



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Facultad de Ingeniería Industrial

Escuela Profesional de Ingeniería Industrial

**Mejora de la productividad del proceso de pesado de
polvos orgánicos e inorgánicos en una fábrica de
consumibles industriales aplicando lean manufacturing**

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial

AUTOR

Luis David ABARCA MALCA

ASESOR

Mg. Daniel Humberto MAVILA HINOJOZA

Lima, Perú

2022



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Abarca, L. (2022). *Mejora de la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una fábrica de consumibles industriales aplicando lean manufacturing*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Industrial, Escuela Profesional de Ingeniería Industrial]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Luis David Abarca Malca.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	71338016
URL de ORCID	
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Daniel Humberto Mavila Hinojoza.
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06016444
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-3993-1836
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Ana Maria Medina Escudero
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	10688345
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Edgardo Aurelio Mendoza Altez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06605547
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Ernesto Altamirano Flores
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	80597422
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.4.1 Desarrollo de modelos, simulación y optimización de procesos
Grupo de investigación	No Aplica

Agencia de financiamiento	Sin financiamiento.
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lurin Calle: Antigua Panamericana Sur Km. 38.5 Latitud: -12.273595 Longitud: -76.848978
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Enero 2020 – diciembre 2020
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería Industrial https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.11.04



ACTA DE SUSTENTACIÓN NO PRESENCIAL N°018-VDAP-FII-2022

SUSTENTACIÓN DE TESIS NO PRESENCIAL (VIRTUAL) PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO INDUSTRIAL

El Jurado designado por la Facultad de Ingeniería Industrial, reunidos de manera virtual a través de video conferencia, el día **viernes 11 de noviembre de 2022**, a las 10:00 horas, se dará inicio a la sustentación de la tesis:

“MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE PESADO DE POLVOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN UNA FÁBRICA DE CONSUMIBLES INDUSTRIALES APLICANDO LEAN MANUFACTURING”

Que presenta el Bachiller:

LUIS DAVID ABARCA MALCA

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Industrial en la Modalidad: Ordinaria.

Luego de la exposición virtual, absueltas las preguntas del Jurado y siendo las 11:00 horas se procedió a la evaluación secreta, habiendo sido APROBADO, por UNANIMIDAD con la calificación promedio de QUINCE, lo cual se comunicó públicamente.

Lima, 11 de noviembre del 2022

MG. ANA MARIA MEDINA ESCUDERO

Presidente

DR. ERNESTO ALTAMIRANO FLORES

Miembro

ING. EDGARDO AURELIO MENDOZA ALTEZ

Miembro

MG. DANIEL HUMBERTO MAVILA HINOJOZA

Asesor



UNMSM

Firmado digitalmente por RAEZ
GUEVARA Luis Rolando FAU
20148092292 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15.11.2022 14:25:06 -05:00

MG. LUIS ROLANDO RAEZ GUEVARA
Vicedecano Académico – FII



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
"Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional"

ANEXO 1

INFORME DE EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD

1. **Facultad:** Ingeniería Industrial.
2. **Área:** Escuela Profesional de Ingeniería Industrial.
3. **Autoría académica que emite el informe de originalidad:**
Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Industrial
4. **Apellidos y nombres de la autoridad académica:** Dr. Tinoco Gómez Oscar Rafael
5. **Operador del programa informático de similitudes:**
Secretaria de la E.P. de Ingeniería Industrial
6. **Documento Evaluado:** Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Industrial
"MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE PESADO DE POLVOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN UNA FÁBRICA DE CONSUMIBLES INDUSTRIALES APLICANDO LEAN MANUFACTURING"
7. **Autor del Documento:** ABARCA MALCA LUIS DAVID.
8. **Fecha de recepción del documento:** 28/11/2022
9. **Fecha de aplicación del programa de similitudes:** 29/11/2022
10. **Software Utilizado:** Turnitin.
11. **Configuración del programa detector de similitudes:**
 - a. Excluye textos entrecomillados.
 - b. Excluye Índice, caratula y bibliografía.
 - c. Excluye cadenas menores a 40 palabras.
12. **Porcentaje de similitudes encontradas:** Tres por ciento (3%).
13. **Fuentes originales de las similitudes encontradas:** Ver Anexo 1-Informe de Evaluación de Originalidad.
14. **Observaciones:** No
15. **Calificación de originalidad:**
 - a. Documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.
16. **Fecha de Informe:** 29 de noviembre del 2022.



UNMSM

Firmado digitalmente por TINOCO
GÓMEZ Oscar Rafael FAU
20148092282 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 29.11.2022 15:42:08 -05:00

Dr. TINOCO GÓMEZ OSCAR RAFAEL
Director EPII



DEDICATORIA

*A Dios, por la profundidad de sus riquezas,
su sabiduría y conocimiento.*

*Porque de Él, por Él y para Él son todas las
cosas. A Él sea la gloria. Siempre. Si algo
he logrado, viene de Dios y es para Él.*

*A mis padres y hermanos, por el apoyo y
soporte que siempre me han brindado.*

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	3
1.1. Introducción	3
1.2. Planteamiento del problema	5
1.2.1. Determinación del problema.....	5
1.2.2. Formulación del problema	8
1.2.1.1 Problema General	8
1.2.1.2 Problemas Específicos.....	8
1.3. Objetivos	9
1.3.1. Objetivo General.....	9
1.3.2. Objetivos específicos.....	9
1.4. Justificación e Importancia de la investigación	10
1.4.1. Justificación Teórica	10
1.4.2. Justificación Práctica	10
1.4.3. Justificación Metodológica.....	12
CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA.....	14
2.1. Marco teórico	14
2.1.1. Evolución de los Métodos de Trabajo.....	14
2.1.2. Lean Manufacturing	18
2.1.3. Just In Time	28
2.1.4. One Piece Flow	30
2.1.5. Tiempo de Ciclo y Capacidad de Proceso.....	33
2.1.6. Mezclado de polvos orgánicos e Inorgánicos	34
2.2. Antecedentes del estudio	39

2.2.1. Antecedentes Internacionales	39
2.2.2. Antecedentes Nacionales	41
2.3. Definición de términos.....	44
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES	46
3.1. Hipótesis	46
3.1.1. Hipótesis General.....	46
3.1.2. Hipótesis específicas.....	46
3.2. Variables	46
CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
4.1. Tipo de Investigación	47
4.2. Diseño de Investigación	47
4.3. Población y muestra.....	48
4.4. Técnicas de Recolección de Datos.....	49
4.5. Análisis e Interpretación de la Información	49
CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS	50
5.1. Diagnóstico	50
5.1.1. Descripción del proceso actual.....	50
5.1.1.1. Subproceso de Pesado de Polvos	51
5.1.1.2. Subproceso de Ensacado	52
5.1.1.3. Actividades Auxiliares	53
5.1.2. Análisis de Ratios Productivos para el proceso actual.	55
5.2. Análisis de las oportunidades	58
5.2.1. La teoría de los Caudales.....	68
5.3. Aplicación.....	89
5.3.1. Aplicación de Oportunidades al Proceso Actual	89
5.3.2. Modificaciones para el Proceso Actual	93

5.4. Análisis de Costo-Beneficio	98
5.4.1. Costos	98
5.4.2. Beneficios	99
5.4.3. Comparación Costo Beneficio	100
CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	101
6.1. Presentación de resultados.....	101
6.1.1. Mejora de la productividad.....	101
6.1.2. Reducción de Desperdicios	104
6.1.3. Beneficio financiero	107
6.2. Contrastación de hipótesis.....	108
6.3. Discusión de resultados	109
6.3.1. Discusión de Objetivo General	109
6.3.2. Discusión de Objetivos Específicos	109
6.3.3. Discusión de resultados en comparación con antecedentes	110
CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
7.1. Conclusiones	115
7.2. Recomendaciones	116
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
ANEXOS	126

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Productividad del Proceso	56
Tabla 2 Medición de desplazamiento de materiales y operadores	57
Tabla 3 Tiempo de preparación de sacos.....	57
Tabla 4 Micro movimientos del proceso.....	58
Tabla 5 Micro movimientos del proceso de ensacado	58
Tabla 6 Beneficio Neto Acumulado - Año 1 (USD)	100
Tabla 7 Beneficio Neto Acumulado - Año 2 (USD)	100
Tabla 8 Mejora de Productividad producto de las mejoras al proceso	101
Tabla 9 Reducción de desplazamiento de materiales y operadores	104
Tabla 10 Reducción de Sobreprocesamiento.....	105
Tabla 11 Beneficio Neto Acumulado del proyecto (USD)	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Perú: Empresas Manufactureras, según segmento empresarial, 2018 - 19	11
Figura 2 Evolución de los Métodos de Trabajo a través de la historia	14
Figura 3 Actividades que agregan valor al producto.....	19
Figura 4 Comparación de Producción por Lotes contra 'One Piece Flow'	32
Figura 5 Tipos de Mezclas	34
Figura 6 Mezcladores de tambor. a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono	35
Figura 7 Diagrama descriptivo del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos.....	51
Figura 8 Diagrama de Operaciones del Proceso de Mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos	54
Figura 9 Standard Work Combination Sheet - Proceso Actual	56
Figura 10 Tiempo Total de Viaje - Escenario 1.....	60
Figura 11 Cálculo del tiempo total de viaje - Escenario 1	60
Figura 12 Tiempo Total de Viaje - Escenario 2	60
Figura 13 Cálculo del tiempo parcial de viaje - Escenario 2.....	61
Figura 14 Cálculo del tiempo total de viaje - Escenario 2	61
Figura 15 Interacción entre criterios para optimización de la dinámica de flujo de materiales	68
Figura 16 Subproceso Propuesto	69
Figura 17 Proceso supuesto	70
Figura 18 Equivalencia de Variables.....	71
Figura 19 Modelo con aumento de la sección transversal	74

Figura 20 Proceso con aumento de la sección transversal	76
Figura 21 Los 7 Desperdicios.....	78
Figura 22 Modelo con Reducción de la Sección Transversal	80
Figura 23 Proceso con Reducción de la sección transversal	82
Figura 24 Modelo sin alteración de Sección Transversal	83
Figura 25 Relación de la Teoría de los Caudales con los criterios de optimización del flujo de materiales	89
Figura 26 Deducción de modelo de caudal del proceso.	90
Figura 27 Modelo de caudal de proceso propuesto	92
Figura 28 Acondicionamiento de Sacos	94
Figura 29 Tipo de contenedor propuesto	94
Figura 30 Esquema de sistema de descarga de bigbags hacia mezclador en la siguiente etapa del proceso.....	97
Figura 31 Representación gráfica de procesamiento de tres ciclos de trabajo.....	102
Figura 32 Procesamiento del triple de mezcla de polvos - Proceso propuesto.....	102
Figura 33 Comparación de tiempos totales de viaje.....	103
Figura 34 Diagrama de Operaciones de Proceso del proceso propuesto.....	106

RESUMEN

Existen básicamente dos formas de mantener e incrementar la rentabilidad de un negocio; la primera es incrementar ingresos y la segunda, reducir costos. La primera mitad de la ecuación está en manos de los responsables de ventas y desarrollo de la empresa en el mercado. La segunda mitad de la ecuación es entera responsabilidad de la gestión de Operaciones y Cadena de Suministro: la reducción de costos. Esto se traduce en que todo centro de operaciones mantiene el desafío de aumentar su productividad, lo que significa minimizar los recursos utilizados para generar la máxima cantidad de producto. En este camino interminable de mejora de la productividad, fábricas de todo el mundo a lo largo de muchos años han desarrollado técnicas de reducción de tiempos, agilización y control de procesos, reducción de mermas, entre muchas otras que dan como resultado procesos cada vez más eficientes y competitivos.

El presente trabajo de investigación desarrolla el análisis llevado a cabo para transformar un proceso de manufactura de forma que la productividad sea incrementada utilizando los principios de 'Lean Manufacturing' y una metodología denominada 'Teoría de Caudales' para conseguir un sistema más eficiente de flujo de materiales.

Producto de las mejoras analizadas a lo largo de la investigación se obtuvo un incremento del 85% de la productividad en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos. Los desperdicios de transporte y desplazamiento se redujeron en 41% y el desperdicio de sobreprocesamiento se redujo en 41%.

Palabras clave: Productividad, Lean Manufacturing, Flujo de Materiales, Pesado.

ABSTRACT

There are two basic ways to maintain and increase the profitability of a business; the first is to increase revenue and the second, to reduce costs. The first half of the equation is in the hands of those in charge of sales and market development. The second half of the equation is entirely responsibility of Operations and Supply Chain management: cost reduction. This means that every operations center keeps the constant challenge of increasing productivity, which means minimizing the amount of all kinds of resources used to generate the maximum amount of product. In this endless path of productivity improvement, factories around the world over many years have developed techniques for time reduction, streamlining and processes' control, reduction of waste, among many others that result in increasingly efficient and competitive processes.

This research work develops the analysis carried out to transform a manufacturing process for its productivity to be increased using continuous improvement techniques such as Lean Manufacturing and a principle called 'Flow Rate Theory' to achieve an efficient material flow system.

As a result of the improvements analyzed throughout this research, productivity was increased by 85% for the analyzed process. Transportation and commuting wastes were reduced by 41% and overprocessing waste was reduced by 41%.

Keywords: Productivity, Lean Manufacturing, Material Flow, Weighting.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

Toda empresa es consciente de la necesidad de mejorar sus procesos. En todo centro de operaciones se suelen encontrar oportunidades de mejora continua abordadas a través de proyectos de mejora para potenciar algún u otro resultado de la empresa. Sin embargo, tan frecuente como es hallar esfuerzos de mejora continua, es también bastante frecuente encontrar que muchos de estos proyectos (y en todo nivel de complejidad) parten de análisis primordialmente empíricos y al no descansar sobre un fundamento sólido o algún respaldado en bases objetivas, muchas veces estos proyectos de mejora fracasan.

En el primer capítulo del presente trabajo de investigación se define el problema general y problemas específicos identificados en la empresa tomada como objeto de la investigación. En este capítulo se destaca la importancia de la investigación en el plano teórico, metodológico y práctico. También se presentan los objetivos que se buscan lograr en la tesis.

En el segundo capítulo se presenta un resumen de la literatura pertinente a los temas relevantes para la investigación. Es en este capítulo donde se presentan conceptos relacionados con Lean Manufacturing, metodología que enfoca los esfuerzos hacia minimizar los desperdicios presentes en cualquier proceso de fabricación e incluso procesos de toda índole.

En el tercer capítulo de la tesis se formula la hipótesis y variables que conducen el desarrollo de la investigación. En este capítulo se presentan los supuestos formulados para conseguir resolver tanto el problema general como los problemas específicos que atañen a la investigación.

En el cuarto capítulo se presenta el diseño de la investigación, desplegando qué tipo de investigación se desarrolló, cuál es la población y cuál la muestra para la investigación.

El capítulo cinco inicia con un diagnóstico al proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos en la empresa. Para este diagnóstico se describe el proceso y se precisan las actividades que lo componen. Todo esto acompañado de los ratios productivos que caracterizan el proceso. A continuación, se analizan las oportunidades que surgen de la filosofía de Lean Manufacturing y se introduce la metodología utilizada para obtener de manera objetiva y numérica la viabilidad y conveniencia de las oportunidades de mejora. Una vez demostrada la conveniencia de las oportunidades, en este quinto capítulo se presenta un análisis de costo-beneficio para expresar monetariamente la magnitud del impacto favorable generado al aplicar Lean Manufacturing.

El capítulo seis despliega los resultados de la investigación. Se presentan los resultados de la mejoría obtenida a través de Lean Manufacturing. En este capítulo se presenta qué desperdicios se lograron reducir y en qué magnitud. Junto con esto, se contrasta la hipótesis planteada en el capítulo tres.

Finalmente, en el séptimo capítulo de este trabajo de investigación se presentan las conclusiones realzando los puntos más importantes de la tesis. También se presentan recomendaciones que se desprenden de lo desarrollado en la investigación para ser aprovechadas tanto por la empresa como por la comunidad industrial.

