a realizar, por lo que se realizó un estudio de tiempos donde diferentes operarios con experiencia en la operación llevaron a cabo el proceso, esta toma de tiempos se realizó por días diferentes con un método de regresión a cero por sus intervalos largos entre actividades.

Ahora, esta actividad de organizar en un inventario parcial de tochos ocurre por el intento de la empresa de usar la carga máxima de 65 tochos en las siguientes operaciones de fundición, causando que durante ese tiempo no gane valor. Por lo tanto, para eliminar esta actividad improductiva es necesario que el encanastado no supere esta capacidad en ningún momento.

Por último, después de observar cómo la problemática se va enfocando en el área de fundición es importante dejar claro cómo fluye el material dentro del proceso, por lo tanto, se puede observar el proceso actual en la siguiente tabla de tareas.

Tabla 15.

Tabla Flujo de Material

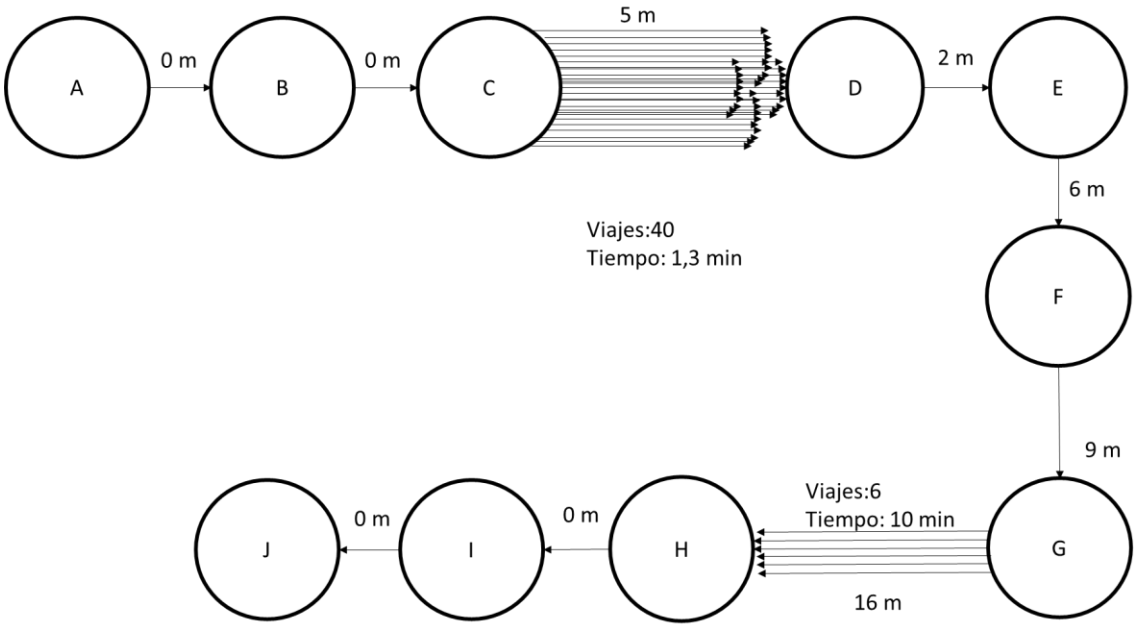
2022					
Operación	Tarea	Tarea Anterior	Tiempo (s) Total	Material	
Horno de Fundición	A		32656	8720	Kg
Bajar colada	B	A	2400	40	Tochos
Enfriamiento	C	B	86400	40	Tochos
Canasta Tochos	D	C	4308	40	Tochos
Horno Homogeinización	E	D	21600	40	Tochos
Cabina de enfriamiento	F	E	7200	40	Tochos
Inventario	G	F	------	177	Tochos promedio
Horno de calentamiento	H	G	49358	31	Tochos
Corte de tocho	I	H	7440	31	Tochos
Extrusión	J	I	78120	31	Tochos
Total			289483	6200	Kg producidos

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

En la anterior tabla se observa que el proceso se realiza de forma lineal, además, los tiempos necesarios para extruir son extensos y el material que la extrusión puede manejar en un turno es de 31 tochos. Ya que tenemos el flujo de material, es importante verlo con una representación de diagrama de hilos para entender los recorridos, como se ve en la siguiente figura.

Figura 14.

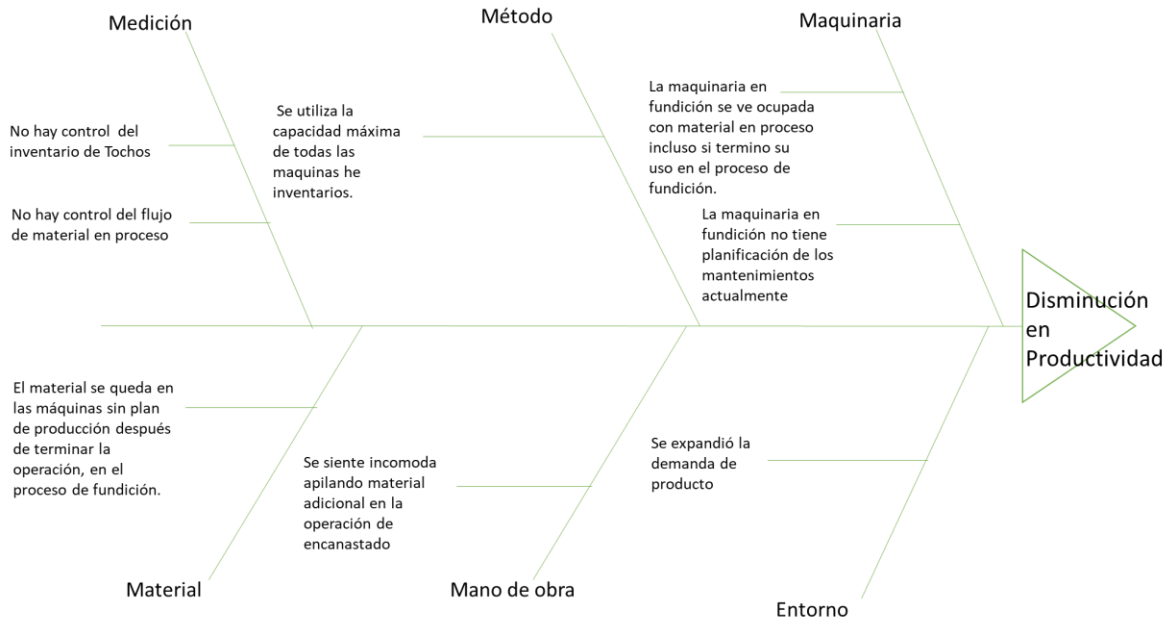
Diagrama Hilos 2021&2022



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Del diagrama de hilos anterior se observa más detalladamente la linealidad del proceso, donde es más fácil ver los viajes entre máquinas, por lo que es importante señalar que la densidad de transporte de material se encuentra entre la operación, C y D, y, G y H.

Figura 15.
Diagrama Causa y Efecto Productividad



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Por último, el diagrama causa y efecto muestra diferentes factores, el primero es observable desde la perspectiva del material, mano de obra y maquinaria ya que los tres traen un factor que puede resumirse como material estancado; el cual afecta la productividad por el costo adicional que representa como material energía u otros. El segundo es identificado desde la perspectiva de la mano de obra, el entorno y la medición; donde se puede observar una incomodidad para manejar la producción desde la visión de un plan de productivo, ya que no hay control del inventario o proyección del flujo de material con base en la nueva expansión del mercado, causando que variables de productividad como mano de obra se vean afectadas por intentar cumplir los envíos del producto.

3.3 Modelo del flujo de material

Con el fin de establecer las variables relacionadas y analizar el flujo del producto en el proceso es importante explicar que, el producto que fluye durante el proceso de fundición es el Tocho.

La estrategia en la empresa se basa en llevar al límite la capacidad de la maquinaria en el proceso de fundición, por lo que, para poder describirla se planteó la condición de centrarse en el nivel de inventario de Tochos, este enfoque se debe a que este proceso define por cuánto tiempo hay material

para que el proceso de extrusión funcione sin pausas. Para ello, las primeras variables se ven representadas en la siguiente ecuación.

Ecuación 5.
Cantidad de unidades en inventario
Y=x+40-z
Fuente: Elaboración de los autores (2023)

La anterior fórmula se define por las variables:

- Y: unidades en inventario
- x: unidades del día anterior
- z: unidades a procesar durante el día

Ahora para poder manejar el inventario se necesita describir el uso del proceso de fundición dependiendo del flujo de Tochos, por lo tanto, los empleados mueven la producción bajo la siguiente condición:

Ecuación 6.
Unidades de crecimiento límite de inventario
Si x+40-z > Entonces (x-z) Si no (x+40-z)
Fuente: Elaboración de los autores (2023)

La anterior fórmula se define por las variables:

- T: unidades de crecimiento límite de inventario
- x: unidades de tocho en inventario dejadas el día anterior
- z: unidades de tocho a procesar en un solo día (200 kg la unidad)

Tabla 16.

Producción de tochos durante 2021

	Condición inicial
Días laborales	243
z	31
T	200
Min Tochos Inv	40
Max Tochos Inv	200
Promedio Tochos Inv	177
Media Tochos Inv	180
Días Fundición	191
N Tochos Producidos	7640
Materia Prima (Kg)	1665520
Kg Producidos	1528000

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Con base en la condición actual mostrada anteriormente se proyecta un año de producción como se muestra en la tabla 16. En la tabla se estableció un T de 200 en base el número de Tochos que la empresa acumula en la imagen inferior, la cual fue tomada teniendo en cuenta un día con acumulación alta cómo se comprueba después de asistir durante 5 días seguidos a la fábrica.

Una variable z de 31 expresa el número límite de inventario con base en la capacidad máxima de producción; la tabla 16 muestra que el número promedio de tocho excede el máximo de capacidad de 7.533 tochos anuales.

Por otra parte, es importante entender el máximo de la capacidad. Para ello se tomaron las maquinarias con menor capacidad productiva en un ciclo como se muestra en la tabla 14 y con base en aquella información se realizó un trabajo de toma de tiempo donde la maquinaria funcionó sin problemas y el mismo operario completó la operación. Concluyendo que la operación que actualmente lleva el cuello de botella es la extrusión, para ello podemos observar la tabla de toma de tiempos de extrusión a continuación y el resto en los anexos del 1 al 4.

Tabla 17.