1.2. Planteamiento del problema

1.2.1. Determinación del problema

La empresa en la cual se desarrolla el presente trabajo de investigación pertenece a un grupo empresarial dedicado al desarrollo, diseño, fabricación y comercialización de consumibles industriales utilizados como insumos en un amplio rango de aplicación: metalmecánica, minería, industria automotriz, construcción, industria de alimentos, proyectos, entre otros.

Este grupo empresarial cuenta con centros de operaciones a lo largo de todo el mundo y mantiene una importante presencia en el continente y en la industria global. En la región Sudamérica, el grupo empresarial tiene fábricas en Brasil, Argentina y Colombia además de Perú.

Rajdell y Sánchez (2010) resaltan que entre la gran variedad de técnicas existentes para conseguir la mejoría en procesos se destaca Lean Manufacturing. Este es un sistema altamente enfocado en la eficiencia del negocio aplicando distintas herramientas. Tanto es así, que el texto lleva por título "Lean Manufacturing: La evidencia de una Necesidad".

En el ámbito internacional, el caso de éxito más icónico de impacto positivo es el de la fábrica de Toyota. Los ya citados Rajdell y Sanchez indican que producto de una caída de ventas, Toyota tuvo que realizar un recorte considerable en su personal en el año 1949. El ingeniero Eiji Toyoda viajó a la planta de Ford, en donde luego de analizar los procesos ahí, concluyó que el problema fundamental que debían abordar es el de los despilfarros.

Toyota trabajó intensamente para corregir esto y surgió la filosofía de Lean Manufacturing.

Dennis y Pascal (2002) relatan que más adelante, en la década de los Setenta, este nuevo método desarrollado por Toyota comenzó a desplazar al fordismo y al taylorismo, de forma que el nuevo método Lean Manufacturing cobró importancia internacional como filosofía de manufactura, y así los impactos positivos del Lean Manufacturing terminaron por favorecer a la economía Mundial.

En el ámbito nacional, Alvarado (2014) señala en un artículo publicado por la escuela de posgrado de la universidad ESAN que, si bien el concepto “Lean” ha sido de alta trascendencia en el entorno internacional y que viene generando resultados positivos en toda clase de industrias y procesos, la realidad de mayoría de las empresas en el Perú no tiene un enfoque “Lean”. Es suficiente, indica Alvarado, comparar los costos productivos y logísticos con compañías similares en el mercado regional y global para concluir que el Perú está rezagado. Esto les resta competitividad a las empresas peruanas en el mercado internacional.

Para analizar de forma cuantitativa el desempeño de una operación se puede utilizar la medida de productividad. De acuerdo con Chase, R. et al (2009), la productividad como concepto industrial expresa la relación entre las salidas de un proceso con las entradas de este.

Para esta investigación se ha comparado los niveles de productividad entre las fábricas del mismo sector para procesos similares. Se ha encontrado que, para el proceso de pesado de polvos de las fábricas del grupo

empresarial al cual pertenece La Empresa, la planta de Perú (objeto de la investigación) tuvo una productividad de 880 kg/h-h en el año 2020, mientras que, en las plantas de Colombia y Argentina, los niveles de productividad para los procesos homólogos son del orden de los 1200 kg/h-h y en la planta de Brasil, este mismo indicador tuvo cerca de 2500 kg/h-h. La mejoría de la productividad del proceso de mezclado de polvos es, entonces, el objetivo principal de la presente investigación.

1.2.2. Formulación del problema

El nivel actual de productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos es una situación no deseada para la fábrica de Perú. El desarrollo de este proyecto busca aumentar la productividad del proceso y de esa forma igualar e inclusive mejorar el desempeño del proceso de pesado de polvos en la fábrica de Perú en comparación con las otras fábricas del mismo sector.

1.2.1.1 Problema General

PG. ¿De qué forma se puede incrementar la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en la planta de fabricación de consumibles industriales?

1.2.1.2 Problemas Específicos

PE1. ¿De qué manera se pueden reducir los desperdicios por desplazamientos, transporte y sobre procesamiento en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de Lean Manufacturing?

PE2. ¿Cuál debe ser el peso de la unidad procesada en un ciclo de trabajo para optimizar la productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de la teoría de los caudales?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

OG. Incrementar la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una planta de fabricación de consumibles industriales mediante la aplicación de Lean Manufacturing.

1.3.2. Objetivos específicos

OE1. Reducir los desperdicios de desplazamiento, transporte y Sobreprocesamiento en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de Lean Manufacturing.

OE2. Calcular el peso óptimo de la unidad procesada en cada ciclo de trabajo en el proceso para obtener la máxima productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos.

1.4. Justificación e Importancia de la investigación

1.4.1. Justificación Teórica

De acuerdo con Santiesteban (2011), la producción es una de las áreas de mayor importancia entre las empresas dado que sus actividades son aquellas que más costos generan. De aquí la vital importancia que cada empresa debería otorgarles a los esfuerzos por conseguir mejora continua entre los procesos productivos.

El proyecto de investigación es relevante dado que tiene como intención el incremento de la productividad lo cual por definición, de acuerdo con Jacob y Aquilano (2009), consiste en mejorar la relación de entradas comparadas con las salidas. Esto se traduce de forma concreta, para un proceso productivo, en la reducción de costos de transformación. En este sentido, la importancia de esta investigación radica en la posibilidad de reducir costos para la fábrica de soldaduras al optimizar el sistema de flujo de materiales en el subproceso de mezclado para, de esta forma, reducir costos por aumento de la productividad.

1.4.2. Justificación Práctica

De acuerdo con INEI (2019) – Ver Figura 1 – 99.1% de las empresas manufactureras en el Perú se ubicaban en el segmento de Micro y Pequeña empresa; esto es 209,450 empresas: cada una de ellas sumergida en un entorno de alta competencia en el cual solo aquellas con la capacidad de mejorar y adaptarse son capaces de subsistir.

Figura 1 Perú: Empresas Manufactureras, según segmento empresarial, 2018 - 19

Segmento empresarial	2018	2019		Var % 2019/18
		Absoluto	Porcentaje	
Total	188 650	211 324	100,0	12,0
Microempresa	177 160	199 856	94,6	12,8
Pequeña empresa	9 571	9 594	4,5	0,2
Gran y mediana empresa	1 908	1 865	0,9	-2,3
Administración pública	11	9	0,0	-18,2

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – Dirección Central de Empresas y Establecimientos (2019).

Cuando estas empresas se establecen, rápidamente se enfrentan con el reto de incrementar la capacidad de sus operaciones para afrontar la demanda de forma estable.

Lamentablemente, la ruta que muchas de estas empresas siguen al dar el ‘salto hacia adelante’ es la de la tecnificación y automatización de sus incipientes procesos sin haber diseñado o planteado de forma correcta la dinámica de flujo de materiales y mantienen sistemas productivos altamente ineficientes. Muchos de estos empresarios invierten en tecnologías sofisticadas y aparentemente rentables, pero que no se ajustan a la realidad de sus operaciones y por tanto fracasan.

El CEO de Microsoft, Gates (1995) enunció:

La primera regla de cualquier tecnología utilizada en los negocios es que la automatización aplicada a una operación eficiente magnificará la eficiencia. La segunda es que, si la automatización se aplica a una operación ineficiente, magnificará la ineficiencia.

Por tanto, es necesario que toda empresa – en cualquier etapa de su crecimiento – plantee sistemas productivos eficientes.

En el plano práctico, esta investigación permite a la empresa concretar la iniciativa de mejora detallada en la presente investigación modificando el proceso de mezclado de forma que el flujo de materiales sea más eficiente.

1.4.3. Justificación Metodológica

El presente trabajo de investigación tiene la finalidad de incrementar la productividad a través de la filosofía del Lean Manufacturing en una fábrica concreta. Sin embargo, el método presentado a lo largo del desarrollo de la investigación establece una perspectiva de análisis extrapolable a cualquier otro proceso o fábrica incluso si no se trata de un proceso de pesado de polvos. La metodología de es aplicable a cualquier par de procesos adyacentes conectados por flujo de materiales de uno a otro. Con esto, cualquier par de procesos podrá revisar de forma cuantitativa la viabilidad de sus oportunidades para mejorar la dinámica de flujo de materiales entre procesos.

La importante consultora trasnacional CIAL Dun & Bradstreet (s.f.) menciona en su artículo titulado “El Valor de los Números en la toma de decisiones” lo siguiente: “tomar decisiones basadas en números, y no en presentimientos, permite crear escenarios ante distintas situaciones -de la más adversa a la más optimista-, lo que contribuye a minimizar riesgos. Además, las soluciones adecuadas ayudan a acelerar ingresos, reducir costos y transformar negocios.”

En este sentido, la investigación es relevante para la empresa y la comunidad industrial dado que ayuda a tomar las iniciativas de mejora recogidas de apreciación empírica y encausarlas hacia el análisis numérico para permitir decidir más asertivamente con información objetiva.

CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

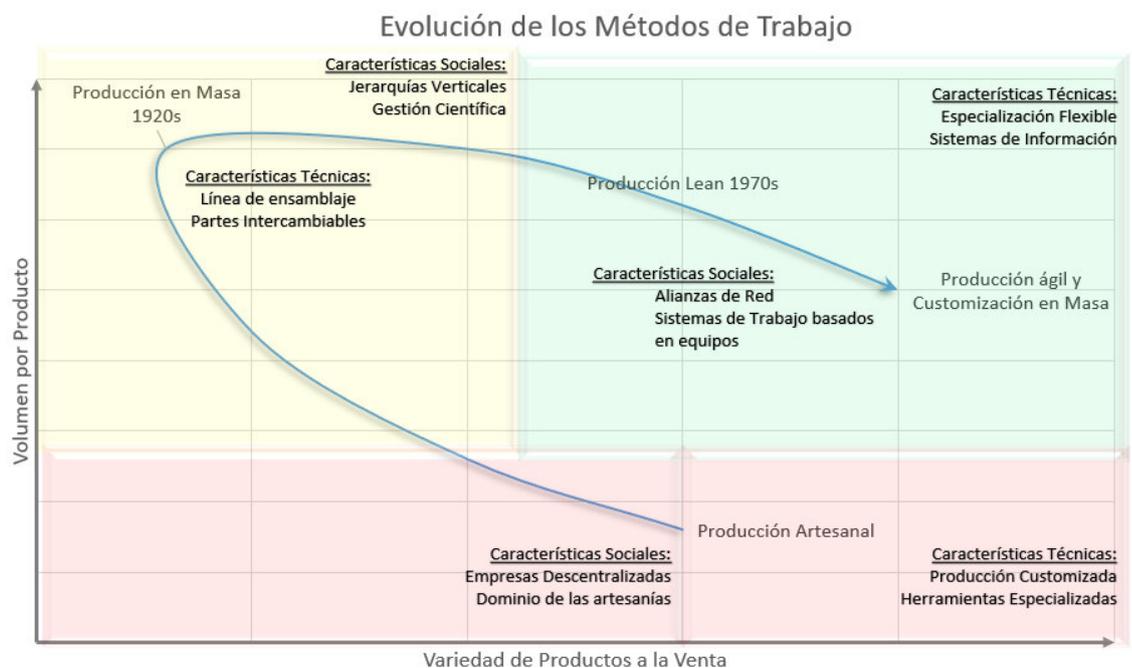
2.1. Marco teórico

2.1.1. Evolución de los Métodos de Trabajo

Piller & Reichwald (2002) realizaron un recorrido por la línea de tiempo de la evolución de los métodos de trabajo a través de las diversas etapas por las que ha pasado hasta llegar a los métodos de trabajo.

En el análisis histórico, de los referenciados autores, se observa cómo los sistemas productivos y la naturaleza del trabajo han evolucionado de formas muy pronunciadas a través de los años. La industria como se conoce hoy es producto de un sinnúmero de transformaciones que tomaron lugar principalmente en el último siglo. Ver figura 2:

Figura 2 Evolución de los Métodos de Trabajo a través de la historia



Fuente: Piller and Reichwald (2002) Evolution of production understanding

El modelo de producción más incipiente y extendido en el mundo antiguo fue la producción artesanal. En cada comunidad, pueblo y aldea existían artesanos que elaboraban aquello que se utilizaba en todo aspecto: desde la ornamentación hasta las armas de guerra.

Piller & Reichwald (2002) observan que este primer modelo de producción fue caracterizado por productos desarrollados y fabricados uno a uno.

Las herramientas eran especializadas y cada artesano diseñaba y acondicionaba las condiciones, herramientas y procesos al bien que producía.

La producción en esta etapa de la historia de la industria manejaba volúmenes bajos de producción (en comparación con los volúmenes que las empresas entienden como “normales” hoy en día) y una muy amplia variedad de productos distintos. El mayor alcance que un artesano abarcaba con su producción era su comunidad y en el mejor de los casos, sus comunidades aledañas.

Casi no existía la idea que una misma “empresa” u “organización” funcionara bajo lo que hoy se conoce como modelo corporativo. El mundo era descentralizado por completo y ciertamente la naturaleza del trabajo era suficiente para la demanda y la realidad mercantil de aquel entonces. Este sistema de producción es el denominado ‘Producción Artesanal’ en los 1’900s: Alta variedad de productos y volúmenes bajos por producto.

Acercándonos al final del siglo XIX e inicios del siglo XX el mundo comenzó a experimentar uno de los hitos que sin duda condujeron a la industria hacia donde hoy está: la revolución industrial.

La curva en la historia de la industria se vuelve bastante pronunciada en la esquina superior izquierda. En esta etapa de la industria el mundo logró desarrollar los medios tecnológicos suficientes para aprovechar los beneficios de la producción en masa.

Van Der Laat (1991) profundiza en el impacto de elementos como la máquina a vapor como agentes de alta transformación para la industria mundial.

Algunos de los fundamentos tecnológicos de esta etapa fueron la cadena de montaje, las fajas transportadoras, el mecanizado masivo de piezas, la estandarización de piezas, la definición de límites de trabajo (tareas específicas) y control del ritmo de la producción.

Como lo muestra el gráfico, esta etapa está caracterizada un aumento de los volúmenes de producción único en la historia y a su vez por un número muy reducido de productos distintos.

Piller & Reichwald (2002) luego señalan cómo al reducir el número de productos para vender, se comenzó a masificar la fabricación para dar lugar al concepto de “economías de escala”. Comercializar bienes fabricados en masa se hacía más rentable que diversificarla entre talleres artesanales. En este punto fábricas en el mundo comenzaron a especializarse y esto dinamizó el avance tecnológico e ingenieril de formas disruptivas: un círculo virtuoso en el que el avance tecnológico

permitía el avance de la industria y el avance de la industria fomentaba la especialización tecnológica.

Cutcher-Gershenfeld et al. (2000) desarrolla en su libro 'Trabajo Impulsado por el Conocimiento' cómo es que todos estos cambios en la evolución de los métodos de trabajo también produjeron una transformación al interior de las empresas.

Cuchter – Gershenfeld et al. (2000) resaltan cómo en los inicios de la producción en masa, los trabajadores eran una pieza más utilizada junto con las máquinas para obtener ganancias económicas. Sin embargo, conforme la curva de la evolución de los métodos fue avanzando hacia los sistemas de customización en masa a fines de los años 80s, también se hizo más evidente la relevancia de la participación humana como agente transformador desde adentro de las organizaciones y no como una 'herramienta adicional' en los procesos.

En este punto se gesta lo que hoy se conoce como Lean Manufacturing. Womack J. & Jones D. (2010) relatan que desde el interior de TOYOTA en japon se comenzó a gestar una mentalidad que condujo a esta gran empresa a trascender entre el mundo de las operaciones como una de un desempeño destacado. Esta nueva mentalidad fue luego denominada Lean Manufacturing y hasta el día de hoy prevalece como una de las metodologías más estudiadas y aplicadas a lo largo del mundo y en toda clase de industrial.