Estudio de Tiempos en segundos Extrusora de Aluminios S.A

Extrusión						
Operación	Ciclo	Calificación	Tiempo Observado	Tiempo Normal	Tiempo Promedio Observado	Tiempo Promedio Normal
Extrusión	1	100%	197,46	197,46	210,39	210,39
	2	100%	200,46	200,46		
	3	100%	201,23	201,23		
	4	100%	202,59	202,59		
	5	100%	212,62	212,62		
	6	100%	212,64	212,64		
	7	100%	234,12	234,12		
	8	100%	221,96	221,96		

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Regresando a los resultados de la tabla 16, en esta se utilizó un promedio en días laborales de 243 con base en los 5 días de trabajo semanales al año menos los 17 días festivos. Después, se calcula la cantidad de horas nocturnas y las diurnas con base en la normativa colombiana. Para dar como resultado información sobre el número de Tochos, días de fundición, materia prima y perfiles producidos que permiten encontrar las variables de productividad.

Ahora, teniendo en cuenta los resultados de la tabla 16 y los problemas resaltados del diagrama causa y efecto de la figura 15 se puede visualizar que nuestro problema se basa en el flujo del material, pero, como consecuencia termina afectando las horas laborales de la mano de obra. En otras palabras, nuestras variables van a estar relacionadas a estos aspectos:

La variable de materia prima utiliza el dato de materia prima en Kg de la tabla 16 por un costo promedio de $ 5.968 COP por kg con un valor total $ 9.993.120.000 COP. Pero de este valor anualizado puede ser visto de forma mensual, además, teniendo en cuenta que la empresa tiende a descuidar el tamaño de sus inventarios la empresa puede acumular 25.000 kg promedios adicionales hasta la solicitud de un pedido importante, con lo cual teniendo en cuenta que la tasa de descuento del banco de la república para 2024 es del 12.75% el interés mensual de mantener este material en inventario se aproximaría a 1,3% dando como resultado un valor total de $ 151.795.800 COP como se ve en el anexo e.

La variable mano de obra extrusión, primero tiene en cuenta los dos turnos de 12 h, después se aumenta el valor de las horas nocturnas, con base en el valor de la hora promedio en extrusión de $5.681,81 COP y la cantidad de trabajadores de 4 por turno.

La variable mano de obra fundición, primero tiene en cuenta los dos turnos de 12 h, después se aumenta el valor de las horas nocturnas, con base en el valor de la hora promedio en extrusión de $ 6.060,6 COP y la cantidad de trabajadores de 3 por turno.

La variable material estancado promedio utiliza la cantidad del valor promedio del inventario ya que es el promedio de material que se tarda en llegar a la zona de extrusión por lo que la cantidad de este material en términos de perfiles de aluminio por el precio promedio de venta de $ 4 235,8 COP por perfil, es equivalente al valor de la variable.

En conclusión, las variables con relación a la productividad pueden resumirse en la siguiente tabla:

Tabla 18.

Variables de Productividad V1

	Condición Inicial	
Costo fijo	2021	2022
Salario del Personal de Fundición	$ 53.018.182	$ 39.763.636
Salario del Personal de Extrusión	$ 170.100.000	$ 125.575.000
Costo Variable		
Material Estancado Promedio	$ 778.800.000	$ 778.800.000
Materia Prima Utilizada	$ 151.795.800	$ 87.574.500

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

3.5 Pérdidas de productividad por mantenimientos (Mura)

Además de la materia prima y las actividades relacionadas al proceso de transformación del material, la maquinaria necesita de ciertas actividades de mantenimiento. Estas actividades varían el ritmo de producción dependiendo de cuando ocurran, por lo tanto, con el fin de alcanzar mayores niveles de productividad es necesario darles a los mantenimientos que se interponen en un constante ritmo de producción un orden adecuado.

Ahora, con el fin de reducir la variabilidad del proceso de fundición y entender mejor la planificación actual del flujo. Se inició preguntando sobre cuáles eran los mantenimientos que se encuentran en el área de fundición, después, se separaron aquellos que se notaron preocupantes; estos fueron el alistamiento de la mesa y la limpieza del horno de fundición, los cuales son mantenimientos de tipo correctivo, los cuales tenían una demora de más de 10 minutos. Teniendo en cuenta que “un mantenimiento correctivo no debe ser prolongado en el tiempo” (González, 2013).

En la siguiente tabla se encontrará información recolectada de entrevistas a los trabajadores y supervisor de calidad donde se describe información sobre los mantenimientos seleccionados.

Tabla 19.
Tabla de información de mantenimiento

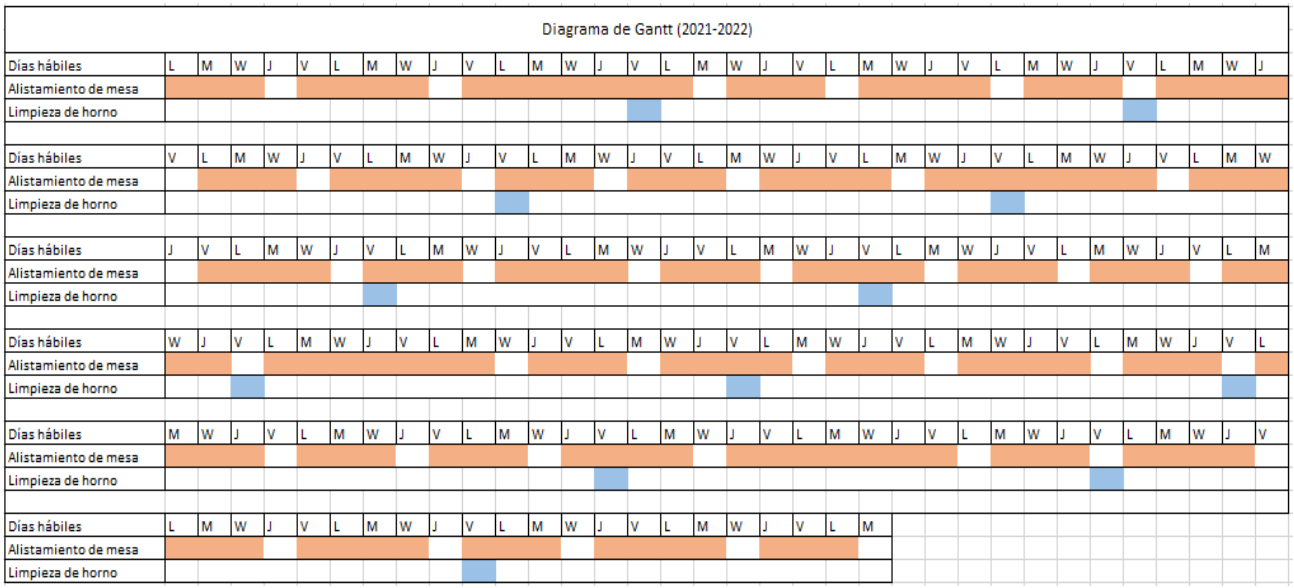
	Nombre	Maquina	Ciclo (Días)	Duración (h)	Descripción
Fundición	Limpieza de Horno	Horno Fundición de Aluminio	Se realiza 2 veces al mes	1 h	Se raspa el horno con cuchara metálica para quitar la escoria
	Alistamiento de la Mesa	Mesa de Conformado de Tochos	Diario	2 h	Rellenar grietas en cerámicos de mesa de fundición

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Los mantenimientos correctivos de más de 10 minutos son una interrupción en el proceso, así que para encontrar cómo afectan en la productividad se tuvo en cuenta cómo ocurrían en el tiempo.

Figura 16.

Diagrama de Gantt (Aproximación de Plan actual)



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

En la figura 16 se evidencia un esquema de cómo se harían los mantenimientos si se toman en cuenta las características de ciclo mencionadas anteriormente en la tabla 19 donde el alistamiento de mesa dice diario, pero en realidad solo ocurre cada vez que se usa el horno de fundición. Además, se tuvo en cuenta la predicción de producción de la tabla 16 por lo que los días que no se funde no se realiza el mantenimiento. Y sobre la limpieza del horno, este dice dos veces al mes, por lo que para definir esto se dividió un mes de 30 días entre dos para después repartir estos días secuencialmente durante los días laborales. Con lo cual se puede ver que se tiene 183 días donde se realiza solo el alistamiento de mesa, 4 días donde se realiza solo la limpieza del horno y 8 días donde se realizarían ambos mantenimientos.

Las pérdidas en productividad relacionadas al alistamiento de mesa se ven reflejadas en dos tipos de variable, siendo la primera el valor base del mantenimiento en cuanto a los materiales utilizados y la otra es respecto al valor de la mano de obra.

Actualmente los trabajadores de fundición son contratados durante turnos de 12 horas y estas horas son repartidas en dos actividades simultáneas la primera es respecto al horno de fundición hasta la operación de bajar la colada con una duración de 9,74 h, después de la canasta de Tochos al inventario de Tochos hay una duración de 10, 74 h y estas dos secuencias están separadas por una espera de 24 h por lo que los turnos inician realizando ambas cosas simultáneamente. Aprovechando el hecho las

operaciones de fundición requieren poca intervención, solo los transportes y el encanastado tienen intervención constante. Por lo tanto, de lo observado se concluye que en promedio las 10, 74 h serán suficiente para realizar todas las operaciones del proceso, sin embargo, el alistamiento de mesa dura 2 h y la limpieza de horno dura 1 h más, por lo que tener horas extras para terminar lo necesario del proceso de fundición excede las horas del turno laboral disminuyendo la productividad. En conclusión, hay una hora extra durante 183 días y dos horas extra durante 8 días de los 243 días laborales.

Ahora si se toma en cuenta las horas ya establecidas se encuentra que 50 días se trabaja 10,74 horas, 4 días se trabaja 11,74 horas, 181 días por 1 hora extra y 8 días por 2 hora extra, esto resulta en 199 horas extra.

Concluyendo en un ajuste para las variables de productividad visible en la siguiente tabla.

Tabla 20.
Variables de Productividad V2

	Condición Inicial	
Costo fijo	2021	2022
Salario del Personal de Fundición	$ 56.218.788	$ 42.164.092
Salario del Personal de Extrusión	$ 170.100.000	$ 127.575.000
Costo Variable		
Material Estancado Promedio	$ 778.800.000	$ 778.800.000
Materia Prima Utilizada	$ 151.795.800	$ 87.574.500

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

3.6 Inestabilidad

Por otra parte, estos niveles de productividad durante los años 2021 y 2022 no fueron iguales durante los meses del año como se ve en la tabla 21 y tabla 22.

Tabla 21.