2.1.2. Lean Manufacturing

Según Womack & Jones (2010), existen desperdicios al interior de los procesos que afectan negativamente al desempeño de estos. Los autores mencionados indican que el “antídoto” para estos desperdicios es el “Lean Thinking”, el cual se describe como una forma de entender los procesos y abordar las oportunidades de mejora considerando conceptos entre los cuales se encuentran los siguientes:

El Valor desde el Punto de Vista del Cliente

El Lean Thinking se enfoca en el valor. El valor debe ser definido por el cliente, en términos del producto, cierto marco de tiempo y precio, de tal manera que los procesos y productos en los que la compañía invertirá sus recursos estén avocados a esto. Todo lo demás debe ser eliminado o en el peor de los casos, llevado su mínima expresión. Un típico desperdicio es, por ejemplo, en transporte de materiales. El transporte per se no agrega valor a los productos. Un cliente no percibirá más o menos valor si el producto viajó más distancia para llegar a él.

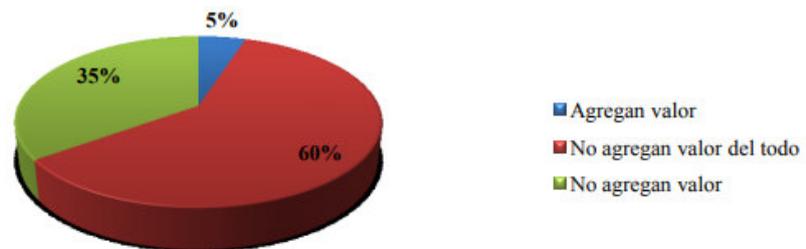
Identificar la Cadena de Valor

La cadena de valor es el conjunto de acciones requeridas para generar un producto en específico. Su identificación puede exponer grandes cantidades de muda, tales como que generen un valor no real, pasos que no generen valor pero que no son evitables por el uso de la tecnología y pasos que no generan ningún tipo de valor y pueden ser evitados.

Melton (2005) realizó un estudio acerca de la composición típica de las actividades en función al valor que agregan a los procesos productivos.

Ver figura 3:

Figura 3 Actividades que agregan valor al producto



Fuente: Melton (2005)

Flujo continuo

La imagen mental debe ser clara: el viaje de los materiales a lo largo de su transformación debe ser lo más ininterrumpido posible. Cuando más fluido sea el correr de los materiales, más fácil será identificar desviaciones: defectos en los productos, demoras, desbalances

Womack y Jones (2010) resaltan que los primeros en explotar el potencial del flujo fueron Ford y sus colaboradores. Ford disminuyó en 90% el esfuerzo requerido para ensamblar uno de sus modelos.

Shingo (1989) concluyó, una vez terminada la segunda guerra mundial, que el desafío que debía enfrentar la industria sería conseguir flujo continuo (ininterrumpido) para cantidades reducidas. Al fabricar altos volúmenes en masa, es simple considerar el escenario del flujo continuo. Sin embargo, indica Shingo, la industria a todo nivel debería explotar los beneficios del flujo continuo debido a que aquí se concentra la mayor parte de las necesidades de los consumidores en el mundo.

Sistema "Pull"

El pull o "jale" trae consigo la idea de que la producción debe hacerse por requerimiento del cliente.

El modelo Pull busca no detener el flujo de dinero como valor de inventario. Solamente producir cuando el cliente necesita. Este modelo va de la mano con la filosofía del Just in Time (Justo a Tiempo). Todos los procesos deberían ser capaces de responder de forma sostenible cuando el cliente requiera del producto y, naturalmente, las fábricas deberían estar dimensionadas de forma tal que no haya esperas por falta de requerimiento del cliente.

Mejora Continua

Cutcher-Gershenfeld et al. (2000), previamente citados, documentan que la etapa más reciente del desarrollo evolutivo de los procesos productivos es el trabajo impulsado por el conocimiento. Las empresas comprenden que no hay solamente hardware y software, existe un factor humano – Humanware- que debe considerarse al establecer sistemas productivos. Al ser implementados los cuatro primeros principios, lo que resta es involucrar a todos los colaboradores que forman parte de la cadena de valor, a fin de que puedan identificar de manera conjunta nuevas formas de crear valor a través de la retroalimentación continua a fin de sostener el desempeño óptimo de los procesos.

Womack & Jones (2010) separan el capítulo 13 de su libro "Lean Thinking" (esto es, pensamiento lean) para desarrollar la idea de "Soñando con la Perfección". Luego de su valiosa investigación en la cual establecen muchos de los principios técnicos más referenciados en las

investigaciones de los últimos años, los autores plantean la ruta del 'Lean' como un viaje a largo distancia: un viaje en el que, si bien se busca trasladarse de un punto A a un punto B, no es posible conseguir la mudanza inmediata; sino que un recorrido a través del cual hay que moverse a través de un proceso complejo de avance progresivo.

El penúltimo subtítulo de este capítulo es 'El Poder de los Sueños'. Womack & Jones (2010) refieren que existen transformaciones industriales que nadie ha llevado todavía debido a su naturaleza idílica. Sin embargo, aunque estas transformaciones no pueden ser inmediatamente alcanzadas, es necesario que exista una dirección hacia la cual el conocimiento actual debe dirigirse. La mejora continua consiste, entonces, en convertir los sueños en acciones concretas a medida que se busca la perfección (aunque esta sea imposible de alcanzar).

La Muda

Womack y Jones (2010) explican que la muda significa desperdicio:

“Aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor: Fallos que precisan rectificación, producción de artículos que nadie desea y el consiguiente amontonamiento de existencias y productos sobrantes, pasos en el proceso que realmente no son necesarios, movimientos de empleados y transporte de productos de un lugar a otro sin ningún propósito, grupos de personas en una actividad aguas abajo, en espera porque una actividad aguas arriba no se ha entregado a tiempo, y bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente.”

Reconocer los despilfarros en el proceso productivo es crucial para un proceso estable y de alta productividad. Eliminar estas 'mudas' consiste en, básicamente, solamente retener aquellas actividades por las que el cliente está dispuesto a pagar.

Castillo et al (2018) publicaron un artículo para la Revista de Ingeniería Industrial de ECORFAN-México en el cual se encuesta jefes y supervisores de mantenimiento y producción para conocer su percepción acerca de la aplicabilidad de Lean Manufacturing en los departamentos de sus empresas. Más del 50% de encuestado observa que la aplicabilidad de Lean en el sucede en el departamento de producción y la otra mitad de encuestados presentó respuestas dispersas entre otras áreas de las empresas. De esto, se desprenden dos consideraciones para analizar los desperdicios que se presentan a continuación. En primer lugar, las oportunidades más visibles para la detección de desperdicios se concentran en el departamento de producción, con lo cual es conveniente no pasar por alto ninguna de las dimensiones de desperdicio en la práctica, sino estudiar todas las posibles oportunidades de optimización al eliminar los desperdicios de los procesos productivos. En segundo lugar, cuando se toman los conceptos de Lean Manufacturing para aplicarlos en procesos más administrativos, los desperdicios tenderán a ser menos evidentes, con lo cual, se recomienda considerar detenidamente la potencial existencia de los desperdicios para conseguir traer mejoras al desempeño organizacional en su totalidad, y no solamente en el área de producción.

Shingeo Shingo (1989) enunció “El peor desperdicio es aquel que somos incapaces de reconocer”, con lo cual cada uno de los a continuación mencionados ha de ser considerado seriamente en su potencial impacto negativo para los procesos.

Sobreproducción

La sobreproducción consiste en invertir esfuerzo sin que alguien esté dispuesto a pagar por ello. Se puede creer que es más rentable acumular grandes lotes para optimizar los recursos tras los beneficios de la producción en masa, pero esto no es así. La sobreproducción es un desperdicio.

Al sobre producir, las empresas invierten recursos: capital de trabajo, pago a mano de obra, materiales, etc. Todo esto sin que exista necesidad real. Todo este material procesado debe ser transportado, almacenado, custodiado y vuelto a transportar cuando finalmente el cliente lo necesita.

Las principales causas de la sobreproducción son:

- Obtener el máximo potencial productivo de una máquina.
- Mala planificación de producción
- Ocultar otros defectos en la cadena. El inventario oculta los errores.

Esperas

La espera es una interrupción en el flujo de valor a través de un proceso. Esto incluye esperas de materiales, documentos, reducción de la velocidad de máquinas, paradas de máquina, problemas humanos, entre otros.

A nivel de planta, el concepto con el que se reconoce de a los efectos de la muda de espera es 'Cuello de Botella': un proceso que restringe el fluir de los materiales por ser más lento que el resto o por afectar el desempeño esperado.

Una carreta va tan rápido como el más lento de sus caballos.

Las causas de la espera pueden ser:

- Automatización desbalanceada: sobre potenciar una etapa del proceso más que los procesos adyacentes
- Averías a lo largo del proceso productivo.
- Demoras al inicio / a lo largo de los turnos.
- Mala programación de la producción.
- Errores en el abastecimiento de insumos y materias primas.
- Defectos de calidad.

Transporte

Movimiento de productos. Cuando la única razón por la cual se mueve el material es llevarlo de un punto A hacia un punto B sin realizar transformación alguna, esto compone un desperdicio. El cliente no pagará más o menos por desplazar los materiales al interior de la fábrica. Cuanto menos se mueva los materiales, menos recursos invertirá la compañía en el tratamiento.

En este sentido, la sobreproducción se vuelve un desperdicio con impacto más grave sobre las organizaciones: toda lo producido sin pedidos de cliente sufre más almacenamiento y transporte que aquello fabricado para la venta inmediata.

El transporte ineficiente de material puede ser causado por:

- Distribución de planta no adecuada.
- La producción está atomizada en demasiadas estaciones.
- Las políticas de inventarios son muy altas.

Sobre procesamiento

Este es tal vez el defecto más complicado de detectar. Sobre todo, porque cuando uno se acerca a un proceso percibe que 'todos están haciendo algo' y todo parece en orden.

Es por ello por lo que solucionarlo podría resultar algunas veces ofensivo.

Si se consigue reducir la cantidad de etapas de un proceso, la persona que lo llevaba a cabo puede percibir que el trabajo que ha venido haciendo (A veces durante años) fue inservible.

Para abordar este desperdicio, se debe plantear la pregunta: ¿porqué un proceso es necesario y porqué un producto es producido? Una vez realizada esta reflexión, es posible y necesario reducir los procesos que sobran.

Las posibles causas de este tipo de pérdidas son:

- Sobreproducción.
- Cambios constantes en las especificaciones para la producción.
- Los requerimientos del producto o del cliente no son claros.
- Mala comunicación entre procesos y al interior de la compañía.
- Supervisión y reportes innecesarios.
- Procesos desbalanceados.

Exceso de Inventario

Se refiere a suspender el flujo del dinero como recurso ágil y transformador y mantener las existencias como listas por si se acumulan pedidos.

El inventario muchas veces sirve para ocultar los defectos de una cadena de valor. Si algo falla, ya se tiene inventario para reaccionar. Es un aplacador de los sufrimientos de una planta con muchos problemas.

Esto no agrega valor al cliente. No quiero que se mal lo que quiero expresar. Para el cliente sí agrega valor tener el producto con prontitud. Pero mantener el dinero suspendido como inventario para atender por más tiempo que el que toma fabricar el producto.

Las causas de esta 'muda' pueden ser:

- Problemas frecuentes en el proceso que se vuelven lo normal.
- Productos complicados de producir.
- Planificación deficiente.
- Inexactitud en los tiempos de entrega de parte de los proveedores.
- Errores en la comunicación.

Movimientos innecesarios

Tal como los transportes (de materiales), el movimiento de personas o equipos no añade valor a lo que el finalmente necesita el cliente y por lo tanto es un desperdicio. Una vez más, es complicado de detectar y de solucionar porque las personas en movimiento dan la percepción de actividad y no es sencillo de ver que en realidad es pérdida de valor y recursos.

La forma o composición de los productos debe mantenerse. Las especificaciones y propiedades que el cliente necesita recibir deben mantenerse sin variación: el cliente paga por ellas. Pero toda actividad que involucre desplazamiento de personas es desperdicio. Acudir a un sitio para solucionar problemas, necesitar de más personas que las realmente necesarias para un proceso, exceso de supervisión, cambios constantes en el layout de los procesos.

Las causas más comunes de movimiento innecesario son:

- Las personas no han interiorizado los conceptos de desperdicio.
- Mal *layout*, o distribución de planta
- Métodos de trabajo obsoletos.
- Desorden, suciedad y desorganización.

Defectos

Este es un defecto sencillo de identificar. Incluso, su sencillez podría generar exceso de confianza porque se puede estar creyendo que es sencillo de controlar.

Por ejemplo, a nivel financiero, las compañías suelen presupuestar una tasa de errores y eso podría hacer caer en la inercia de convivir con defectos en el resultado impactando como negativo.

Los defectos consisten en que el producto del proceso o subproceso no cumple con los requisitos que se suponía que debía tener.

Es correr los procesos y obtener producto, pero producto no conforme.

Es preferible, por tanto, prevenir los defectos y adelantarse a su ocurrencia.

Las causas de estos defectos pueden ser:

- Falta de control o controles incorrectos en el proceso.
- Baja percepción de la calidad.
- Máquinas fuera de su periodo de mantenimiento.
- Falta de capacitación a los operadores.
- Diseño inapropiado o propiedades muy 'ajustadas'.

2.1.3. Just In Time

Grady (1992) describe la filosofía de Producción Just in time como un modelo muy distinto al de los enfoques de gestión de producción tradicionales en occidente. El Just-In-Time, (Justo a Tiempo en español) fue diseñado por Toyota para organizar la producción en sus fábricas de Automóviles de forma que solo se realice la transformación de los bienes para estos ser entregados justo cuando el cliente los necesite. Taiichi Ohno fue uno de los principales representantes del desarrollo de este sistema que pronto empezó a extenderse fuera de Japón, haciéndose muy popular en las últimas décadas.

Bajo un sistema just in time se busca optimizar todo el proceso productivo mediante la eliminación continua de desperdicios tales como los generados por el transporte entre puestos de trabajo, el almacenaje o las preparaciones. Su filosofía de trabajo está resumida en su nombre: tanto

las materias primas como los productos llegan justo a tiempo, ya sea para la fabricación o para el servicio al cliente.

Just-In-Time que consiste en tener a la mano los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan y justo en el momento en que se necesitan.

Esta forma de administrar la producción no solamente afecta al departamento de producción al determinar sus parámetros de acción, sino también involucra el abastecimiento logístico, la planificación de los mantenimientos y todo aquello que pueda interferir el flujo continuo de los materiales para entregar justo cuando el cliente solicita.

Archier & Seryex (1984) señalan los siguientes que los siguientes son los cinco objetivos que se persiguen cuando se implementa la metodología Just In Time:

- Cero defectos: Si se busca solamente mandar a fabricar cuando existe la necesidad, el riesgo de producir elementos defectuosos debe ser reducido en la medida de lo posible. Para lograr en la cadena, hay que partir desde el mismo momento del diseño del producto y aplicar los conceptos de Calidad Total en todos los ámbitos de la empresa.
- Cero Averías: Para lograr que todos los engranajes del proceso productivo se activen en el momento requerido para fabricar solo lo que el cliente requiere en un marco de tiempo establecido, es necesario que las máquinas estén preparadas para trabajar según su capacidad planificada. Para ello, existen metodologías como la del Total Productive

Maintenance que establece los lineamientos para prevenir cualquier contratiempo en el proceso productivo.

- Cero Stocks: exceso de inventario es considerado por el JIT y por Lean Manufacturing como un desperdicio, ya que conlleva gastos relacionados y contribuye a que algunos problemas permanezcan ocultos, sobre todos los relacionados con la respuesta del ciclo productivo ante la demanda.
- Cero Tiempo Ocioso: otros de los objetivos principales es eliminar todos los tiempos muertos que acaban frenando la producción. Los cuellos de botella y desbalances no deben afectar a la cadena para no tener esperas e interrupciones en el proceso.
- Cero Papel: Just In Time intenta eliminar la mayor cantidad posible de burocracia de todos los procesos. Simplificar la información documentada ayuda a simplificar las tareas administrativas que, de ser innecesariamente extensas, podrían interrumpir el libre flujo de la información y materiales.