Ventas y costos mes a mes

Ventas			Costos Operacionales		
Mes	2021	2022	Mes	2021	2022
Enero	$ 1.121.407.093,38	$ 1.583.067.712,18	Enero	$ 972.288.980,00	$ 1.462.953.878,36
Febrero	$ 1.459.613.128,72	$ 945.815.788,47	Febrero	$ 1.607.247.228,00	$ 2.050.132.518,70
Marzo	$ 1.792.525.524,57	$ 2.970.745.807,24	Marzo	$ 1.137.263.135,00	$ 1.262.149.425,20
Abril	$ 1.346.147.502,99	$ 1.660.391.133,60	Abril	$ 1.164.964.756,00	$ 1.555.682.288,99
Mayo	$ 1.408.423.236,78	$ 2.055.056.568,77	Mayo	$ 984.392.220,00	$ 1.979.157.312,73
Junio	$ 1.694.775.149,43	$ 2.019.076.140,71	Junio	$ 1.910.922.142,00	$ 2.062.432.200,58
Julio	$ 1.682.364.230,30	$ 1.870.501.461,77	Julio	$ 1.334.182.645,00	$ 1.857.510.618,11
Agosto	$ 1.526.998.895,31	$ 2.305.495.711,64	Agosto	$ 1.673.848.400,00	$ 1.693.000.437,82
Septiembre	$ 2.004.015.890,70	$ 2.093.319.044,47	Septiembre	$ 1.603.164.320,00	$ 1.156.480.242,30
Octubre	$ 1.704.608.978,60		Octubre	$ 1.323.893.169,00	
Noviembre	$ 1.617.581.023,89		Noviembre	$ 1.301.375.895,00	
Diciembre	$ 1.884.386.928,84		Diciembre	$ 959.984.530,00	
Total	$ 19.242.847.583,51	$ 17.503.469.368,85	Total	$ 15.973.527.420,00	$ 15.079.498.922,79

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 22.

Productividad mes a mes

Productividad		
Mes	2021	2022
Enero	1,15	1,08
Febrero	0,91	0,46
Marzo	1,58	2,35
Abril	1,16	1,07
Mayo	1,43	1,04
Junio	0,89	0,98
Julio	1,26	1,01
Agosto	0,91	1,36
Septiembre	1,25	1,81
Octubre	1,29	
Noviembre	1,24	
Diciembre	1,96	
	1,20	1,16

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

En relación con las dos tablas anteriores se puede observar que la empresa no tiene un flujo constante en los costos y ventas. En este contexto la productividad se mueve de 0,46 en su punto mínimo a 2,35 en su punto máximo. Lo anterior puede observarse con mayor claridad en el anexo G el cual muestra una gráfica clara de la variación de la productividad, y está puede relacionarse con la planificación en flujo de material, puesto que se ha observado como actualmente es llevado al máximo la producción todo el

tiempo posible, pero, esta diferencia de productividad mes a mes muestra que el tiempo posible de producción varía durante los meses lo que causa que en términos reales la productividad dependa de lo lleno que están los inventarios, centrando los problemas mencionados a lo largo del capítulo como una falla en la planeación.

3.7 Productividad final

Por último, con el fin de determinar el estado actual de la productividad en el área de producción se concluyó que las variables a trabajar en la propuesta de solución están en sus mayorías relacionadas al proceso de fundición, en otras palabras, es importante resaltar estas variables en la productividad de 2022 con el fin de proporcionar un proyecto de solución.

A continuación, se puede encontrar el conjunto de tablas iniciales de productividad 2021

Tabla 23.

Resultado de productividad de los procesos seleccionados

Procesos	Otros (M.O)	(M.O)	Otros (M.P)	(M.P)	Energía	Material Estancado	Otros
Fundición	$ 92.933.988,00	$ 56.218.788,88	$ 10.104.491.517,30	$ 151.795.800,00	$ 599.422.473,60	$ 778.800.000,00	$ 169.576.659,52
Extrusión	$ 92.933.988,00	$ 170.100.000,00	$ 341.876.243,91	$ -	$ 524.494.664,40	$ -	$ 423.941.648,80
Pintado	$ 142.638.533,45		$ 227.917.495,94	$ -	$ 149.855.618,40	$ -	$ 593.518.308,32
Anodizado	$ 49.704.545,45		$ 569.793.739,85	$ -	$ 224.783.427,60	$ -	$ 508.729.978,56
Total	$ 378.211.054,91	$ 226.318.788,88	$ 11.244.078.997,00	$ 151.795.800,00	$ 1.498.556.184,00	$ 778.800.000,00	$ 1.695.766.595,21

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 24.

Resultado de productividad de los procesos seleccionados

Costo operacional	$ 15.973.527.420,00
Ventas	$ 19.242.847.583,51
Productividad	1,204671146

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

A continuación, se puede encontrar el conjunto de tablas iniciales de productividad hasta septiembre de 2022, pero con los respectivos ajustes para resaltar las variables de productividad encontradas durante el capítulo.

Tabla 25.

Resultado de productividad de los procesos seleccionados

Procesos	Otros (M.O)	(M.O)	Otros (M.P)	(M.P)	Energía	Material Estancado	Otros
Fundición	$ 69.700.491,00	$ 42.164.091,66	$ 10.222.693.227,00	$ 87.574.500,00	$ 599.422.473,60	$ 778.800.000,00	$ 89.289.232,59
Extrusión	$ 69.700.491,00	$ 127.575.000,00	$ 343.675.590,90	$ -	$ 524.494.664,40	$ -	$ 223.223.081,49
Pintado	$ 106.978.900,09	$ -	$ 229.117.060,60	$ -	$ 149.855.618,40	$ -	$ 312.512.314,08
Anodizado	$ 37.278.409,09	$ -	$ 572.792.651,50	$ -	$ 224.783.427,60	$ -	$ 267.867.697,78
Total	$ 283.658.291,18	$ 169.739.091,66	$ 11.368.278.530,00	$ 87.574.500,00	$ 1.498.556.184,00	$ 778.800.000,00	$ 892.892.325,95

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Tabla 26.

Resultado de productividad de los procesos seleccionados

Costo operacional	$ 15.079.498.922,79
Ventas	$ 17.503.469.368,85
Productividad	1,160746087

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Al observar detenidamente los cambios de 2021 a 2022, se puede ver cómo la cantidad de material ha ido en aumento superando en septiembre de 2022 lo utilizado en la totalidad de 2021 sin obtener una cantidad similar de ventas. Por otra parte, los datos recolectados a lo largo del capítulo muestran que el flujo del material se ha estado estancando en algunas de las operaciones del proceso de fundición, lo cual se debe a que la mano de obra y la capacidad de la maquinaria ha llegado al límite de su capacidad. De esta manera se llegó a la conclusión que el área de fundición necesita un replanteamiento del plan de producción, para ello se atacar principalmente los problemas de material, los cuales se ven reflejados en las tablas anteriores. Después con el arreglo del flujo de materia prima se espera que los trabajadores tengan cambios en sus horas laborales mejorando la productividad, terminando en la consolidación de lo propuesto en el marco teórico cómo el plan maestro de producción.

4. Estrategias para el desarrollo de la propuesta de mejora en la productividad

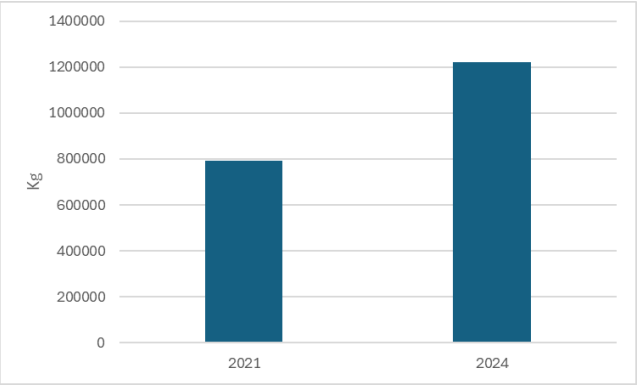
En el capítulo anterior se determinó que la falta de un plan de producción es la causa de que la productividad fuera inestable durante los meses y que a pesar de la expansión a un mercado externo este valor no ve una mejoría real, por lo que se tendrán en cuenta los factores y variables expuestas anteriormente. Por otra parte, se hace la aclaración de que se tomaron los datos de los años 2021 y 2022, ya que en el año 2022 se dio inicio al proyecto, entre ese año y a principios del 2023 se realizó el diagnóstico con los datos recolectados, se proyectó las mejoras al año 2024, ya que era el año en que finaliza el proyecto.

4.1 Introducción y Evento Kaizen

Los factores, niveles de material en proceso y horarios en mano de obra afectan las variables de mano de obra, material, energía, material estancado y otros. Estos factores y variables llevan la idea de solución a un plan maestro de producción que busca señalar los días laborales, días de fundición, Tochos a producir, materia prima a utilizar y la demanda esperada de ese periodo de tiempo y así poder marcar un límite de producción en el proceso de fundición.

El primer límite para el plan maestro se trata del nivel de demanda, donde recordemos que durante el 2022 se tuvo una reunión con el departamento de ventas y los miembros del equipo aseguraron que para el 2024 se espera alcanzar una demanda de 1.220.870,5 Kg como se ve en la siguiente figura.

Figura 17.
Pronóstico de demanda de 2021-2024



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Ahora, con base al nivel de demanda las variables de productividad deben ajustarse para solucionar el problema y establecer los límites a las variables del plan maestro. Para llegar al plan maestro se planteará a continuación, el evento kaizen, el cual plasmará el marco sobre el cual se desarrollará la idea de solución como se ve en la figura 18; se realiza para plantear un objetivo y alcance que se debe desarrollar bajo la guía de las *mudas, muras y muris*, pero, no se aleja de la posibilidad de utilizar herramientas occidentales para dar solución al problema.

Figura 18.

Evento Kaizen

Proyecto	**N°1**		
	Plan Maestro de Fundición		
Fecha Inicio	4/02/2023	**Fecha final**	25/02/2024
Alcance	En el presente proyecto se planteara una propuesta para un plan maestro de producción en el departamento de producción, con el fin de mejorar la productividad en la empresa Extrusora de Aluminios S.A, bajo el marco de Kaizen (mudas y muras) y el apoyo de herramientas occidentales como el balanceo de línea.		
Objetivo	Diseñar una propuesta de implementación para un plan maestro que permita mejora la productividad en el departamento de producción de perfiles de aluminio en la empresa Extrusora de Aluminios S.A.		
Responsables	Javier Andrés Palacio Jaramillo Juan Felipe Jiménez Gonzáles Diana Marcela Fuentes Gonzáles		

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

4.2 *Muda* (Flujo de material)

El primer paso para desarrollar el plan maestro de producción es establecer el flujo de material en el sentido que las variables de productividad han señalado durante el capítulo anterior, por lo tanto, se tendrá en cuenta primero la remoción de las actividades que se clasificaron en el diagnóstico cómo “no agregan valor”. Después, se hará uso de la ecuación utilizada durante el diagnóstico representada en la ecuación 7, pero, cambiando las variables z y T; lo cual corresponde a “z” cómo la cantidad de Tochos diarios a procesar y el “T” unidades en inventario que deben aproximarse a cero.

Ecuación 7.