2.1.4. One Piece Flow

El principio de flujo de una sola pieza o “One Piece Flow” consiste en un principio de manufactura en el que los bienes fluyen de proceso a proceso sin acumular inventarios en proceso. El principio busca establecer el flujo de la producción de forma tal que las piezas no se detengan durante el proceso. En el lenguaje de Lean Manufacturing, el paro de una pieza para

acumularla junto con un lote se denomina “desperdicio” al generar la espera hasta completar un lote entero.

Guerrero (2017) resalta los siguientes beneficios de adoptar un sistema de fabricación ‘One Piece Flow:

- Transparencia en los procesos.
- Reducción de Inventarios Intermedios.
- Mayor Flexibilidad en los equipos.
- Plazos de entrega cortos.
- Detección inmediata de defectos.

El siguiente ejemplo fue presentado por Wittig (2017). En este se aprecia de forma muy clara cómo se reduce el tiempo del sistema entero al trabajar bajo un modelo de fabricación One Piece Flow en lugar de procesamiento tradicional por lotes.

En el primer caso, cada uno de los procesos (torno, molino, perforadora) necesita procesar el 100% de los ítems en transformación para culminar con la producción. Como resultado de ello, se obtiene el primer producto terminado luego de 21 minutos y se completa la fabricación luego de 30 minutos.

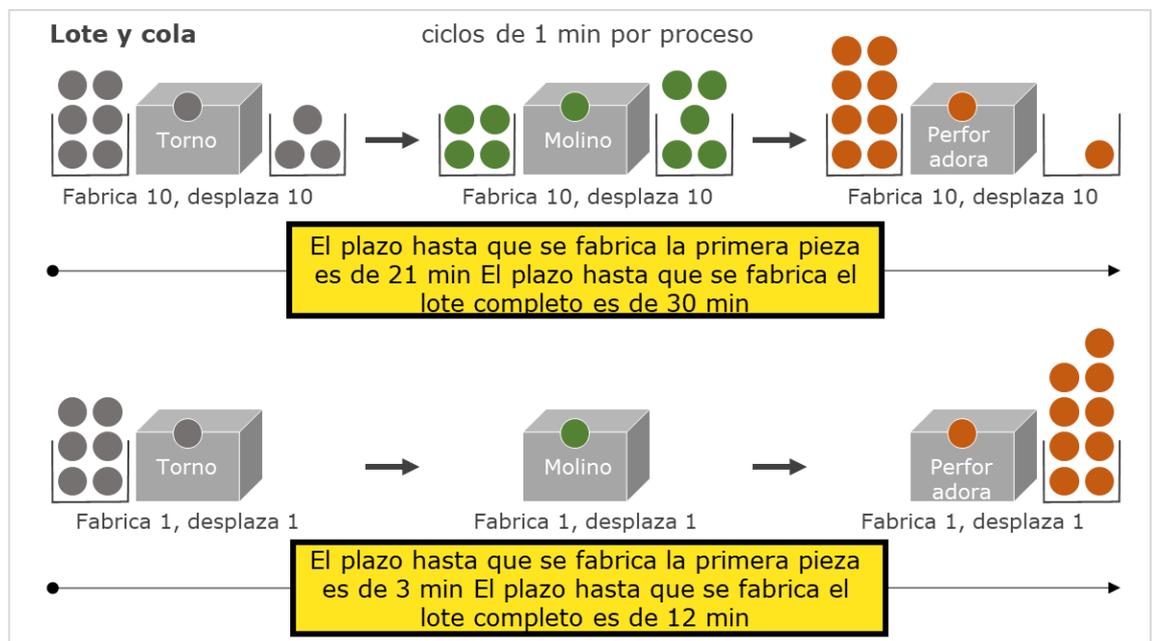
Además de ello, mientras el torno procesó las 10 piezas, los dos siguientes procesos acumularon 10 min de tiempo muerto y lo mismo acontece cuando el lote pasa a procesarse en el molino y la perforadora. Para 30 min de tiempo de procesamiento, se ha acumulado 60 minutos máquina inactivos.

En el segundo cambio de aplicar One Piece Flow genera mejoras radicales en las métricas que expresamos para el caso 1. Una vez que el primer ítem fue procesado en el torno, el molino empieza a operar. De la misma forma, cuando dicha pieza fue procesada en el molino, ya está lista para pasar por la perforadora. Luego de 3 minutos el sistema entrega la primera pieza completamente procesada y al minuto 12 se termina de procesar la entrega.

Luego, mientras el primer ítem fue procesado, se acumularon 3 minutos-máquina de inactividad y al acabar el batch, otros 3 minutos. En conjunto todo el sistema tuvo solo 6 minutos de inactividad.

Ambos casos se presentan en la Figura 4:

Figura 4 Comparación de Producción por Lotes contra 'One Piece Flow'



Fuente: Wittig (2017), SMED.

2.1.5. Tiempo de Ciclo y Capacidad de Proceso

El tiempo de Ciclo y la capacidad de producción son parámetros de proceso utilizados en las fábricas para conocer cuántas unidades el proceso es capaz de transformar en cierta unidad de tiempo.

Cristofani (2020) define el tiempo de ciclo (TC) de la siguiente forma:

“El tiempo de ciclo (TC) es el tiempo que transcurre entre la producción de dos unidades consecutivas (siempre que se trabaje unidad por unidad). Es un indicador de la rapidez que está ligado exclusivamente al proceso.”

Con lo que se tiene la siguiente definición matemática:

$$\textit{Tiempo de Ciclo} = \frac{\textit{Tiempo Transcurrido}}{\textit{Unidades Producidas}}$$

Y por lo tanto el tiempo de ciclo queda expresado en unidades de tiempo (segundos/unidad, unidad horas/unidad).

La inversa de este cálculo se conoce como Capacidad de producción, y expresa la cantidad de unidades que el proceso transforma por unidad de tiempo.

$$\textit{Capacidad de Proceso} = \frac{\textit{Unidades Producidas}}{\textit{Tiempo Transcurrido}}$$

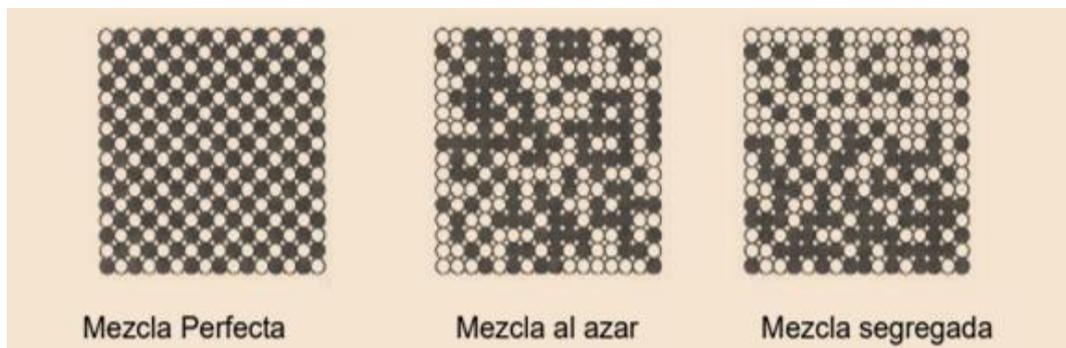
La capacidad de proceso está expresada en la inversa del tiempo (unidades/segundo, unidades/minuto, unidades/hora).

2.1.6. Mezclado de polvos orgánicos e Inorgánicos

El Departamento de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Sur – Argentina (2013) describe el mezclado de polvos como un proceso llevado a cabo para conseguir que dos o más componentes en estado sólido particulado queden integrados de forma homogénea de forma al tomar una muestra en cualquier región de la nueva mezcla, sea posible obtener la misma proporción entre los componentes que la conforman.

Según Rhodes (1998), existen 3 tipos de mezclas: perfecta, al azar y segregada. Ver figura 5.

Figura 5 Tipos de Mezclas



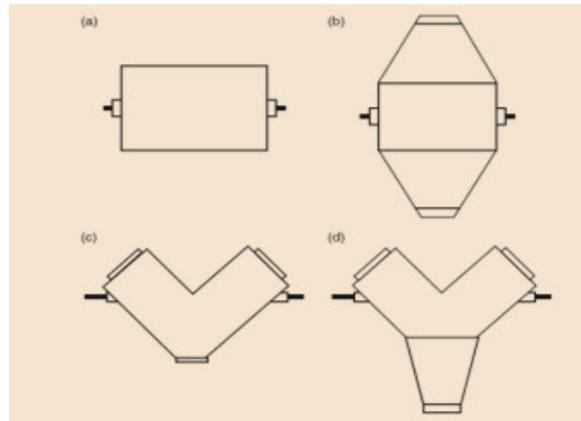
Fuente: Rhodes (1998).

La mezcla perfecta es el estado ideal que se busca conseguir al realizar una mezcla de sólidos; sin embargo, no es posible obtener una mezcla de polvos real a menos que se haga por selección manual.

Un proceso estable de mezclado de polvos pretende lograr una mezcla de proporciones controladas que sigan una dispersión 'Al azar' (Segunda imagen mostrada en la Figura 6 sin crear segregación entre sus componentes).

Entre las tecnologías más resaltantes para el aseguramiento de la homogeneidad de la mezcla, Ortega-Rivas (2005) rescata mezcladores como el tambor rotatorio en cilindro horizontal, doble cono, cono en 'V', cono en 'Y' entre otros Ver figura 6:

Figura 6 Mezcladores de tambor. a) cilindro horizontal, b) de doble cono, c) cono



Fuente: Ortega-Rivas (2005)

La fábrica en la cual se realizó el presente estudio de investigación ha implementado operaciones y controles a lo largo del proceso de fabricación para asegurar de la homogeneidad.

En lo que respecta a la naturaleza química de los componentes en polvo, estos pueden clasificarse como componentes orgánicos y componentes inorgánicos.

Según Castillero(SF), es posible diferenciar entre estos tipos de componentes al revisar los siguientes criterios:

- Tipo de elementos que lo componen

Los componentes orgánicos están generalmente compuestos por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, azufre y fósforo. Los

componentes orgánicos pueden contener la totalidad de los elementos mencionados o solo algunos de ellos.

Los componentes inorgánicos están compuestos por cualquier otro elemento de la tabla periódica y pueden o no contener alguno de los elementos antes mencionados.

- Tipo de enlace químico

Las moléculas de los compuestos orgánicos están generalmente enlazadas por enlaces covalentes, mientras los compuestos inorgánicos suelen presentar enlaces de tipo iónico o metálico. Una vez más, la diferenciación no es absoluta y los tipos de enlace pueden presentarse entre los componentes del otro tipo.

- Estabilidad

Los componentes orgánicos suelen ser más propensos a descomponerse al entrar en reacción con oxígeno y nitrógeno del aire. Esto los caracteriza como compuestos menos estables que los inorgánicos. Es por ello por lo que es más frecuente encontrar parámetros de caducidad en componentes orgánicos que en los inorgánicos.

- Complejidad

Los compuestos orgánicos tienden a estar conformados por cadenas complejas de carbono y oxígeno. Los componentes inorgánicos mantienen estructuras moleculares más simples, por lo que son menos complejos y reactivos que los componentes sólidos orgánicos.

- Resistencia al Calor

En la mayoría de las sustancias se necesita más calor para afectar fundir un sustrato orgánico que uno inorgánico, por lo que los compuestos inorgánicos suelen resistir mayores temperaturas que los orgánicos.

- Solubilidad

Los enlaces de tipo iónico son generalmente más solubles que los covalentes. Esto hace que los compuestos inorgánicos puedan ser más fácilmente disueltos como por ejemplo con agua, mientras que un compuesto orgánico necesita de otra clase de disolventes para ser disuelto.

- Conductividad Eléctrica

Los compuestos orgánicos suelen ser utilizados como aislantes eléctricos. Estos nos conducen con facilidad la corriente eléctrica. Los compuestos inorgánicos y en especial los metálicos sí presentan una alta conductividad eléctrica.

- Isomería

A nivel molecular, los isómeros son estructuras químicas compuestas por la misma cantidad de átomos de los elementos que lo componen, pero que forman cadenas moleculares distintas. Esto ocurre tanto entre compuestos orgánicos como inorgánicos; sin embargo, los casos de isomería son más característicos de las cadenas orgánicas que de las inorgánicas.

- Velocidad de Reacción

Las reacciones químicas son más veloces en los compuestos inorgánicos que en los orgánicos. En el primer tipo de

compuestos, basta con ponerlos en contacto para generar la reacción, mientras que los componentes orgánicos suelen requerir catalizadores, disolventes, o adición de energía para permitir y mantener la reacción entre un compuesto y otro.

Tanto la referencia teórica acerca de la mezcla de polvos como la de los componentes según su naturaleza orgánica o inorgánica son críticas para la sanidad del proceso analizado a lo largo de este estudio. La fábrica en análisis ha establecido métodos y controles que aseguran la efectividad del mezclado y correcta interacción de los componentes.

Es necesario, por lo detallado en el presente apartado que, al revisar las oportunidades de mejoría de productividad, el fondo técnico del proceso no sea afectado. De otra manera, es posible que se origine segregación de componentes o también que tanto la interacción entre compuestos orgánicos e inorgánicos como las condiciones de mezcla generen situaciones no deseadas que repercutan en la calidad del producto terminado.

2.2. Antecedentes del estudio

2.2.1. Antecedentes Internacionales

La aplicación de Lean Manufacturing ha conducido a empresas alrededor del mundo a optimizar sus procesos y optimizar sus resultados. Existen numerosos casos de éxito en los que adoptar un modelo Lean de manufactura ha significado beneficios sustanciales en las empresas en las que se ha empleado.

En el ámbito internacional, Bolaños et al. (2019) desarrollaron un proyecto de investigación con el objetivo de conocer cómo es la comprensión de las empresas en la industria automotriz colombiana en lo que respecta a la filosofía del Lean Manufacturing. La investigación concluye que la aplicación de Lean Manufacturing en dicho entorno trae como principal beneficio en enfoque de las personas hacia eliminar cualquier tipo de desperdicio. Al analizar los resultados de la percepción de los trabajadores en las empresas de esta industria, se encontró que la gran mayoría de quienes aplican Lean Manufacturing lo hacen con la finalidad de concretar oportunidades de reducción de costos producto de la disminución y eliminación de actividades que no agregan valor.

Ramírez (2017) en su tesis titulada "Identificación y Reducción de los niveles de desperdicio desde la perspectiva de Lean Manufacturing en la empresa FlowServe Colombiana S.A.S" planteó una serie de mejoras en los procesos de la mencionada empresa obteniendo los siguientes resultados: 48% de reducción en transporte de materiales, 48% de reducción en desplazamientos y 95% de reducción en el desperdicio de

sobreprocesamiento. Este trabajo de investigación colocó los esfuerzos en cambios concretos al interior de las actividades según la guía de la filosofía de Lean Manufacturing.

En su tesis de maestría, Da Silva (2017) analiza un sistema de producción de aires acondicionados que, previo a la aplicación de los principios de Lean Manufacturing, tenía planificada la adquisición de una nueva línea de montaje para incrementar su capacidad productiva. Da Silva encuentra oportunidades de modificación en el layout de la planta a fin de optimizar flujo de materiales y conseguir mayor rendimiento que el que actualmente entrega la maquinaria instalada. Luego de analizadas las oportunidades, se concluye que una de las líneas podía ser modificada de forma que absorba la demanda adicional. Con la aplicación de los principios de Lean Manufacturing, esta fábrica evitó el costo de adquisición de una línea de embalaje valorizada en 1.147 millones de dólares.

En Argentina, Universidad de la Plata, Vargas et al. (2017) analizaron el impacto de la implementación de Lean Manufacturing en la mejora de un sistema productivo. Producto de la investigación se identificó la oportunidad de reducir el Lead Time en 25%, esto acompañado de una reducción del 20% en los costos en los que la compañía incurría. Con el desarrollo del proyecto de investigación, los autores destacan la importancia de que la aplicación de Lean Manufacturing no debe consistir en solamente mejorar los procesos, sino en adoptar una mentalidad alineada a la mejora, de forma que las iniciativas de mejora trabajen sobre los problemas reales y así conseguir el mayor impacto.