Unidades de crecimiento límite de inventario

Si x+y-z > T Entonces (x-z) Si no (x+y-z)

Fuente: Elaboración de los autores (2023)

Ahora, ya que el proyecto para mejora de productividad se enfoca al plan maestro de producción es importante cambiar un aspecto de la ecuación. Hasta ahora la producción de Tochos era constante en 40 unidades, sin embargo, teniendo en cuenta que el plan maestro tiene control sobre las unidades de entrada y que en términos de maquinaria la capacidad de producción máxima es de 31 unidades, se cambiará el valor constante de 40 por una variable "y" que hace referencia a la cantidad de Tochos producidos en el horno de fundición.

En este contexto se tiene que para 2024 la máquina extrusora podrá procesar un máximo de 31 tochos diarios con el fin de adaptar su flujo al del cuello de botella, por lo tanto, el valor de "z" tomará el mismo valor que "y" y estos deben ajustarse al valor de "T" que es dado por ese máximo de tochos. Recordemos que en 2024 la empresa espera que la demanda alcance 1.220.870,5 kg durante el año, por lo tanto, se proyecta en la siguiente tabla el resultado esperado bajo estas características.

Tabla 27.
Producción de Tochos año 2024

	Plan 2024
Días laborales	246
z	20
T	31
Min Tochos Inv	1
Max Tochos Inv	42
Promedio Tochos Inv	16
Media Tochos Inv	16
Días Fundición	158
N Tochos Producidos	6320
Materia Prima (Kg)	1377760
Kg Producidos	1264000

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Ahora, con el fin de analizar los cambios del flujo de material en la proyección durante el año de 2024 se tiene la siguiente tabla y diagrama de hilos. Donde se puede comparar los tiempos de las operaciones, el cambio de la cantidad de material por operación y la cantidad de viajes entre operaciones.

Tabla 28.

Tabla Comparación Flujo de Material 2024

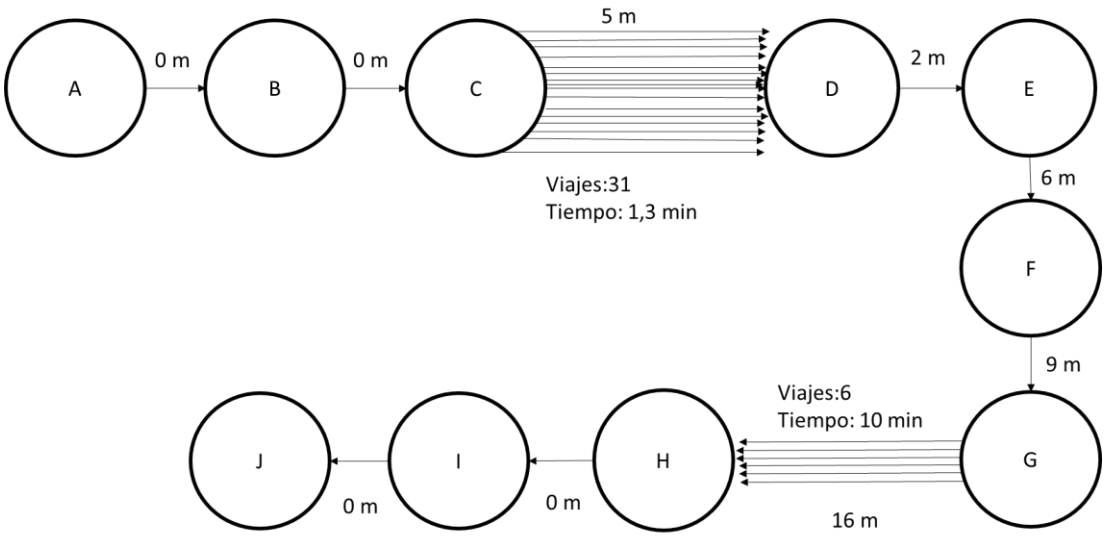
2024					
Operación	Tarea	Tarea Anterior	Tiempo (s) Total	Material	
Horno de Fundición	A		25309	6758	Kg
Bajar colada	B	A	2400	31	Tochos
Enfriamiento	C	B	86400	31	Tochos
Canasta Tochos	D	C	4308	31	Tochos
Horno Homogeinización	E	D	21600	31	Tochos
Cabina de enfriamiento	F	E	7200	31	Tochos
Inventario	G	F	------	16	Tochos promedio
Horno de calentamiento	H	G	49358	31	Tochos
Corte de tocho	I	H	7440	31	Tochos
Extrusión	J	I	78120	31	Tochos
Total			282135	6200	Kg producidos

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

En la anterior tabla se puede observar que el proceso se mantiene de forma lineal, además, los tiempos en el horno de fundición, los Tochos promedios y los kg a lo largo del proceso se han reducido.

Figura 19.

Diagrama de hilos 2024



Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

En conclusión, en el año 2024 la empresa gracias a la implementación del proyecto reducirá el tiempo de encanastado, afectado el tiempo del personal en el proceso de fundición al cual se clasifica en las variables de productividad cómo mano de obra fundición. Por otra parte, tanto la entrada de materia prima cómo la cantidad de material en proceso ha disminuido afectando las variables de materia prima y material estancado. Por último, la cantidad de recorridos entre las operaciones C y D se han reducido afectando la variable de mano de fundición.

Siendo más específicos, las variables de productividad cambiaron de la siguiente manera tabla 29: primero, una reducción de la variable materia prima a $ 0 eliminando de forma progresiva el exceso acumulado de material en años anteriores como muestra el anexo f, en segundo lugar, el material estancado ha reducido su valor anterior de $ 778.800.000 a $70.400.000 cómo consecuencia de la condición máxima para la variable T en el inventario de Tochos.

Tabla 29.
Variables de productividad 2024 V1

Costo Variable		2024
Materias Estancado Promedio	$	70.400.000
Materia Prima	$	-

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

4.3 *Mura* (Tiempo de trabajo)

Según los datos anteriores, las horas laborales de los trabajadores se pueden ver afectadas por los cambios en los tiempos de encanastado y los recorridos del material en proceso de la sección 4.2. Por lo tanto, durante el 2024 con la reducción en el flujo de material es posible disminuir el tiempo de ciclo en 2 aspectos, el primero es el encanastado desde la fase de enfriamiento a la canasta, entre C y H, y el otro es del inventario al horno de calentamiento, entre G y H.

En este sentido, lo primero es analizar cómo afecta la eliminación del inventario parcial de Tochos al encanastado:

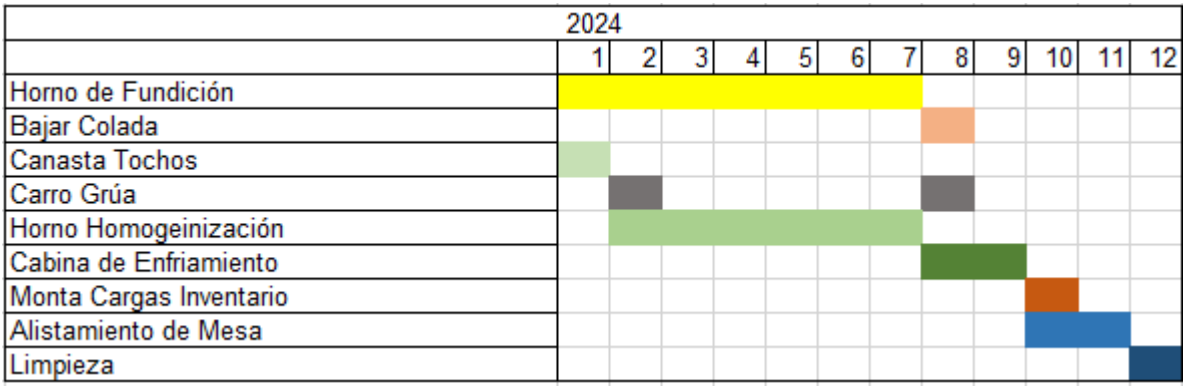
Ecuación 8.
Tiempos canasta de Tochos 2024
Tiempo inicial de encanastado – Tiempo de encanastado =Tiempo canasta de Tochos
7420 s – 3112 s = 4308 s
71 min
(tiempo de encanastado) * (número de unidades) = tiempo CD
(76,6 s) * 31= 2374,6 s
40 min
Tiempo de canasta de Tochos-tiempo CD antiguo + tiempo CD = Tiempo canasta de Tochos 2024
4308 s – 3064 s + 2374,6 s = 3618 s
1 hora
Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023)

Estas variaciones de tiempo pueden verse mejor en la figura 20, donde vemos cómo disminuyó el tiempo del horno de fundición 1 hora, gracias a la disminución de material a procesar, después el encanastado y tiempo CD se favorecen reduciendo el tiempo en 1 hora. Dejando beneficios para el

horario laboral, puesto que deja a los mantenimientos dentro de las horas laborales eliminando todas las horas extras y/o nocturnas.

Figura 20.

Actividades Laborales en 1 Turno 2024

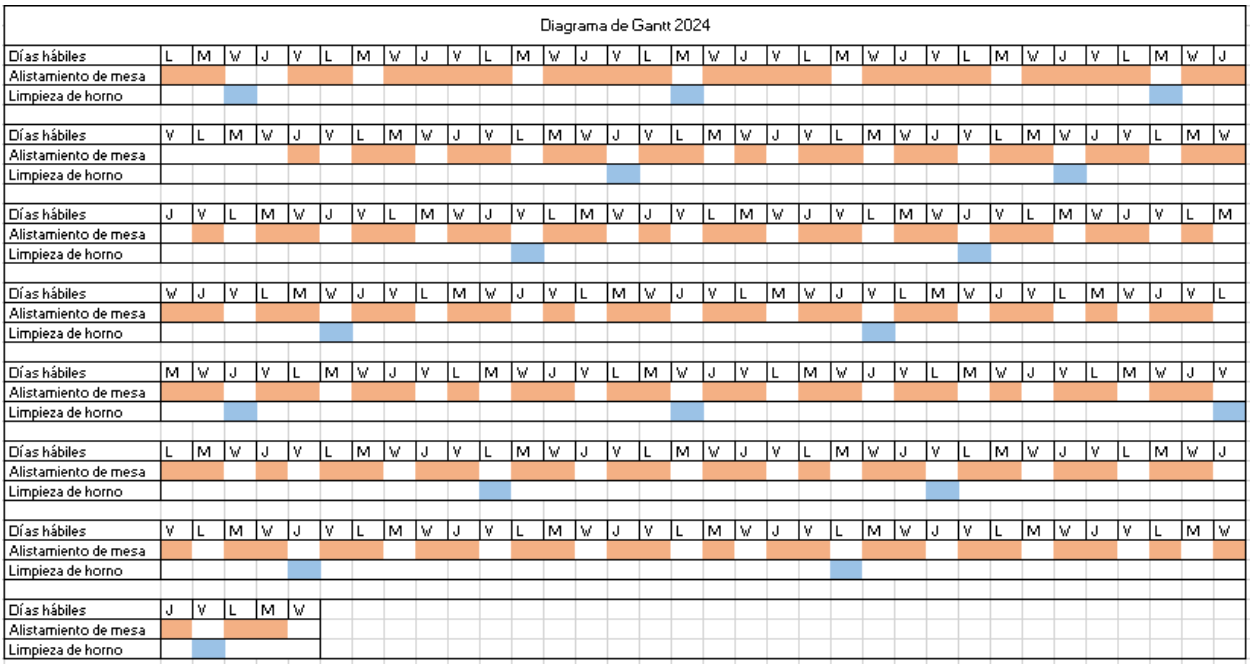


Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Después, hay que adaptar este horario a los días laborales, ya que el mantenimiento de limpieza de horno y alistamiento de mesa afectaban la productividad extendiendo las horas laborales, sin embargo, cómo se vio en el diagrama anterior con la disminución de horas de trabajo necesaria es posible realizar los mantenimientos durante las 12 horas estipuladas, pero, estos mantenimientos no son todos los días, puesto que no es necesario producir todos los días para alcanzar la cantidad de material necesario. Para entender cómo impactan estos cambios al personal de fundición a lo largo del tiempo se puede ver la siguiente figura.

Figura 21.

Días de Producción año 2024



Días de alistamiento de mesa

Días de limpieza de horno

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2022).

Por último, de la anterior figura se puede observar los días de fundición, esto se debe a que los días de fundición están directamente relacionados al mantenimiento del alistamiento de mesa. Por lo tanto, con esta información se puede calcular el valor de mano de obra, teniendo en cuenta que las horas extra y nocturnas han desaparecido, lo que da como resultado que la variable de productividad mano de obra fundición pase de $ 56.218.788 a $ 40.418.182 y que la variable mano de obra extrusión al no recibir cambios en sus horas contratadas ya que la mejora no permite reducir el turno nocturno de trabajo, el valor en términos de la productividad se mantiene muy similar a los valores de 2021 y 2022. Para terminar, se debe señalar que para 164 días de fundición las variables pueden resumirse en lo presentado a continuación en la tabla 30.

Tabla 30.
Variables de productividad 2024 V2

Costo fijo	2024
Salario del Personal de Fundición	$ 40.418.182
Salario del Personal de Extrusión	$ 173.400.000
Costo Variable	
Material Estancado Promedio	$ 70.400.000
Materia Prima Utilizada	$ -

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

En conclusión, la productividad debido al proyecto tuvo un aumento del 18 % en el departamento de producción como se ve en el anexo I, ya que pasó de un valor de 1,16 en el año 2022 a 1,37 en 2024, como se ve en el siguiente conjunto de tablas.

Tabla 31.
Resultado de productividad Proyecto de Solución 2024

Procesos	Otros (M.O)	(M.O)	Otros (M.P)	(M.P)	Energía	Material Estancado	Otros
Fundición	$ 92.933.988,00	$ 40.418.181,82	$ 10.310.267.727,00	$ -	$ 344.667.922,32	$ 70.400.000,00	$ 148.589.396,91
Extrusión	$ 92.933.988,00	$ 173.400.000,00	$ 343.675.590,90	$ -	$ 524.494.664,40	$ -	$ 371.473.492,27
Pintado	$ 119.405.036,45	$ -	$ 229.117.060,60	$ -	$ 149.855.618,40	$ -	$ 520.062.889,17
Anodizado	$ 49.704.545,45	$ -	$ 572.792.651,50	$ -	$ 224.783.427,60	$ -	$ 445.768.190,72
Total	$ 354.977.557,91	$ 213.818.181,82	$ 16.038.194.242,00	$ -	$ 1.498.556.184,00	$ 70.400.000,00	$ 1.485.893.969,06

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

Tabla 32.
Resultado de productividad Proyecto de Solución 2024

Costo operacional	$ 19.661.840.134,79
Ventas	$ 26.859.195.002,38
Productividad	1,37

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

La productividad de 1,37 se alcanza gracias al control de las variables relacionadas al material, la primera es la variable de materia prima la cual recordemos que pasó de $ 151.795.800 en 2022 a $ 0 en 2024 y la segunda es la variable de material estancado, la cual pasó de $778.800.000 a $70.400.000. Cómo consecuencia de controlar las dos primeras variables se encontraron cambios en otras variables. Primero la mano de obra en fundición pasó de $56.218.788 a $.40.418.182; segundo, la mano de obra en extrusión paso de $170.100.000 a $173.400.000 y por último la energía en el área de fundición disminuyó un 17% con relación a la cantidad de días que se usa el proceso de fundición. Por lo tanto, cuando se comparan estas variables con unas ventas esperadas y un costo operacional 40% mayor

aproximado en relación con la cantidad de material procesado a final de año, se obtiene una productividad de 1,37.

4.4. Plan Maestro de Producción

Durante el 2024 se busca ajustar el flujo de material para el procesamiento de 31 Tochos de aluminio, para los cambios de este objetivo se debe capacitar a los operarios, ya que deben ser capaces de seguir el cronograma semanal el cual se basa en el plan maestro de producción que se planteará más adelante.

Tabla 33.

Acciones Por Realizar y Personal de la Idea de Solución 2024

#	Actividad	Responsable	Tiempo		Requerimientos Físicos
Actividad 1	Establecer los valores iniciales del material en proceso	Ingeniero encargado del proyecto	día 1	1 h/día	Computador
Actividad 2	Establecer las actividades y horarios laborales	Ingeniero encargado del proyecto	día 1	1 h/día	Computador
Actividad 3	Comprobar el nivel de inventario de Tochos	Ingeniero encargado del proyecto	día 2 al 5	1 h/día	---------
Actividad 4	Seguimiento por parte de los trabajadores del cronograma de producción	Ingeniero encargado del proyecto	día 2 al 5	1 h/día	Tablero cronograma de producción
#	Descripción de la Actividad				
Actividad 1	Se debe contabilizar en un documento cuántos tochos hay ese día, incluyendo los que se funden ese día. Después, en base al número de tochos se debe realizar un cronograma de producción para la semana y el plan maestro de producción.				
Actividad 2	Con base a los datos iniciales se hace el cálculo del plan semanal para que a lo largo de la semana los días de fundición se adhieran a la secuencia esperada de la figura 21 mostrada en la sección 4.3				
Actividad 3	El ingeniero debe acercarse al durante la operación de bajar la colada para comprobar que si se están procesando el número de tochos correcta				

Actividad 4	Se debe recordar a los trabajadores leer el cronograma semanal, a través de una explicación y un recordatorio durante el tiempo estipulado en la mañana.

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

Por lo tanto, para recordar esta lectura el ingeniero encargado del proyecto debe explicar los dos aspectos del cronograma y después durante 5 días realice un seguimiento a los empleados para asegurar que entiendan su contenido. Este seguimiento se basará en el plan semanal que se ve a continuación en la tabla 34 la cual también será importante como guía de los empleados tanto administrativos como técnicos a lo largo del plan maestro, con el fin de una menor desviación de control.

Tabla 34.

Plan Semanal 2024

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
Unidades del dia	31	31	0	31	31
Producción	x	x		x	x
Alistamiento de mesa	x	x		x	x
Limpieza de horno			x		
Actividad 1			x		
Actividad 2			x		
Actividad 3			x		

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

- Límite de la canasta e inventario de Tochos: como medida para asegurar que el seguimiento del cronograma es un éxito se debe llevar un control de la cantidad de producto a producir en el día, ya que los Tochos que salgan de la fundición deben coincidir con lo que diga el cronograma y puntualmente los Tochos deben ser capaces de entrar a la canasta de Tochos sin necesitar de un inventario parcial.

Ahora, teniendo los lineamientos de producción y la mano de obra preparada se tiene todo listo para seguir con el plan maestro ajustado de producción. Hay que recordar que el plan maestro ajustado de producción establece el rumbo que la producción predice seguir durante el próximo año, sin embargo, recibe como mínimo un ajuste cada tres semanas y para este proyecto donde se hace uso de un cronograma semanal se plantean hacer ajustes una vez a la semana.

Ahora, los datos de la actividad 1 se utilizan para establecer el cronograma de forma que ajuste el inventario de tochos a lo establecido en el capítulo sección 4.2 y después con el resultado de aquella operación las horas laborales como se muestra en la sección 4.3. En este contexto el plan maestro que se ve en la siguiente tabla 35 dice que para un promedio de 21 días laborales al mes los trabajadores realizarán 14 días de fundición, con la finalidad de abastecer la demanda mensual de 101.739 kg, donde, se necesitará un promedio mensual de 92.360 kg de materia prima y una producción promedio mensual de 424 Tochos. En otras palabras, estos indicadores se convierten en la forma de medir si se está cumpliendo o no con las expectativas de producción.

Tabla 35.

Plan Maestro de Producción 2024

Producto	2024											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Tochos a Producir	434	434	372	455	434	372	455	413	434	455	393	434
Materia Prima (Kg) (Al)	94612	94612	81096	99118	94612	81096	99118	90107	94612	99118	85602	94612
Demanda (Kg)	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739	101739
Dias de Fundición	14	14	12	15	14	12	15	13	14	15	13	14
Dias Laborales	21	21	18	22	21	18	22	20	21	22	19	21

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

Por último, teniendo en cuenta la implantación del plan maestro de producción como se ha descrito es necesario complementar con actividades de capacitación, que permitan dirigir, explicar, acompañar y medir el resultado de las actividades de implementación como se ve en el anexo h.

4.5 Límites del Plan de Producción y Recomendaciones

Cuando se comenzó a analizar un límite de producción en el área de fundición con base en la demanda de material se establece lo primero en llegar a su máxima capacidad son las tres primeras operaciones cómo se muestra en la tabla inferior, con una cantidad máxima de 40 Tochos en un ciclo de producción. Sin embargo, entre estas operaciones al comparar sus tiempos de duración y encuentra que la fundición tiene una duración de 32.656 s o 9 horas, bajar la colada demora 2.400 segundos o 40 minutos y el enfriamiento dura 86.400 s o 24 horas, por lo tanto, el primero de los tres en fallar en caso de que la demanda de material se lleve al límite sería el enfriamiento.

5. Análisis de los beneficios y costos de la propuesta

En este capítulo se presentarán los costos de implementación de la propuesta de mejora mencionada en el capítulo anterior, así como los beneficios que traerá dicha implementación, con el fin de evaluar la viabilidad del proyecto.