Vargas et al. (2016) publicaron en "*Revista de ingeniería industrial: actualidad y nuevas tendencias*" un artículo titulado "*Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción?*" con el objetivo de analizar cómo se puede aumentar la competitividad de las empresas cuando se implementan las herramientas y principios de Lean Manufacturing. Este trabajo de investigación obtiene que solamente el 67% de las actividades realizadas en los procesos productivos analizados realmente agrega valor. 12% de las actividades son reprocesos, 9% esperas, 7%, transportes y 5% desplazamientos. Es decir, el 33% de las actividades tiene potencial de ser optimizadas. En esta investigación se rescata también los beneficios que Lean Manufacturing son la mejor base para que esta cultura siga diseminándose a lo largo de los procesos. Es decir, el impacto beneficioso de Lean Manufacturing es que, además de generar mejoría en los resultados cuantitativos, fortalece también la cultura de Lean y promueve la generación de nuevas iniciativas para ser aprovechadas en otros procesos.

2.2.2. Antecedentes Nacionales

En el ámbito nacional, Aranibar (2016) en su tesis para obtener el título de Ingeniero Industrial titulada "Aplicación del Lean Manufacturing, para la mejora de la productividad en una empresa manufacturera" desarrolla el caso de una empresa fabricante de abrasivos flexibles. Aranibar presenta a la empresa como líder en el mercado peruano y con presencia en Latinoamérica, Estados Unidos y Canadá.

A lo largo de esta investigación queda evidenciado cómo es que, a pesar de ya tener un sistema de producción robusto y estructurado, la empresa logró duplicar su productividad al implantar los principios de Lean Manufacturing a sus procesos.

Este notable resultado se consiguió al optimizar el sistema de flujo de materias primas, semielaborados y productos terminados generando un flujo continuo. Esta empresa definió límites para en los inventarios intermedios (productos semielaborados) de forma que cada proceso solo genere lo que el proceso adyacente requería para entregar lo demandado por el cliente. La adopción de las políticas de inventarios intermedios generó la reducción de como por ejemplo la sobreproducción que a su vez genera movimientos innecesarios de material, esperas y masificación de defectos.

El caso referido es un ejemplo de aplicación para toda la cadena productiva de una empresa líder en su rubro y con volúmenes de producción con los cuales abastecen al mercado no solo nacional, sino también al internacional. Sin embargo, existen también casos de alto impacto positivo al aplicar Lean Manufacturing a empresas de menor escala y acotados a secciones de la cadena productiva.

Chumbile (2021) desarrolló un proyecto de investigación aplicando una de las herramientas de Lean Manufacturing en el área de carpintería de una empresa dedicada al diseño y fabricación de mobiliarios para oficinas. Esta empresa produce mueblería para almacenamiento (armarios, casilleros), sillas, escritorios, mesas, entre otros productos y,

naturalmente, cada producto pasa por una serie de operaciones particulares. Chumbile tomó el área de carpintería y analizó la dinámica de flujo de materiales utilizando el Mapa de Flujo de Valor.

A lo largo de dicho documento de investigación se hace evidente que las oportunidades de mejora necesitan ser analizadas objetivamente para conocer el verdadero potencial de las iniciativas de mejora. Luego del estudio de las oportunidades en el caso de esta empresa, los inventarios intermedios se redujeron en 68.3%, con lo cual también se consiguió mejorías sustanciales en los resultados del área de carpintería como se hizo manifiesto con el indicador de 'Eficiencia de la Mano de Obra', el cual aumentó en 52.4%.

Otro caso de impacto favorable a los resultados de los procesos industriales es el desarrollado por Bermejo (2019) en su tesis titulada "Lean Manufacturing para la mejora del proceso de fabricación de calzado para damas". Con las oportunidades de mejora identificadas al enfocar los esfuerzos a través de Lean Manufacturing, Bermejo reporta un incremento de 20% en la productividad del proceso analizado, reduciendo el tiempo de producción unitario en 5 minutos. Esta mejoría genera un aumento en la capacidad diaria de procesamiento en 23% de la capacidad anterior.

Cruz (2020) investigó el impacto de Lean Manufacturing en el sector servicios en la tesis titulada "Propuesta de Implementación de las herramientas Lean Manufacturing en el concesionario San Antonio". En esta investigación se aprecia cómo es la reestructuración de las actividades en búsqueda del flujo óptimo de materiales según el enfoque

de Lean Manufacturing reduce los tiempos de las actividades requeridas para la provisión del servicio de San Antonio. El movimiento de vehículos se disminuyó en 15%. El transporte de herramientas y elementos de trabajo se redujo en 19%. Como consecuencia de estas y otras mejoras, el tiempo global de duración del servicio se redujo en 17%. Cruz señala que estas mejoras comprueban la eficacia de la filosofía de Lean Manufacturing para la operación tratada.

Salazar (2017) llevó a cabo un proyecto de investigación titulado “Mejora en la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando Lean Manufacturing en una empresa privada metalmeccánica” en el cual consigue la mejora de 25% en la productividad de la fabricación de las cabinas cerradas al reorganizar las etapas del proceso utilizando los principios de Lean Manufacturing.

De estos dos casos, se puede apreciar cómo Lean Manufacturing tiene un muy alto potencial de impacto en empresas de cualquier a cualquier escala. Empresas tanto en el entorno internacional como nacional respaldan en impacto beneficioso de la metodología para los resultados de los procesos productivos.

2.3. Definición de términos

- Capacidad de Proceso: Cantidad de unidades producidas en un proceso por unidad de tiempo. Cálculo inverso al tiempo de ciclo.
- Desperdicio: Actividades que absorben recursos pero que no generan valor.

- Flujo de Materiales: Dinámica de traspaso de materiales de un proceso a otro. Puede tratarse de materias primas, productos semielaborados o productos terminados.
- Lean Manufacturing: Metodología de trabajo enfocada a mejorar continuamente los procesos a fin de minimizar desperdicios.
- Mezclado de Polvos: Proceso llevado a cabo para conseguir la integración homogénea de dos o más componentes en estado sólido particulado
- Pesado: Proceso Industrial que consiste en la medición de determinada de determinado peso de un componente para ser añadido a una mezcla.
- Polvos Orgánicos e Inorgánicos: Componentes en estado sólido particulado. Por su naturaleza química pueden ser orgánicos o inorgánicos.
- Productividad: Es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados (García, 2005 p. 9).
- Teoría de los Caudales: Modelo de comparación que realiza una analogía entre el paso de un líquido por un caudal y el flujo de materiales de un proceso a otro.
- Tiempo de Ciclo: tiempo que transcurre entre la producción de dos unidades consecutivas al interior de un proceso. Cálculo inverso a la capacidad de Proceso.
- Unidad Equivalente de Producto: Cantidad de producto equivalente entre dos procesos. Unidad que permite homologar los cálculos entre dos procesos.

CAPÍTULO III: HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. Hipótesis General

HG. Aplicar Lean Manufacturing mejorará la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una planta de consumibles industriales.

3.1.2. Hipótesis específicas

HE1. La aplicación de Lean Manufacturing reducirá los desperdicios de desplazamiento, transporte y sobreprocesamiento.

HE2. La máxima productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos se alcanza al procesar 300kg de material en cada ciclo de trabajo.

3.2. Variables

V. independiente: Lean Manufacturing

V. dependiente: Productividad

CAPÍTULO IV: MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Tipo de Investigación

De acuerdo con Hernández, Fernández y Baptista (2003), el presente proyecto de investigación es de tipo aplicada. El objetivo será plantear una estrategia para transformar el proceso de forma que entregue una mayor productividad tomando principios de Lean Manufacturing.

4.2. Diseño de Investigación

Hernández, Fernández y Bautista (2003) definen al diseño como aquel en el cual “los estudios que se realizan sin la manipulación deliberada de variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para después analizarlos.”

El presente trabajo utiliza el diseño no experimental de tipo transversal. Los datos son tomados en un solo momento. El estado actual (antes de proponer las oportunidades de mejora) será el estado con el cual se tomarán los KPI de control.

Según el grado de profundidad con el que se abordan los eventos en el estudio, el nivel de investigación es descriptivo. Los resultados de esta investigación pretenden indagar en la incidencia de la aplicación de Lean Manufacturing al proceso productivo.

4.3. Población y muestra

La población está compuesta por la producción en el área de pesado de polvos en el periodo que va desde enero 2020 hasta diciembre 2020 inclusive.

El cálculo del tamaño de muestra se realizará a partir de la variabilidad de los tiempos que caracterizan al proceso de pesado de polvos:

$$N = Z^2 * \frac{s^2}{\delta^2}$$

N: Tamaño de la Muestra

Z: Nivel de confianza

s²: varianza poblacional

δ: precisión de la estimación

De estudios de tiempos previos para el producto más representativo en el proceso de pesado de polvos se tienen las medidas de dispersión:

Desviación estándar: $s = 10.8 \text{ seg}$

Media: $x = 118.1 \text{ seg/saco}$

Para estos datos, el cálculo del coeficiente de variación entrega el siguiente resultado:

Coefficiente de Variación: $CV = \frac{s}{x}$

$$CV = \frac{10.8 \text{ seg}}{118.1 \text{ seg}} = 9\%$$

La dispersión relativa de 9% indicada por dicho coeficiente expresa, de acuerdo con Rustom (2012), que los datos presentan una homogeneidad de moderada a alta.

El cálculo se realizará para un nivel de confianza de 95% ($Z=1.96$) y un nivel de precisión de ± 10 segundos por ciclo de trabajo. Para estos parámetros, el tamaño mínimo de muestra se calcula como:

$$N = 1.96^2 * \frac{10.8^2}{10^2} = 4.4 \sim 5 \text{ sacos.}$$

Con la finalidad de apreciar de adecuadamente la interacción de al menos tres ciclos de trabajo con la dinámica de proceso propuesta y realizar pruebas piloto de descarga y manipulación, se han tomado 12 sacos como muestra para la investigación.

Estos 12 sacos se tomaron en el mes de diciembre, debido a que es en este mes se encontraron las condiciones normales del proceso: Personal experimentado realizando las labores, turnos de trabajo sin sobretiempos y disponibilidad de capacidad de la planta para realizar las pruebas.

4.4. Técnicas de Recolección de Datos

Los datos para el desarrollo de la investigación se ha recolectado utilizando:

- a) Observación directa sobre los procesos analizados.
- b) Toma directa de tiempos sobre los procesos analizados
- c) Reportes de Producción de enero a diciembre del 2020.

4.5. Análisis e Interpretación de la Información

Para el análisis de la información se ha utilizado los siguientes instrumentos:

- a) Hojas de Cálculo en Excel.
- b) Formatos de Hoja de Combinación de Trabajo Estándar.
- c) Tabulación de Datos.

- d) Computación de Cálculos Varios.
- e) Power Point: Elaboración de gráficas y esquemas.
- f) Tinkercad: Modelamiento de figuras 3D.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS

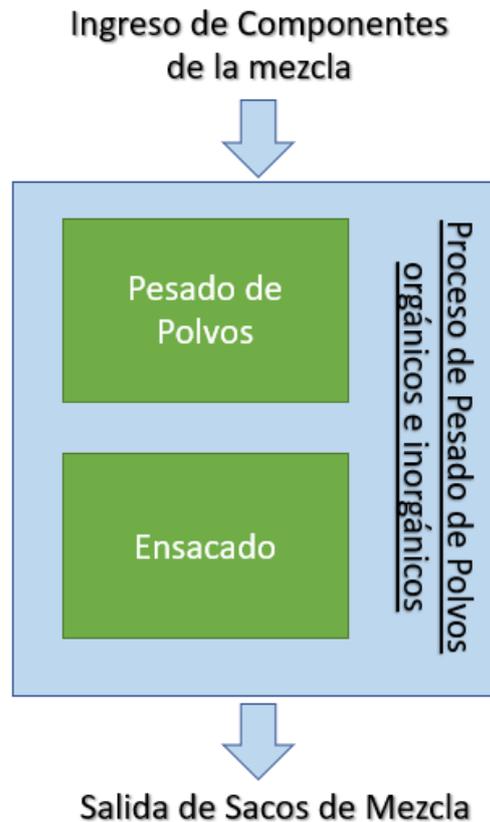
5.1. Diagnóstico

5.1.1. Descripción del proceso actual

Dentro del proceso productivo de la fábrica estudiada, la investigación se centra en el proceso de pesado de polvos orgánico e inorgánicos. Es este proceso se toman componentes en polvo que una vez pesados, y mezclados se almacenan para ser utilizados como insumo industrial en la etapa siguiente del proceso. Los estándares de calidad para el producto manufacturado en esta fábrica exigen niveles altos de precisión para el proceso de pesado. La fábrica tiene una amplia variedad de productos; y para cada uno de ellos la mezcla de polvos puede variar. Para el presente estudio se analizan las características del proceso tomando un producto modelo para el cual se procesan sacos con una base de 100 kg de mezcla compuesta por 10 componentes en polvo.

El diagrama mostrado en la Figura 7 señala las dos etapas principales del proceso: la etapa de pesado y la etapa de ensacado.

Figura 7 Diagrama descriptivo del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos.



5.1.1.1. Subproceso de Pesado de Polvos

Para la primera parte del pesado, el operador avanza a lo largo de un corredor que tiene contenedores industriales que almacenan los polvos para la mezcla. El operador utiliza una balanza para controlar los pesos de componente y los adiciona uno a uno a la mezcla a medida que camina a lo largo del corredor.

Esta primera sección del proceso culmina cuando al final del corredor todos los componentes para la mezcla de polvos ya han sido añadido. El operador finalmente hace pasar la mezcla de polvos a través de un tamiz con el fin de eliminar las posibles impurezas (piedrecillas, trozos

de madera, trozos de plástico, y cualquier tipo de elemento extraño) que pueden haber contaminado la mezcla hasta este punto.

5.1.1.2. Subproceso de Ensacado

Mientras el primer operador avanza por el corredor realizando el pesado, un segundo operador acondiciona un contenedor en el punto de descarga del tamiz para luego proceder a ensacarla.

Una vez que la mezcla ha pasado por el tamiz, el ensacado se realiza elevando el contenedor con ayuda de un polipasto verter el contenido del saco hacia el interior de un saco de polipropileno. Esta actividad de ensacado es tanto una operación como una inspección. El saco reposa sobre una balanza con la cual se inspecciona el peso total del saco y de esta forma se asegura la conformidad de conjunto para los sacos.

Una vez que la mezcla de polvos se ha vertido dentro del saco, este se acondiciona en un pallet para ser llevado a su punto de almacenaje. Se acondicionan 18 sacos en cada uno de los pallets. En cada ciclo de trabajo el operador identifica los sacos, acomodarlos y asegurarlos usando film plástico para que finalmente un montacargas los lleve hacia su punto de almacenaje.

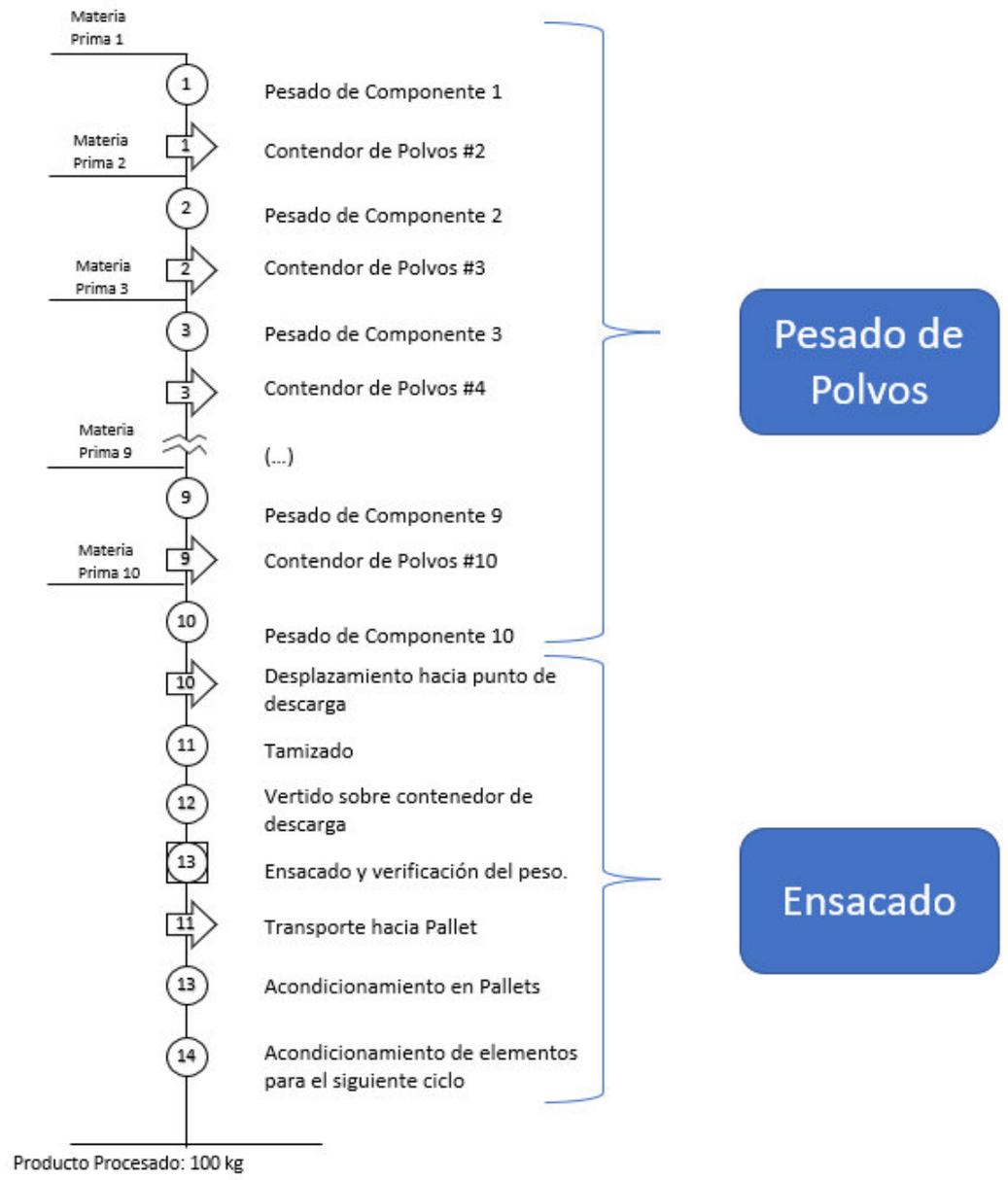
5.1.1.3. Actividades Auxiliares

Un tercer operador acompaña el proceso sin intervenir directamente en cada ciclo de trabajo. Este tercer operador prepara los elementos requeridos para el flujo continuo del proceso. Entre estas actividades destacan asegurar la disponibilidad de los polvos en los contenedores industriales para el pesado, habilitar los sacos vacíos y conducir los pallets completos hacia el punto de almacenaje.

El proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos se ha esquematizado a detalle utilizando el modelo de Diagrama de Procesos desarrollado por García Criollo (1998).

El Diagrama de Operaciones del Proceso mostrado en la Figura 8 corresponde a una fórmula modelo compuesta por 10 polvos. En este diagrama se muestran las operaciones que se siguen para conseguir un saco de polvos conteniendo los 100 kg de producto procesado en cada ciclo de trabajo.

Figura 8 Diagrama de Operaciones del Proceso de Mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos



5.1.2. Análisis de Ratios Productivos para el proceso actual.

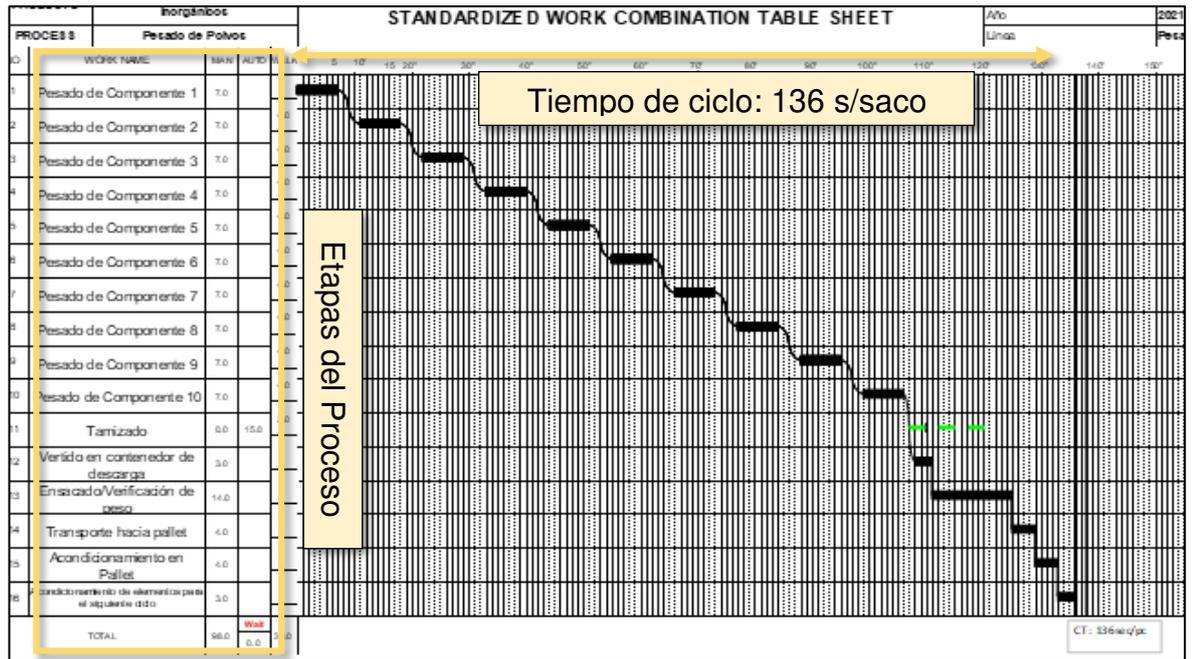
Para analizar los tiempos y características de resultado en el proceso actual, se muestra un estudio a través de la metodología “Standardized Work Combination Table” o Tabla de Combinación del Trabajo Estándar en un esquema elaborado por Yeser (2014), ver Figura 9, que muestra de forma gráfica la composición del tiempo de ciclo del proceso al desplegar los tiempos invertidos en trabajo manual, trabajo automático y los desplazamientos.

Para la situación actual, se observa cómo se consigue procesar un saco de mezcla de polvos.

De este análisis, se observa que actualmente el tiempo de ciclo es: 136 segundos por saco. Gráfica referenciada en la figura 9 disponible en Anexos:

Tiempo de Ciclo: 136 s/saco.

Figura 9 Standard Work Combination Sheet - Proceso Actual



Fuente: Adaptado de www.Lean-Tool.com.

La productividad expresada en kilogramos de producto terminado por hora hombre invertida queda como se muestra a continuación en la tabla 1:

Tabla 1 Productividad del Proceso

	Balance Actual
(a) Tiempo de Ciclo	136 seg/saco
(b) Kg/pieza	100 kg/saco
(a) / (b) = (c) Seg/Kg	1.36 seg/kg
(d) Mano de Obra	3
$3600 / (a) = CP$ Capacidad de Proceso	26.5 saco/hora
$3600 / ((b) * (d)) = P$ Productividad	882 kg mezcla/h-h

Las medidas de control para los desperdicios desplazamientos se presentan en las dos tablas siguientes. Se tomará como referencia la cantidad de desperdicios en los cuales se incurren al fabricar 10 toneladas de mezcla considerando la base de 100kg por saco. Los desplazamientos físicos de personas y el transporte de materiales tienen una relación de 2

a 1. Los operadores recorren los contenedores industriales para tomar el peso de cada componente de la mezcla y posteriormente caminan de regreso (la misma distancia) para volver a iniciar el ciclo de trabajo. En la tabla 2 se muestra el estado inicial de desplazamientos y transporte de materiales (ver tabla 2).

Tabla 2 Medición de desplazamiento de materiales y operadores

Para 10 toneladas de Mezcla		10000
		Balance Actual
Peso por Saco		100 kg/saco
Cantidad de Sacos		100 sacos
Transporte de Materiales (metros)		20 m/saco 2000 m
Desplazamiento de Operadores (metros)		4000 m

El parámetro para controlar el desperdicio de sobreprocesamiento será el tiempo invertido en preparar sacos (ensacar, acondicionar sacos). Para el cálculo se toma lo mostrado en la tabla 3.

Tabla 3 Tiempo de preparación de sacos.

Para 10 toneladas de Mezcla		10000
		Balance Actual
Cantidad de sacos por día		175 sacos
Preparación de sacos		28 seg/saco
Total para base de cálculo		2800 seg

5.2. Análisis de las oportunidades

Al analizar la naturaleza de los procesos, se puede percibir que estos se componen principalmente por actividades manuales. Cada vez que en el proceso se completa un ciclo, tanto el operador 1 como el operador 2 realizan una serie de micro movimientos que al final dejan como producto un saco de producto procesado.

La tabla 4 muestra a detalle cuáles son los micro movimientos iterados durante la sección de “Pesaje” del proceso.

Tabla 4 Micro movimientos del proceso

#	Micromovimiento	Actividad del proceso
1	Alcanzar	Extender la mano para descargar el polvo del contenedor.
2	Tomar	Sujetar la válvula de descarga del contenedor para dejar caer el polvo.
3	Mover	Abrir la válvula para permitir el paso del polvo.
Tiempo de descarga del polvo		
4	Mover	Cerrar la válvula para interrumpir el paso del polvo.
5	Soltar	Soltar la válvula de descarga para continuar con el trayecto.
Desplazamiento hacia la siguiente tolva		

La tabla 5 muestra los micro movimientos que se realizan en el proceso de ensacado.

Tabla 5 Micro movimientos del proceso de ensacado

#	Micromovimiento	Actividad del proceso
1	Alcanzar	Extender la mano para retirar la mezcla de minerales recién tamizada
2	Tomar	Utilizar el control del polipasto lleva la mezcla hacia el punto de ensacado
4	Mover	Dirigir el saco hacia el punto en el que se acondiciona sobre el pallet

La propuesta de mejora se genera a partir de dos criterios que juntos originan la oportunidad para el aumentar de la productividad del proceso de pesado de polvos.

Los dos criterios para la optimización de la dinámica de flujo de materiales son:

Criterio 1) Aumentar la cantidad de material procesado por ciclo de trabajo reducirá la cantidad de ciclos totales y, por tanto, se reducirán también actividades que no agregan valor

Criterio 2) La cantidad máxima de producto procesado en cada ciclo de trabajo debe ajustarse a la dinámica de transferencia de materiales entre los procesos adyacentes.

Criterio 1

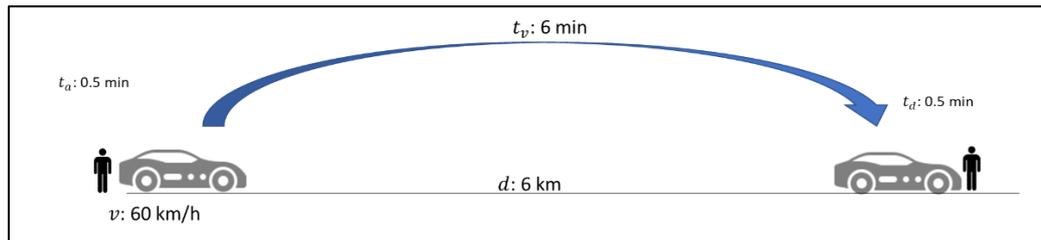
El primer criterio es que, sin importar la cantidad de polvos que se descargue, siempre se realizarán los mismos micro movimientos. Es decir, si se descarga 1kg de polvo de un contenedor industrial, el tiempo ocupado en los micro movimientos alternos (extender la mano, abrir la válvula, cerrarla, etc.) serán los mismos que se realizarían si se descargasen 20kg, 200kg o cualquier otra cantidad del mismo polvo.

Con el fin de ilustrar el impacto de este principio en cualquier otro sistema, la Figura 10 muestra el caso de una persona que utiliza un vehículo para recorrer una distancia de 6 km.

Se considera un tiempo de abordaje de: $t_a = 0.5 \text{ min}$ (Subir al vehículo, colocarse el cinturón de seguridad, acomodar espejos, asientos y demás).

Luego de ello, el tiempo de viaje para recorrer los 6 km será: $t_{vi} = 6 \text{ min}$ a 60 km/h y una vez que haya llegado al final, desocupar el vehículo le tomará otros 0.5 min: $t_d = 0.5 \text{ min}$

Figura 10 Tiempo Total de Viaje - Escenario 1



Para estos tiempos, la figura 11 muestra el cálculo global para el tiempo total de desplazamiento: 7 minutos.

Figura 11 Cálculo del tiempo total de viaje - Escenario 1

Tiempo total: para el desplazamiento:

t_a	t_p	t_d
0.5 min	+ 6 min	+ 0.5 min
= 7 minutos		

Ahora bien, la Figura 12 plantea un segundo escenario: en el que la persona recorrerá la misma distancia en el mismo viaje, pero esta vez lo realizará en tramos de 2 km cada uno.

Figura 12 Tiempo Total de Viaje - Escenario 2

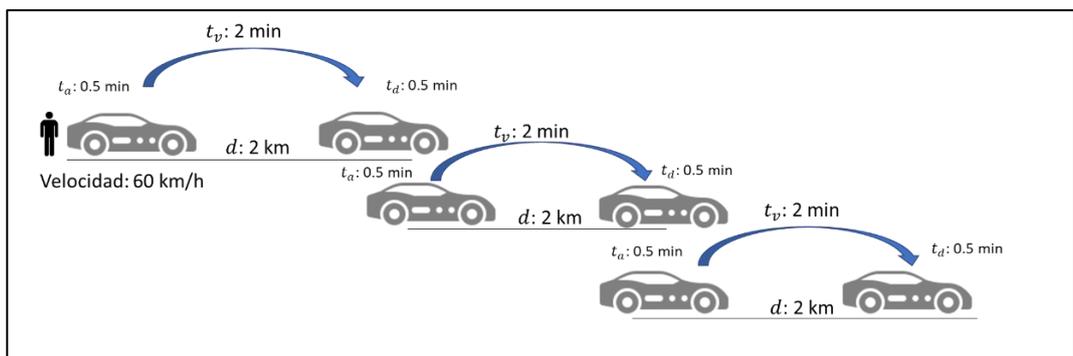


Figura 13 Cálculo del tiempo parcial de viaje - Escenario 2

Tiempo parcial: para el desplazamiento:		
ta	tv	td
0.5 min	+ 2 min	+ 0.5 min = 3 minutos

Figura 14 Cálculo del tiempo total de viaje - Escenario 2

Tiempo total: para el desplazamiento:		
Tiempo parcial	Ciclos	
(3 min)	x 3	= 9 minutos

Las figuras 13 y 14 expresan el cálculo global para el tiempo de recorrido. Cada tramo tomará 3 min para ser completados; con lo cual se tendrá un tiempo total de recorrido de 9 min.

El escenario 1 resulta ser más eficiente que el escenario 2 debido a que no se repite el tiempo de abordaje y desocupación del vehículo.

Sea que se recorran 6 km o que se recorran 2km, el tiempo de las actividades alternas va a siempre ser el mismo.

Detrás de esta ilustración bastante evidente se esconde el principio que se empleará para optimizar el tiempo en el proceso de mezclado de polvos.

El tiempo invertido en abordar el vehículo y desocuparlo realmente no agregan valor. Son necesarios, pero no contribuyen directamente al traslado del punto inicial al final. Solo el tiempo de desplazamiento realmente añade valor para la persona que realizará el viaje, y mientras menos tiempo se invierta en las actividades alternas, mejor desempeño tendrá el ejercicio. La mejor forma de recorrer los 6 km es sin seccionar el

viaje. Mientras menos tramos se utilicen para realizar el viaje, se estará optimizando el tiempo global de transporte al minimizar el tiempo invertido en actividades que no agregan valor.