5.1 Costos del Proyecto

Los costos del proyecto están relacionados con las actividades propuestas en la sección 4.4. y se ven reflejados en la tabla 36 con relación a la siguiente descripción: un ingeniero con la capacidad de plantear el plan de trabajo durante 5 días, un computador para manejar la información durante los 5 días, tiempo para capacitación del personal de fundición de 5 días, actualización de 1 día al plan maestro por parte del ingeniero cada mes, 1 tablero para mostrar el plan semanal, 1 impresora para imprimir el plan semanal y la instalación del tablero. Por otra parte, es necesario tener en cuenta que para el costo y beneficio real la empresa mencionó en una entrevista que es necesario sumar un 45,53% en otros costos, salud, pensión, ARL nivel 3, prima, cesantías, otros, estos otros costos afectan a las variables relacionadas a un salario, salario del personal de extrusión, del ingeniero, de la capacitación, y el salario personal de fundición.

Tabla 36.

Tabla Costos 2024

	Mano de Obra				Recursos Materiales			Total
Elementos	Hora extra diurna	Durante (Días)	Horas (al Día)	#Involucrados	Elementos	Cantidad	Valor	
Ingeniero	$ 58.487,10	5	2	1				$ 584.871,02
					Computador	1	$ -	$ -
	Hora extra diurna	Durante (Días)	Horas (al Día)	#Involucrados	Impresora	1	$ -	$ -
Técnico	$ 12.666,67	5	1	3				$ 190.000,00
	Valor							
Instalación	$ 37.900,00							$ 37.900,00
					Tablero	1	$ 150.000,00	$ 150.000,00
	Hora	Durante (Días)	Horas (al Día)	#Involucrados	Tornillos	1	$ 31.000,00	$ 31.000,00
Experto	$ 50.000,00	5	8	3				$ 6.000.000,00
					Hotel	1	$ 750.000,00	$ 750.000,00
					Transporte		$ 3.100.000,00	$ 3.100.000,00
							Total de Implementación	$ 10.843.771,02

Fuente: Elaboración de los autores (2024).

Las variables de costo de la tabla 36 que representa la fase de instalación de la idea se describen con los siguientes aspectos:

- Ingeniero: Para iniciar debe dedicar 2 horas durante el primer día a plantear los datos y el plan semanal en la actividad 1 y 2, sección 4.4. Así, el ingeniero debe dedicar 1 hora diaria para explicar y recordar cómo se hará la producción según el plan semanal en la actividad 4, sección 4.4. Después, durante las horas de la tarde cuando ya se vierta la colada debe

dedicar 1 hora a confirmar que la cantidad y almacenamiento de los Tochos se está haciendo de forma correcta relacionándose a la actividad 3, sección 4.4. Se pagarán como horas extra durante los 5 días de implementación, pero después será parte de sus labores junto a la actualización del plan maestro.

- Computadora: Elemento que ya tiene disponible la empresa, por lo tanto, no se tuvo en cuenta el valor.
- Capacitaciones: Los miembros de fundición deben hacer una capacitación para comenzar a entender que es importante leer todos los días el plan semanal, para esto se dedicará 1 hora en la mañana donde se les explicará y recordará el uso del plan semanal.
- Tablero: Elemento físico nuevo que hay que comprar.
- Impresora: Elemento que ya tiene disponible la empresa.
- Instalación: Necesita que uno de los operarios dedique 1 hora (se tomará como una hora extra) a la correcta instalación de este tablero donde perforara la pared, acomodará el tornillo y pondrá el tablero.
- Experto: Los tres expertos que se necesitan son los diseñadores de la propuesta, que se encargaran de la explicación y supervisión en la implementación de la propuesta junto a su capacitación durante los 5 días de implementación.
- Transporte: Estos son representados a través del transporte aéreo y terrestre ya que los expertos se encuentran en Bogotá.
- Gasto recurrente: el ingeniero tendrá como consecuencia de implementar el proyecto de solución la realización de un seguimiento y actualización del plan maestro de producción.

5.2 Beneficios Costo Variables del Proyecto

Como resultados en las mejoras en los factores de productividad, los beneficios que traen estos factores en términos del proyecto se pueden centrar en la tabla 37, donde el salario de fundición para 2024 recibe beneficio por seis meses, 2025 tiene un aumento salarial con base al 4,4% de inflación más 1% según las estimaciones promedio del IPC entre el año 2023 – 2024 valor de año corrido dado por el DANE más 1%. Por otra parte, la ganancia de doce meses que se obtendrá del ahorro en intereses se reparte durante 2024 y 2025. Por último, el factor de hora laboral para extrusión se mantuvo constante y el uso del material estancado es un beneficio que la empresa obtendría a mediano plazo de forma regular, por lo que se dejaron fuera de la estimación.

Tabla 37.
Beneficio 2024 a 2026

Elementos		Beneficios (2024)	Beneficios (2025)	Beneficios (2026)
Salario del Personal Fundición		$ 2.633.434	$ 16.653.839	$ 17.443.869
Materia prima Utilizada		$ 11.621.346	$ 11.621.346	$ -
Total		$ 14.254.780	$ 28.275.185	$ 17.443.869

Fuente: Elaboración de los autores (2024).

5.3 Análisis Beneficio Costo

En este contexto los costos y beneficios del proyecto expuestos durante la sección 5.1 y 5.3 se pueden ver resumidos en la siguiente tabla 38.

Tabla 38.

Costo beneficio

Elementos		Beneficios (2024)	Beneficios (2025)	Beneficios (2026)
Salario del Personal Fundición		$ 2.633.434	$ 16.653.839	$ 17.443.869
Materia prima Utilizada		$ 11.621.346	$ 11.621.346	$ -
Total		$ 14.254.780	$ 28.275.185	$ 17.443.869
	Costos (2024)		Costos (2025)	Costos (2026)
Ingeniero	$ 584.871	$ -	$ -	$ -
Computador	$ -	$ -	$ -	$ -
Impresora	$ -	$ -	$ -	$ -
Técnico	$ 190.000	$ -	$ -	$ -
Instalación	$ 37.900	$ -	$ -	$ -
Tablero	$ 150.000	$ -	$ -	$ -
Tornillos	$ 31.000	$ -	$ -	$ -
Experto	$ 6.000.000	$ -	$ -	$ -
Hotel	$ 750.000	$ -	$ -	$ -
Transporte	$ 3.100.000	$ -	$ -	$ -
Gastos Recurrentes	$ -	$ 4.840.312	$ 10.203.377	$ 11.423.136
Total	$ 10.843.771	$ 4.840.312	$ 10.203.377	$ 11.423.136
Total	-$ 10.843.771	$ 9.414.468	$ 18.071.807	$ 6.020.733

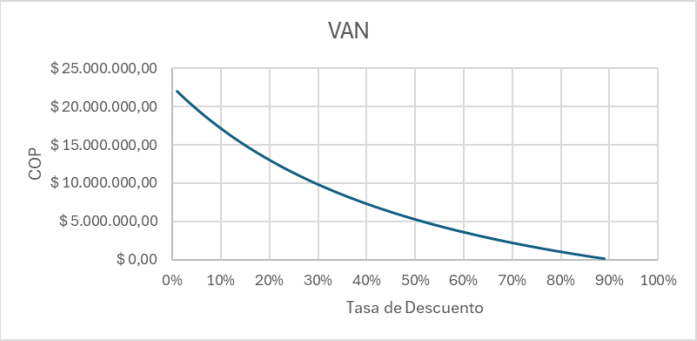
Fuente: Elaboración de los autores (2024)

En la tabla 38 se puede observar que con un costo de $ 10.843.771 COP se puede alcanzar una utilidad de $ 9.414.468 COP en 2024, $ 18.071.807 COP en 2025 y 6.020.733 COP en 2026.

5.4 VAN y Conclusiones

De acuerdo con los datos de la tabla 38 los costos iniciales para el desarrollo de la propuesta de solución en 2024 son $ 10.843.771 COP con una tasa de descuento del 12,75% más un adicional de 4% que resulta en 16,75% dando un valor de VAN equivalente a 14.261.681,3 COP

Figura 22.
Gráfico VAN



Fuente: Elaboración de los autores (2024).

El valor VAN es positivo y en la figura 22 podemos ver que en un cambio de la tasa de descuento el valor VAN es cercano a 0 acercándose a una tasa del 90%, por lo tanto, el proyecto alcanza un retorno positivo superando la tasa de 16,75% del valor VAN. Por lo que se puede concluir que el proyecto es viable, debido a que los beneficios económicos presentados anteriormente son mayores a los costos de implementación, lo que quiere decir que es una alternativa favorable para la empresa.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1 Conclusiones.

Durante el diagnóstico se detectó que los factores relacionados a la falta de planeación afectan directamente la productividad; mano de obra en términos de horas laborales para miembros del personal tanto de fundición como de extrusión y flujo de material en relación con el material tanto estancado como materia prima. En el sentido de los anteriores factores durante el diagnóstico se determinó que para la similitud de costos en 2021 a los acumulados en septiembre de 2022 las ventas son menores, con un cambio de $ 19.242.847.583,51 COP a $ 17.503.469.368 COP respectivamente obteniendo como resultado una productividad de 1,2 y 1,16. Además, este cambio en las ventas está relacionado a la inestabilidad puesto que los picos ascendentes y descendentes de productividad mensual se ven afectados por las ventas que tuvieron variación con la entrada al mercado extranjero en 2022.

El plan para mejorar la productividad en el año 2024 contempla un cambio en la demanda anual de 793.811,42 kg en 2022 a 1.528.000 kg en 2024. En base a esta demanda anual la perspectiva de muda concluyó que los factores de material estancado y materia prima disminuyan ahorrando $ 708.400.000 COP y $ 151.795.800 COP respectivamente en comparación a 2022. Después, desde la perspectiva de mura las horas laborales determinan un ahorro de $ 15.800.606 COP en personal de fundición y un aumento de $3.300.000 COP al personal de extrusión con respecto a 2022. Resultando en una productividad de 1,37 en 2024 teniendo en cuenta que el cambio en materia prima ocurrirá de manera progresiva como se muestra en el anexo f utilizando un porcentaje del material hasta bajar sus niveles de acumulación a 0. En este contexto, el cambio de productividad de 1,16 a 1,37 en productividad representa una mejora general en el área de producción de 18%.

Por otra parte, el análisis costo beneficio representado en la tabla 33 del capítulo 4.4 muestra un costo de implementación de $ 10.843.771 COP con lo que se puede alcanzar una utilidad de $ 9.414.468 COP en 2024, $ 18.071.807 COP en 2025 y 6.020.733 COP en 2026 con un valor VAN es equivalente a 14.261.681,3 COP, la cual es positiva por la que se puede decir que la implementación del proyecto es viable.