El paralelo contra el proceso productivo indica que la forma más eficiente de procesar cierta cantidad de material en un proceso productivo es con la menor cantidad posible de ciclos para realizar los micro movimientos mostrados en las tablas 4 y 5.

A pesar de que reducir los tiempos de ciclo sí debe ser un foco constante en el viaje de mejora continua de cada empresa, el principio que resalta esta investigación tiene más que ver con la cantidad de producto procesada en cada ciclo en lugar del tiempo invertido en dicho ciclo. Este primer principio puede sintetizarse en el siguiente enunciado:

Aumentar la cantidad de material procesado por ciclo de trabajo
reducirá la cantidad de ciclos totales y, por tanto, se reducirán
también actividades que no agregan valor

Buscar reducir el tiempo de ciclo sería equivalente a encontrar un vehículo que realice el recorrido de los 6 km en menor tiempo, o alterar técnicamente el vehículo con el fin de que se desplace a mayor velocidad. Esto, como se mencionó anteriormente, sí debe ser un tema constantemente analizado para optimizar los procesos; sin embargo, sin modificaciones tecnológicas de alta inversión o de alta complejidad, es posible capturar oportunidades de optimización al **planificar la cantidad de material procesado por ciclo de trabajo.**

Entonces, el primer principio es el de aprovechar los movimientos que componen un ciclo de trabajo para conseguir la mayor cantidad de producto procesado en cada uno de los ciclos. De esta forma se estará minimizando la cantidad de actividades alternas que no agregan valor, pero son necesarias para la transformación.

La propuesta concreta para la modificación del proceso de pesado de polvos consiste en incrementar la cantidad de polvos mezclados en cada ciclo de proceso. Si actualmente en un ciclo de proceso se recogen 100 kg de mezcla, el primer principio está en que la productividad aumentará si se pasan a producir 200, 300, 400, 500 kg peso por ciclo. Incluso, si el proceso estuviera preparado técnicamente para ello, el punto óptimo sería fabricar toda la producción de un turno de trabajo en un solo ciclo. En dicho estado la productividad sería la máxima obtenible sin modificar la técnica del proceso.

Con este primer criterio se concluye que el proceso se hará más productivo si con los mismos movimientos, el proceso fuese capaz de generar más kilogramos de producto final por cada ciclo. Dicho sea de paso, eso es lo que significa en su definición más estricta la mejora de la productividad: Aumentar la razón entre recurso y producto final, y esto se logra solo de dos maneras: utilizando menos recursos o aumentando la cantidad de producto final.

Encontramos que, mientras mayor el peso del saco de producto (actualmente una base de 100 kg), la productividad mejora.

Criterio 2

El primer criterio aislado sería insuficiente para ser aplicado a la realidad de cualquier fábrica. El criterio 1 aislado del contexto real del sistema productivo está incompleto. Existen otras restricciones tecnológicas y restricciones en los procesos alternos que limitan el peso de material que puede procesarse en cada ciclo.

El segundo principio introducido para plantear una propuesta concreta de mejora de la productividad en el proceso de mezclado de polvos se consigue al analizar la dinámica de transferencia de materiales con los procesos adyacentes.

El máximo (o mínimo) peso que se puede procesarse en un ciclo debe ser tal los procesos adyacentes puedan procesarlos sin ser perjudicados.

Existen distintas variables de proceso que acotan la capacidad máxima de producto que puede ser procesada en cada ciclo de trabajo:

- Restricciones ergonómicas

De acuerdo con la Resolución Ministerial N°375-2008-TR, la carga máxima a ser manipulada para mantener las condiciones ergonómicas para los trabajadores está limitada a un máximo de 25kg para hombres y 15kg para mujeres.

Esta es una restricción que puede limitar la cantidad de material procesado en cada ciclo para un proceso en el que se realiza manipulación de cargas. Se debe considerar las magnitudes a manipular manualmente para no atentar contra la integridad ergonómica de la fuerza laboral.

- Restricciones de manipulación y transporte de materiales

El tamaño máximo para la cantidad procesada en cada ciclo debe tomar en consideración los mecanismos de transporte de materiales disponibles: montacargas, apiladores, transpaletas manuales o eléctricos, entre otros. Incluso se debe revisar detalles como optar por la utilización de parihuelas u otras herramientas de manipulación de cargas.

- Capacidad de procesamiento de la maquinaria

Otra restricción está en el diseño tecnológico de las maquinarias, por lo que la posibilidad de migrar de un sistema de aumento del área de la sección transversal hacia un sistema sin alteración de la sección o hacia uno con reducción de la sección tiene más potencial de mejora en dos circunstancias: 1) Procesos manuales o medianamente automatizados y 2) En la etapa de diseño de procesos (al iniciar una operación o rediseñarla). En el primer caso, mientras más automatizado sea un proceso, la naturaleza de los equipos será la principal restricción modificar la cantidad de material procesado en cada ciclo. En la segunda circunstancia mencionada se indica que cuando se están diseñando los procesos, es posible tomar el principio de los caudales como un factor de análisis para optar por mecanismos capaces de procesar mayor cantidad de material por ciclo y así seleccionar la maquinaria que mejor resultado entregue.

- Espacios físicos para tránsito de los materiales

El volumen de materiales siendo trasladados, almacenados y manipulados debe permitir el libre tránsito, rutas de evacuación en caso

de emergencia, presencia de extintores, ventilación y cualquier otro aspecto pertinente.

- Características físicas del material procesado

La naturaleza de los materiales procesados es otro factor para considerar.

Si se trata de una mezcla líquida heterogénea (un sólido fino disperso en líquido), se debe analizar la necesidad de un sistema de dosificación dentro del cual existirá el riesgo de que la mezcla heterogénea se sedimente. En tal caso deben tomarse las medidas apropiadas para preparar la mezcla antes de la dosificación hacia el siguiente proceso.

Si se trata de materiales blandos, es posible que se deba considerar cantidades máximas de apilamiento vertical por el peso que puede soportarse.

Además, algunos materiales (metales, reactivos químicos, materiales de pronta caducidad) podrían requerir un estricto modelo FIFO (Primeras entradas, primeras salidas) para su flujo de un proceso a otro y esto debe ser considerado al modificar los procesos involucrados.

- Políticas de Inventarios

Es posible que las empresas mantengan una política de inventarios en proceso por reposición. Womack & Jones (2010), por ejemplo, desarrollan el concepto 'Pull' como el sistema de reposición idóneo para controlar los stocks de productos en proceso sin incurrir en desperdicios. Aranibar (2016) referenciado en los antecedentes consiguió incrementar la productividad de una planta de fabricación de abrasivos al implementar esta política de reposición de inventarios en proceso.

La cantidad de material procesado en cada ciclo de trabajo debe también permitir manejar las políticas de inventarios que las empresas establezcan.

Este segundo criterio puede resumirse con el siguiente enunciado:

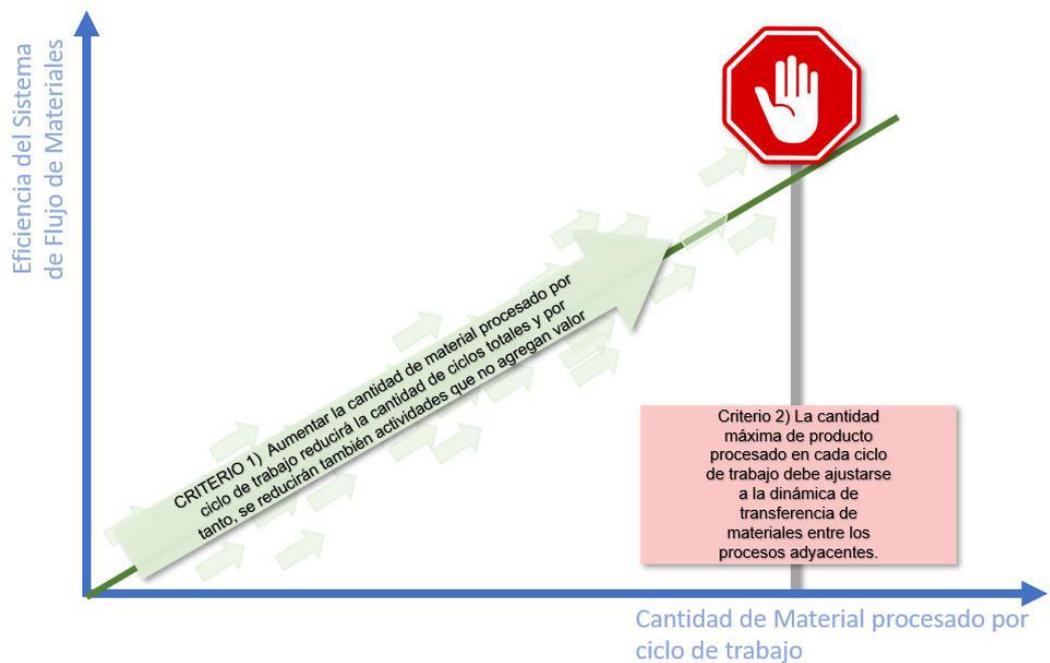
La cantidad máxima de producto procesado en cada ciclo de trabajo debe ajustarse a la dinámica de transferencia de materiales entre los procesos adyacentes.

La figura 15 resume la interacción de los dos principios:

Criterio 1) *Aumentar la cantidad de material procesado por ciclo de trabajo reducirá la cantidad de ciclos totales y, por tanto, se reducirán también actividades que no agregan valor*

Criterio 2) *La cantidad máxima de producto procesado en cada ciclo de trabajo debe ajustarse a la dinámica de transferencia de materiales entre los procesos adyacentes.*

Figura 15 Interacción entre criterios para optimización de la dinámica de flujo de materiales



5.2.1. La teoría de los Caudales

Guerrero (2017) indica que la metodología One Piece Flow o flujo de una sola pieza establece que en una cadena de producción un proceso no debería acumular lotes de productos para comenzar a procesarlos en las siguientes etapas. En este sentido se entiende que el estado ideal de un conjunto de procesos es aquel en el cual no existen inventarios intermedios entre uno y otro.

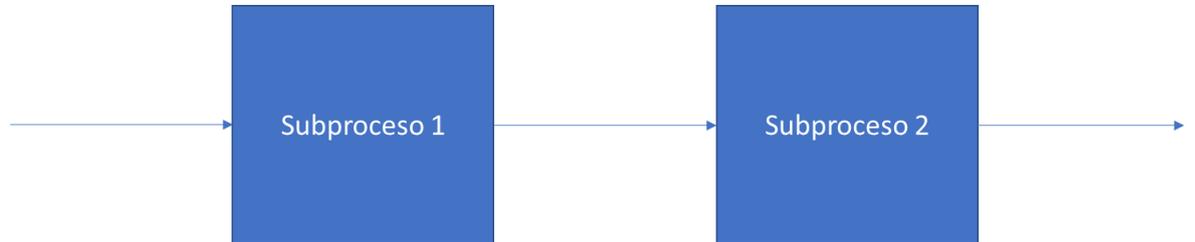
One Piece Flow en conjunto con el análisis anterior nos pueden orientar a planear mejores procesos y diseñarlos de forma que los recursos de tiempo y mano de obra sean los óptimos.

Para ilustrar cómo el concepto de One Piece Flow en conjunto con el principio ya desarrollado, se presenta el símil del flujo de materiales a través de un proceso como un fluido se desplaza a través de una cadena de un sistema de tuberías.

5.2.1.1. Descripción de Proceso Supuesto

Se presenta como ejemplo el siguiente proceso descrito en la Figura 16:

Figura 16 Subproceso Propuesto



El proceso entrega como producto terminado 1000 kilogramos al final de la cadena de producción (esto podría ser una caja, un saco, un camión, etc.).

Para introducir los conceptos que se tomarán para exponer la teoría de caudales, es necesario expresar la unidad de procesamiento en unidades equivalentes de producto procesado. Por ejemplo, si subproceso 1 entrega cajones de subproducto y se necesitan 3 cajones para entregar finalmente 1000 kg de producto terminado, se puede expresar que, matemáticamente, 1 cajón entrega 333.3 kg de producto equivalente; y de la misma forma 90 cajones entregarán 30,000 kilogramos de producto equivalente.

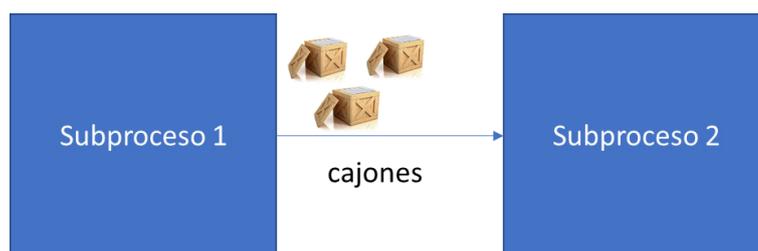
Llevando a la práctica el principio de One Piece Flow, este lleva a considerar que, si se tiene un pedido de 30,000 kilogramos de producto terminado, no se debe esperar hasta completar los 90 cajones de subproducto 1 para enviarlos a ser procesados en el Subproceso 2, sino que cuando ya se completaron 3 cajones de subproducto 1, ya estamos listos para enviarlos a ser procesados en el subproceso 2.

Un enfoque tradicional de producción por Lotes o Batches (Contrario a One Piece Flow) promueve acumular un stock de 90 cajones del subproducto 1 para llevarlos al subproceso 2 y así sucesivamente al largo de cada subproceso y obtener los 30,000 kg de producto terminado para atender el pedido. Sin embargo, en el apartado 2.2.2 se expone cómo One Piece Flow genera un sistema completo más ágil.

Luego de entender el concepto de unidades de producto equivalente, se aplicarán los conceptos al interior de los subprocesos propuestos 1 y 2 y plantear escenarios de transferencia de materiales para encontrar el punto óptimo.

La figura 17 muestra a los subprocesos 1 y 2 aislados del resto del sistema. Se ha mencionado que el subproceso 1 entrega cajones de forma que, con 3 cajones, el subproceso 2 genera 1000 kilogramos de producto terminado.

Figura 17 Proceso supuesto

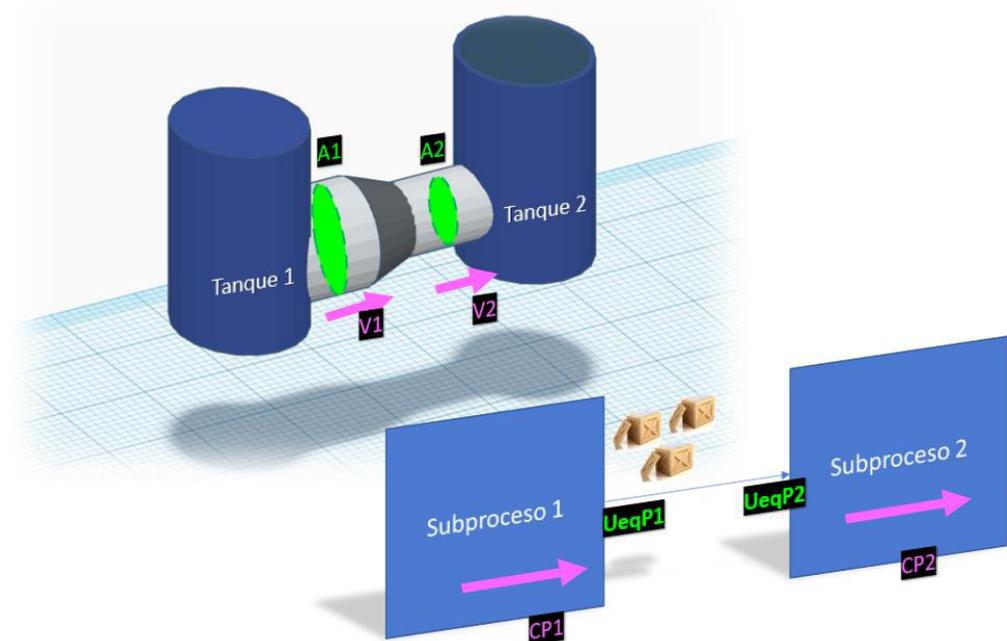


El presente estudio presenta la 'Teoría de Caudales' como una metodología para analizar qué características debe presentar el proceso para encontrarse en su estado óptimo en términos de flujo de materiales.