6.2 Recomendaciones

Debido a la optimización en el proceso de fundición, se recomienda realizar un aumento de capacidad en el proceso de extrusión en donde se permita resolver el cuello de botella de dicho proceso. Pero si la demanda comienza a superar los 1.220.870,5 kg anuales se propone realizar una expansión del sistema de extrusión y así poder usar la capacidad máxima del proceso de fundición de 40 tochos, recordando que actualmente solo se pueden procesar 31 tochos.

7. Anexos

En esta sección de anexos se mostrará principalmente el estudio de tiempo, primero hay que aclarar que lo primero fue una recolección de datos de tiempo de forma oral, donde se preguntó a los trabajadores cuánto tiempo tardaban en cada máquina, después, teniendo en cuenta el tiempo recolectado y haciendo una observación de en qué maquinaria el flujo de material tenía una mayor duración. En este contexto se estableció que el flujo de material encontraba mayor resistencia durante la primera sección del proceso de fundición (Fundición y Encanastado) y en la primera sección de extrusión (Horno de calentamiento y Extrusión). Por lo tanto, para entender más de estos puntos clave se utilizaron los siguientes factores para el proceso de medición:

- La medición en su totalidad se realizó en el transcurso de tres días
- La cantidad de ciclos fue determinada con una medición inicial que se le realizó a cada operación antes de empezar la toma de datos.
- Se utilizó una metodología de regresión a cero para la toma de tiempos ya que muchas de las operaciones tienen una larga duración (1 hora o más).
- Durante la toma de datos del “horno de fundición” la operación de poner la materia prima recibió una calificación de 80% ya que se encontró desordenado el material del turno anterior.
- Durante la toma de datos del “horno de calentamiento” la operación de calentamiento de Tochos ocurrió un daño en la maquinaria que detuvo la producción durante una hora y después la maquinaria tomó un tiempo en llegar de nuevo a la temperatura correcta por lo que su calificación varía durante la toma de datos.

Anexo A.

Tabla Tiempo de Encanastado en "s"

Encanastado						
Operación	Ciclo	Calificación	Tiempo observado	Tiempo normal	Tiempo Promedio Observado	Tiempo Promedio Normal
Inventariar Tocho	1	100%	3178	3178	3112	3112
	2	100%	3023	3023		
	3	100%	3134	3134		
Calidad Tocho	1	100%	1215	1215	1244	1244
	2	100%	1270	1270		
	3	100%	1227	1227		
	4	100%	1257	1257		
	5	100%	1298	1298		
	6	100%	1237	1237		
	7	100%	1210	1210		
	8	100%	1240	1240		
Encanastado Tocho	1	100%	3037	3037	3064	3064
	2	100%	2996	2996		
	3	100%	3159	3159		

Fuente: Elaboración de los autores con base en información de la empresa (2023).

La anterior tabla de toma de tiempos fue parte del proceso de medición para encontrar y confirmar el cuello de botella entre los tiempos entregados en la entrevista, además de ayudar a observar un tiempo el cual no agregaba valor (inventario de Tochos).

Anexo B.

Tabla Tiempo de Horno de Fundición en "s"

Horno de Fundición						
Operación	Ciclo	Calificación	Tiempo observado	Tiempo normal	Tiempo Promedio Observado	Tiempo Promedio Normal
Ponner la Materia Prima	1	80%	2703	2162,4	3206,75	2565,40
	2	80%	3657	2925,6		
	3	80%	2918	2334,4		
	4	80%	3104	2483,2		
	5	80%	3087	2469,6		
	6	80%	3654	2923,2		
	7	80%	3233	2586,4		
	8	80%	3298	2638,4		
Fundir la Materia Prima	1	100%	28816	28816	29449,67	29449,67
	2	100%	30600	30600		
	3	100%	28933	28933		

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

La anterior tabla de toma de tiempos fue parte del proceso de medición para encontrar y confirmar el cuello de botella entre los tiempos entregados en la entrevista.

Anexo C.

Tabla Tiempo de Horno de Calentamiento tiempo en "s"

Horno de Calentamiento						
Operación	Ciclo	Calificación	Tiempo observado	Tiempo normal	Tiempo Promedio Observado	Tiempo Promedio Normal
Calentamiento de l Tocho	1	100%	8735	8734,81	7960,62	6763,01
	2	100%	7546	7546,14		
	3	100%	7558	7558		
	4	70%	7924	5546,8		
	5	70%	8193	5735,1		
	6	80%	8562	6849,6		
	7	80%	7618	6094,4		
	8	80%	7549	6039,2		
Corte de Tocho	1	100%	7	7,42	10,05	10,05
	2	100%	7	6,98		
	3	100%	9	9,25		
	4	100%	11	10,9		
	5	100%	11	10,96		
	6	100%	14	13,66		
	7	100%	9	9,47		
	8	100%	9	8,85		
	9	100%	12	11,58		
	10	100%	10	9,92		
	11	100%	7	7,41		
	12	100%	9	9,3		
	13	100%	7	7,28		
	14	100%	8	8,06		
	15	100%	7	7,37		
	16	100%	9	8,55		
	17	100%	7	6,74		
	18	100%	6	6,36		
	19	100%	7	7,44		
	20	100%	8	7,64		
	21	100%	11	11		
	22	100%	8	8		
	23	100%	13	13		
	24	100%	7	7		
	25	100%	9	9		
	26	100%	7	7		
	27	100%	10	10		
	28	100%	7	7		
	29	100%	12	12		
	30	100%	8	8		
	31	100%	10	10		
	32	100%	8	8		
	33	100%	12	12		
	34	100%	13	13		
	35	100%	9	9		
	36	100%	12	12		
	37	100%	10	10		
	38	100%	13	13		
	39	100%	9	9		
	40	100%	13	13		
	41	100%	12	12		
	42	100%	11	11		
	43	100%	11	11		
	44	100%	12	12		
	45	100%	10	10		
	46	100%	11	11		
	47	100%	13	13		
	48	100%	10	10		
	49	100%	10	10		
	50	100%	8	8		
	51	100%	10	10		

52	100%	10	10
53	100%	7	7
54	100%	12	12
55	100%	11	11
56	100%	13	13
57	100%	13	13
58	100%	12	12
59	100%	9	9
60	100%	11	11
61	100%	11	11
62	100%	13	13
63	100%	9	9
64	100%	10	10
65	100%	12	12
66	100%	11	11
67	100%	8	8
68	100%	13	13
69	100%	10	10
70	100%	7	7
71	100%	7	7
72	100%	9	9
73	100%	9	9
74	100%	9	9
75	100%	8	8
76	100%	13	13
77	100%	11	11
78	100%	9	9
79	100%	7	7
80	100%	9	9
81	100%	12	12
82	100%	13	13
83	100%	9	9
84	100%	11	11
85	100%	12	12
86	100%	12	12
87	100%	10	10
88	100%	7	7
89	100%	13	13
90	100%	9	9
91	100%	12	12
92	100%	9	9
93	100%	13	13
94	100%	13	13
95	100%	13	13
96	100%	13	13
97	100%	11	11
98	100%	7	7
99	100%	12	12
100	100%	7	7

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

La anterior tabla de toma de tiempos fue parte del proceso de medición para encontrar y confirmar el cuello de botella entre los tiempos entregados en la entrevista.

Anexo D.

Tabla Tiempo de Extrusión tiempo en "s"

Extrución						
Operación	Ciclo	Calificación	Tiempo observado	Tiempo normal	Tiempo Promedio Observado	Tiempo Promedio Normal
Extrución	1	100%	197,46	197,46	210,39	210,39
	2	100%	200,46	200,46		
	3	100%	201,23	201,23		
	4	100%	202,59	202,59		
	5	100%	212,62	212,62		
	6	100%	212,64	212,64		
	7	100%	234,12	234,12		
	8	100%	221,96	221,96		

Fuente: Elaboración de los autores (2023).

La anterior tabla de toma de tiempos fue parte del proceso de medición para encontrar y confirmar el cuello de botella entre los tiempos entregados en la entrevista.

Anexo E.

Tabla Valor de Materia Prima Estancada

Mes	Materia Prima Acumulada		Valor de Materia Prima Estancada	
1	25000	kg	$	1.946.100,00
2	50000	kg	$	3.892.200,00
3	75000	kg	$	5.838.300,00
4	100000	kg	$	7.784.400,00
5	125000	kg	$	9.730.500,00
6	150000	kg	$	11.676.600,00
7	175000	kg	$	13.622.700,00
8	200000	kg	$	15.568.800,00
9	225000	kg	$	17.514.900,00
10	250000	kg	$	19.461.000,00
11	275000	kg	$	21.407.100,00
12	300000	kg	$	23.353.200,00
		Total	$	151.795.800,00

Fuente: Elaboración de los autores en base a información de la empresa (2023).

Teniendo en cuenta el gran tamaño del inventario que la empresa utiliza para guardar sus productos terminados y materia prima, se estima que el material adicional de aluminio acumulado puede ser de 300.000 kg al finalizar el año

Anexo F.

Tabla Utilización Progresiva del inventario Adicional

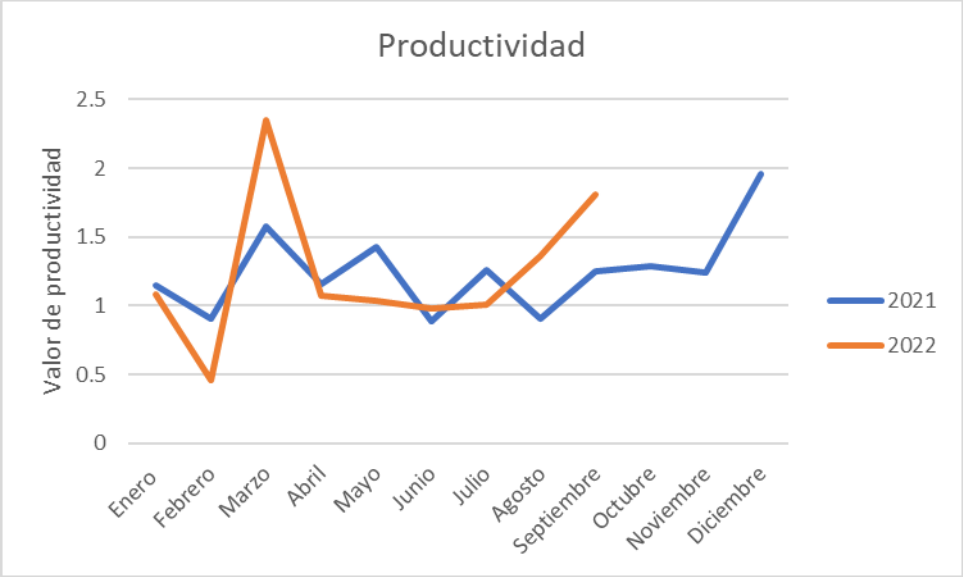
Mes	Utilización Material Acumulado		Disminución del Material Acumulado		Interés Restante
1	26.301,19	kg	273.698,81	kg	$ 21.305.810,17
2	25.545,24	kg	248.153,57	kg	$ 19.317.266,51
3	21.895,92	kg	226.257,65	kg	$ 17.612.800,52
4	26.761,86	kg	199.495,79	kg	$ 15.529.550,29
5	25.545,24	kg	173.950,55	kg	$ 13.541.006,62
6	21.895,92	kg	152.054,63	kg	$ 11.836.540,63
7	26.761,86	kg	125.292,77	kg	$ 9.753.290,40
8	24.328,89	kg	100.963,88	kg	$ 7.859.432,28
9	25.545,24	kg	75.418,64	kg	$ 5.870.888,62
10	26.761,86	kg	48.656,78	kg	$ 3.787.638,39
11	23.112,54	kg	25.544,24	kg	$ 1.988.465,83
12	25.544,24	kg	0,00	kg	$ 0,01
				Total	$ 128.402.690,27
				Disminución Promedio	$ 1.936.891,83

Fuente: Elaboración de los autores en base a información de la empresa (2023).

Para esta tabla se plantea utilizar un 27% del material acumulado como parte del material del año 2024 hasta disminuir el estimado de 300.000 kg a 0 kg en inventario.

Anexo G

Gráfica de la variabilidad de la productividad



Fuente: Elaboración de los autores en base a información de la empresa (2024).

La anterior gráfica muestra la variabilidad que tuvo la productividad durante el año 2021, y hasta septiembre del año 2022. Observando cómo hay picos ascendentes y descendentes de mes a mes.

Anexo H (Capacitación)

Objetivos

- Realizar un acompañamiento que permita al ingeniero a cargo utilizar y actualizar los factores del plan maestro de producción.
- Realizar un acompañamiento que permita a los técnicos poder utilizar el plan semanal para guiar sus actividades diarias.

La presentación de los temas de implementación debe separarse en dos charlas al igual que los objetivos, donde se presentarán los siguientes temas:

Ingeniero a cargo

2) Qué es el plan maestro de producción

3) Cuáles son los factores del plan maestro y qué representan
4) Cómo se realiza la actualización del plan maestro
5) Cómo afecta el plan maestro a la productividad
6) Cómo los factores de productividad se enlazan con el resultado de los factores del plan maestro
7) Cuáles son las actividades de seguimiento que se realizarán durante la implantación y después de ella
8) Cuáles son las actividades y valores de medición que se tendrán en cuenta durante la implementación.

Técnicos

1) Cómo se interpreta el plan semanal
2) Cuáles son las actividades de acompañamiento que se realizarán mientras durante implementa y después de la implementación
3) Cómo se va a comprobar el cumplimiento de las actividades

El acompañamiento al ingeniero a cargo iniciará con la creación del primer plan maestro de producción. Durante este primer plan maestro de producción se pedirá al ingeniero a cargo que recolecta las fechas de los pedidos ya confirmados, con esta información se ajusta el factor de demanda del plan maestro, después, en colaboración de ambos se ajustaran los otros factores en base a la demanda y el límite de inventario estimados durante la propuesta de solución en conjunto de los datos actuales.

El acompañamiento a los técnicos se llevará a cabo principalmente por el ingeniero a cargo en horas de la mañana cuando se hace el recordatorio de utilización del plan semanal, sin embargo, durante los cinco días se apoyará en la supervisión de la tarde para confirmar el cumplimiento del inventario límite.

Al finalizar la semana el resultado de haber implementado ambas partes de la propuesta debe ser visible en términos del inventario y tochos extruidos. Por lo tanto, en caso de que todo se haya ejecutado de forma correcta las unidades de tocho en inventario y las extruidas deben ser menores o iguales a 31.

Anexo I

A continuación, se presenta el cálculo correspondiente al porcentaje de aumento de la productividad debido a la implementación de la propuesta:

Año 2022 1,16

Año 2024 1,37

Porcentaje de productividad = $\frac{1,37-1,16}{1,37}$

Resultando en un 18,1%

8. Referencias

Jaramillo, J. (6 de septiembre de 2022). Historia de la creación de aluminios Exal. (J. Palacio, D. Fuentes, & J. Jiménez, Entrevistadores)

Jaramillo, J. (26 de octubre de 2022). Preguntas enfocadas a la productividad (J. Palacio, D. Fuentes, & J. Jiménez, Entrevistadores)

Angulo, M. (8 de septiembre de 2022). Utilidad financiera de Aluminios Exal. (J. Palacios, D. Fuentes, & J. Jiménez, Entrevistadores)

Raad, G. (15 de Julio de 2022). Guía por la fábrica Aluminios EXAL. (J. Palacio, Entrevistador)

Exal. (2020, 14 mayo). Nosotros. https://exal.com.co/nosotros/

Exal. (2022, 3 marzo). Perfiles de Aluminio | Extruimos Aluminio de Calidad. https://exal.com.co/

Ordoñez, A., V. Milques, J., S. (2019). Propuesta de mejora de la productividad en la empresa industrial Romil S.A.S. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/84914/1/TG02555.pdf

Arica, M., A. & Llagas, S., E. (2021). Propuesta de mejora para incrementar la productividad en el área de confección en una MYPE exportadora del sector textil de prendas de tejido de punto de algodón aplicando herramientas lean manufacturing y BPM. https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/663393/Arica_HM.pdf?sequence=3&isAllowed=y

Chukwulozie, O., P., Nnaemeka, O., E. & Chigoziri, N., I. (2018). Quality and Productivity Management. http://www.iaeng.org/publication/WCECS2018/WCECS2018_pp758-761.pdf

Bernad y Gómez (2019). “Plan de mejoramiento del proceso productivo para la empresa Comodidad y Lujo.” https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/2542

Benavides Yinne, Cucaita Oscar y Gómez Mónica (2023). Propuesta de mejora para el proceso de producción en la planta de espumas de poliuretano flexible de Colchones Paraíso. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/11237/Propuesta%20de%20mejora%20para%20el%20proceso%20de%20producci%c3%b3n%20en%20la%20planta%20de%20espumas%20de%20poliuretano%20flexible%20de%20Colchones%20Para%c3%adso?sequence=1&isAllowed=yE

Moreno José, Reina Andrés, Suarez Iván y Zuluaga Alejandro (2020). Plan de Mejoramiento para la minimización de mudas en el proceso de manufactura de Inarplas. https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/9014/Moreno_Urian_Jose_Leonardo_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Fernandez (2020). “Propuesta de diseño y estandarización de los procesos de producción en la empresa Agentes M SAS” https://repositorio.unbosque.edu.co/handle/20.500.12495/6548

Latorre Carlos, Peña José, Calvo Martínez (2023) “Modelo de Programación de la Producción en Células de Trabajo en el Proceso de Selección y Empaque de Hierbas Aromáticas de la Empresa Agrifresh S.A.”

https://repositorio.unbosque.edu.co/bitstream/handle/20.500.12495/11178/Modelo%20de%20programaci%c3%b3n%20de%20la%20producci%c3%b3n%20en%20c%c3%a9lulas%20de%20trabajo%20en%20el%20proceso%20de%20selecci%c3%b3n%20y%20empaque%20de%20hierbas%20arom%c3%a1ticas%20de%20la%20empresa%20Agrifresh%20S.A.?sequence=1&isAllowed=y

Amortegui, Aunta, Hernadez (2019). Modelo de Programación de la Producción para la Máquina de Corte Refiladora T8: Caso de Estudio Espumas Santafé de Bogotá SA. https://acortar.link/efQDU7

Heizer, J. & Render, B. (2009). Administración de posiciones (7.a ed.).

Socconini Pérez Gómez, L. V. (2019). Lean Manufacturing: paso a paso. Marge Books. https://elibro-net.ezproxy.unbosque.edu.co/es/lc/unbosque/titulos/117567

Walter Stachú, S. (2009). Identificación de la problemática mediante Pareto e Ishikawa... El Cid Editor | apuntes. https://elibro-net.ezproxy.unbosque.edu.co/es/lc/unbosque/titulos/31400

Pérez González, A. (2013). Mantenimiento mecánico de máquinas (2a. ed.). Universitat Jaume I. Servei de Comunicació i Publicacions. https://elibro-net.ezproxy.unbosque.edu.co/es/ereader/unbosque/42317?page=377

Nievel, B. & Freivalds, A. (s. f.). Métodos, estándares y diseño del trabajo (12.a ed.).

Rus, G. D. (2021). Análisis coste-beneficio: evaluación económica de políticas públicas y proyectos de inversión: (4 ed.). Antoni Bosch editor. https://elibro-net.ezproxy.unbosque.edu.co/es/lc/unbosque/titulos/189595

Gutiérrez (2009) Guía para la Elaboración de Diagramas de Flujo. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38889883/UNIDAD_2._Flujogramas-libre.pdf?1443195038=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGuia_para_Elaboracion_Diagramas_de_Flujo.pdf&Expires=1707146972&Signature=TA4G0u~8OGbJt8hcrOUDg3CFPL0GlxujFO8vkFyFNumtjHgCspGA7ofo1Z~jowmEgvnXHAioyo07FFkxpDbU8UEbwukjIyaOYWfbHYSjzkVE9soYftf4DXeWZ~7TXlzjKUvRrTcDb56MlS-KZTv10ZWmzsQv9qJAHx1nc4kf8QaDgvne2VfdzHDu-gM7BpVoiln6vCggcUZVFztwCwvS68p6VjagdCjBZJ9HXkEovP9dnbFa1R4TS5KSc3t0yFj1FW~cyq6Fd2t0Vl2qaW2gQbpMdJ2LVMKfLSa3qBCLgC-2hbIdKMH3arkhKflh~CPq2YxHLebs9O9a8OHShteWDQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

Companys Pascual, R. (2009). Nuevas técnicas de gestión de stocks: MRP y JIT... Marcombo. https://elibro-net.ezproxy.unbosque.edu.co/es/lc/unbosque/titulos/45851

Borda Pérez, M. (2013). El proceso de investigación : visión general de su desarrollo. Universidad del Norte.

Senderská Katarína, Mares Albert, Václav Stefan (2017). SPAGHETTI DIAGRAM APPLICATION FOR WORKERS' MOVEMENT ANALYSIS https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full5a2_608068.pdf

Banco de la República (2 de Febrero 2024), Informe de Política Monetaria 2024, https://www.banrep.gov.co/es/publicaciones-investigaciones/informe-politica-monetaria/enero-

2024#:~:text=Dados%20estos%20resultados%20y%20en,llev%C3%A1ndola%20al%2012%2C75%20%25.