Entonces, para abordar el estudio en términos de teoría de caudales, se reemplazan los dos subprocessos por dos tanques de agua de modo que las variables de proceso mostrado (Unidad Equivalente de Producto 'UeqP', Capacidad de Proceso 'CP') se transforman en las variables análogas indicadas a continuación:

En la figura 18 se presenta primero el sistema de subprocessos (el material fluye del subprocesso 1 al subprocesso 2). Y se plantea la analogía contra el flujo de un líquido del tanque 1 al tanque 2 para mostrar las variables de proceso que han desarrollado más adelante.

Figura 18 Equivalencia de Variables



Capacidad de Proceso_{SubProceso 1} → Velocidad de Salida_{Tanque 1}

Capacidad de Proceso_{SubProceso 2} → Velocidad de Entrada_{Tanque 2}

Unid. Equivalente de Prod._{SubProceso 1} → Area de Sección Transversal de Salida_{Tanque 1}

Unid. Equivalente de Prod._{SubProceso 2} → Area Sección Transversal de Entrada_{Tanque 2}

En tal sentido, la transferencia de fluido de tanque a tanque puede estar ubicada en 3 situaciones:

1: MODELO CON AUMENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

2: MODELO CON REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL

3: MODELO SIN ALTERACIÓN EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL

Los escenarios que se presentarán en el estudio incrementarán y reducirán el peso de la unidad procesada en cada ciclo del subproceso 1.

Esto mismo se traduce en realizar modificaciones al área de la sección transversal del tanque 1 al hacer pasar el fluido de un tanque a otro.

Para estas situaciones, la variable independiente será el área de la sección transversal del tanque 1.

Alterar el área de la sección transversal del Tanque 1 en la analogía con los subprocesos es equivalente a hacer que el tamaño del cajón procesado en cada ciclo de trabajo del subproceso 1 sea de mayor o menor tamaño.

1: MODELO CON AUMENTO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL:

CAJONES DE **MENOR** TAMAÑO

(EJ. 1 CAJON → 200 KG DE PRODUCTO PROCESADO)

2: MODELO CON REDUCCIÓN DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL:

CAJONES DE **MAYOR** TAMAÑO

(EJ. 1 CAJÓN → 2,000 KG DE PRODUCTO PROCESADO)

3: MODELO SIN ALTERACIÓN EN LA SECCIÓN TRANSVERSAL:

CAJONES DE TAMAÑO DE LA UNIDAD DE PRODUCTO TERMINADO EQUIVALENTE

(1 CAJÓN → 1,000 KG DE PRODUCTO PROCESADO)

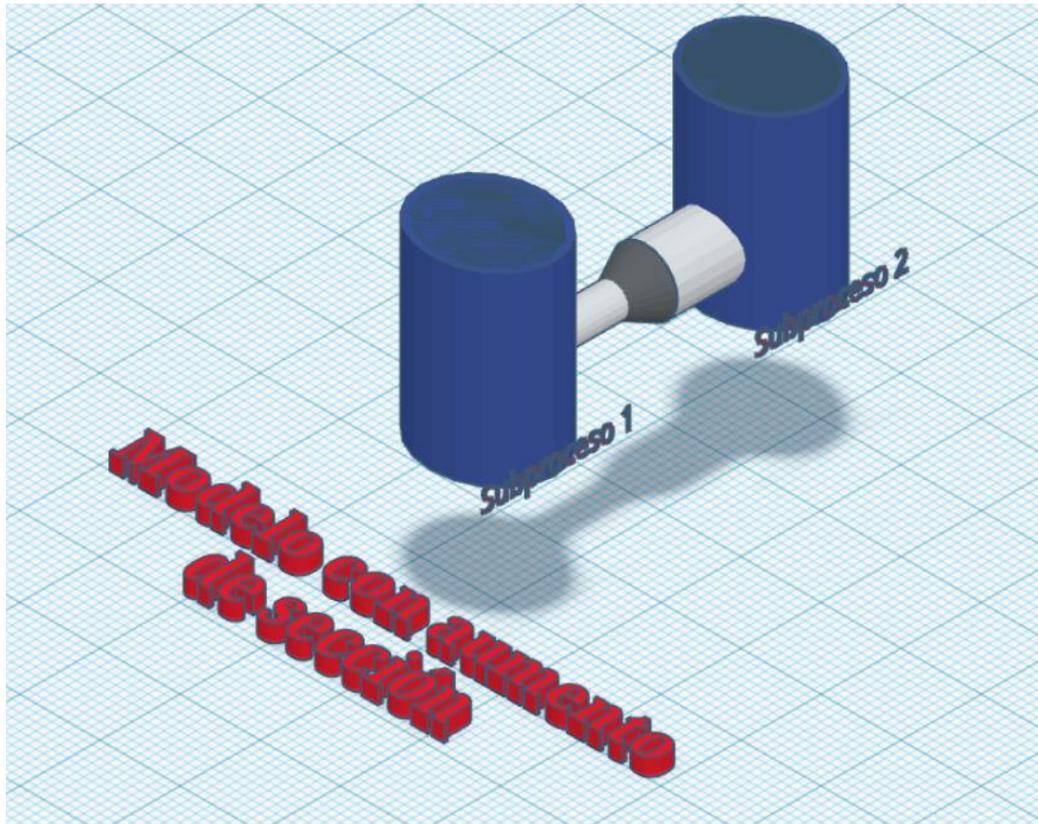
Se presenta cada uno de estos tres modelos con el objetivo de analizar qué sucede con el sistema, y cómo debería adecuarse la velocidad de entrada/salida de subproceso 1 y subproceso 2 para mantener la estabilidad en el proceso, y cuál de los tres escenarios ofrece los mejores beneficios en términos de productividad y flujo de materiales.

Además, se presenta de qué forma puede analizarse en qué modelo de transferencia de materiales se ubica un sistema de procesos considerando las relaciones entre sus variables de proceso.

5.2.1.2. Modelo con Aumento de la Sección Transversal

La figura 19 muestra un cambio de caudal cuando se pasa del subproceso 1 al subproceso 2:

Figura 19 Modelo con aumento de la sección transversal



La teoría de los caudales lleva su nombre por la analogía que se crea cuando comparamos la interacción de dos procesos con cortes en dos puntos de un sistema de tuberías.

En términos de dinámica de fluidos, el caudal Q (flujo volumétrico) está definido como la cantidad de fluido que circula a través de la sección de un ducto por unidad de tiempo. De esta definición se desprende la definición matemática que aparece a continuación:

$$Q = A * v$$

$$Q: \text{Caudal} \left[\frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \right]$$

$$A: \text{Área de la sección transversal} [\text{Área}]$$

$$v: \text{Velocidad Promedio de Flujo} \left[\frac{\text{Distancia}}{\text{Tiempo}} \right]$$

De donde al despejar el área, queda la siguiente relación:

$$A = \frac{Q}{v}$$

Al hacer se hacen cortes a la salida del Subproceso 1 y a la entrada del Subproceso 2, se encuentra la situación que caracteriza este primer escenario: el área de la sección transversal que se incrementa al pasar del tanque 1 al tanque 2.

$$A_1 < A_2$$

Al reemplazar la relación de áreas por sus respectivas relaciones Caudal – Velocidad, se tiene que:

$$\frac{Q_1}{v_1} < \frac{Q_2}{v_2}$$

En la Figura 19 además se aprecia que el sistema no tiene puntos de fuga o inserción de fluido entre los puntos de salida del Subproceso 1 y la entrada del subproceso 2, por lo que la cantidad de fluido (caudal) que se desplaza por unidad de tiempo será la misma.

De lo mencionado,

$$Q_1 = Q_2$$

Y al reemplazar en la ecuación de comparación de caudal – volumen se obtiene la siguiente relación de velocidades:

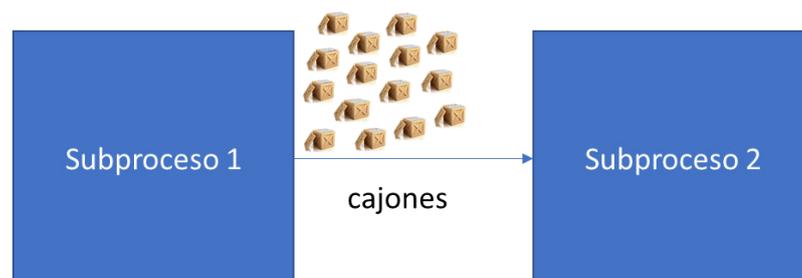
$$v_2 < v_1$$

Para un sistema con caudal constante, se concluye entonces que el área de la sección transversal es inversamente proporcional a la velocidad de flujo en ese punto.

Esta última relación da a entender que, para mantener la estabilidad del sistema, el subproceso 1 necesita procesar el fluido a un ritmo superior al del subproceso 2. Y no solo ello, si se conoce la relación de áreas de las secciones transversales, luego de realizar los reemplazos respectivos, se conocerá el límite de velocidad aceptable para lograr que el caudal se mantenga. Dicho reemplazo se llevará a cabo a continuación.

Si se trae la analogía de vuelta hacia la interacción industrial entre los subprocesos, se tendría un proceso como el descrito en la Figura 20; de forma que el subproceso 1 pasaría de hacer 3 cajones para 1 tonelada de producto terminado a hacer cajones más pequeños con los que se acumularían ya no 3, sino 15 cajones de menor tamaño para obtener la misma tonelada de producto terminado.

Figura 20 Proceso con aumento de la sección transversal



Evidentemente, si se va a completar cajones de menor tamaño, cada nueva unidad de salida se obtendrá en menos tiempo (mayor velocidad en el punto de salida del subproceso 1).

El principio de los caudales entregaba que:

$$A_1 < A_2, \text{ y, por lo tanto, } V_2 < V_1$$

Lo que se traduce en términos de proceso industrial como relación entre

Unidad Equivalente de Producto y relación de **Capacidades de**

Proceso:

$$UeqP_1 < UeqP_2, \text{ y, por lo tanto, } CP_2 < CP_1$$

Para conseguir estabilidad de proceso en el ejemplo presentado, se reemplazan las variables de proceso:

$$\frac{UeqP_1}{UeqP_2} = \frac{1}{15}$$

$$\frac{CP_2}{CP_1} = \frac{1}{15}$$

Este modelo será estable (sin interrupción en el flujo de materiales) toda vez que el siguiente enunciado sea respetado:

La capacidad del subproceso 1 es inferior que la del subproceso 2 en la misma proporción como es mayor la Unidad Producto Equivalente del subproceso 2 con respecto a la del subproceso 1.

Sin embargo, a pesar de que matemáticamente el sistema puede ser estable, el manipuleo que genera al interior del subproceso 1 procesar múltiples veces el producto genera actividades que no transformarán el

producto terminado: Transporte de elementos para contener subproducto (cajones vacíos), Acondicionamiento del Subproducto (Etiquetado, Pesado, sellado, etc.), Transporte del Subproducto (Movimiento de cajones).

Cada uno de los puntos indicados está compuesto por movimientos y actividades que sumadas generarán la necesidad de invertir más recurso de personas (menor productividad).

Cuando se hace un vistazo crítico a las actividades indicadas a la luz de la filosofía de Lean Manufacturing, todas son actividades que no agregan valor al producto. El cliente no paga por ellas, sino por el producto transformado y con valor añadido; y si bien son actividades necesarias, componen desperdicios que pueden y deben ser reducidos. El potencial de mejora por reducción de desperdicios se da al reducir los señalados en la Figura 21:

Figura 21 Los 7 Desperdicios



Fuente: tomado de <https://spcgroup.com.mx/7-desperdicios/>

De los cuales resaltan:

- Movimientos: Traslado de personas que participan en el proceso.
- Sobreprocesamiento: Accionar sobre el producto en actividades distintas a las de transformación.
- Transporte: Movimiento de materiales.

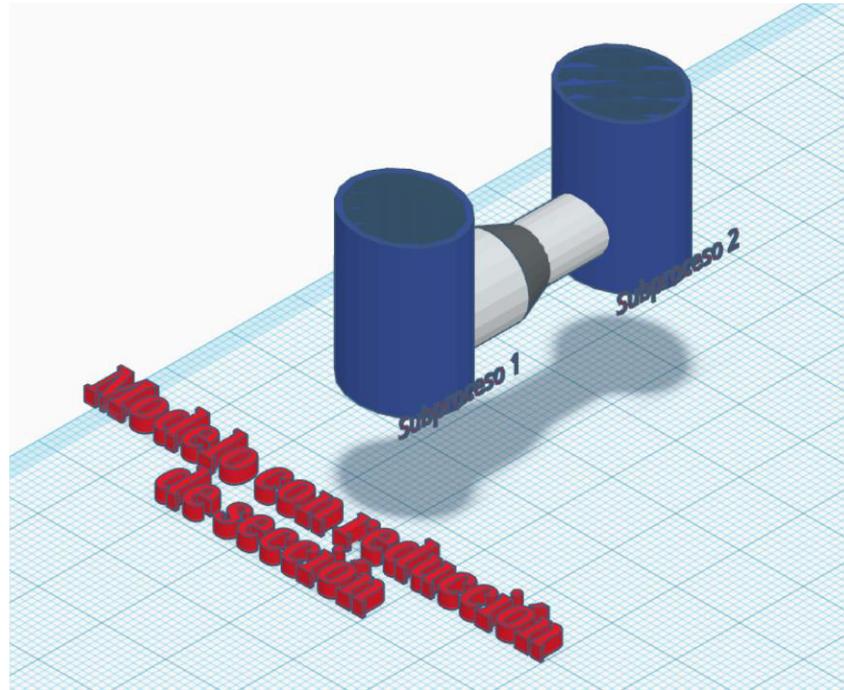
El impacto de estos desperdicios varía entre casos. En el presente documento se demostrará cómo afectan estos desperdicios en el proceso objeto de la investigación.

Según la Teoría de Restricciones – Goldratt & Cox (2005) cuando existen procesos dependientes, estos generan que las fluctuaciones estadísticas de cada proceso se repliquen ‘Aguas Abajo’ y alteren el desempeño del sistema productivo; con lo cual, bajo un modelo de ‘Aumento de la Sección Transversal’ no es el ideal. Eso al considera que con este modelo se realizarán más ciclos en el primero de los dos eventos dependientes.

5.2.1.3. Modelo con Reducción de la Sección Transversal

El siguiente modelo es aquel que tiene reducción de la sección transversal como se muestra en la Figura 22:

Figura 22 Modelo con Reducción de la Sección Transversal



El Subproceso 2 mantiene el área de entrada, pero el área del subproceso 1 es mayor que ella. Para esta nueva relación entre áreas será opuesta, y la inequación para compararlas queda como se expresa a continuación:

$$A_1 > A_2$$

Al reemplazar la ecuación del caudal se llega a deducir la relación de velocidades entre el punto de salida del subproceso 1 y la entrada del subproceso 2.

$$\frac{Q_1}{v_1} > \frac{Q_2}{v_2}$$

Debido a que no existen fugas ni hay ingreso del fluido entre estos extremos, la cantidad de agua que fluye se mantiene entre la salida del subproceso 1 y la entrada del 2.

$$Q_1 = Q_2$$

Con lo que se demuestra que la velocidad de entrada hacia el subproceso 2 será mayor a la velocidad de salida del subproceso 1

$$v_2 > v_1$$

Esta relación se mantiene al volver hacia el proceso supuesto que se viene desarrollando. Al reemplazar las áreas por el tamaño de la unidad de salida del subproceso 1, la analogía de los tanques y el caudal es reemplazado por Subproceso 1 entregando cajones, pero esta vez los cajones superan los 1,000 kg de producto terminado equivalente. En nuestro ejemplo, vamos a suponer que la duplica, con lo que un 1 cajón del subproceso 1 significará 2,000 kilogramos de producto terminado equivalente. Esto se muestra en la figura 23.

Al reemplazar las variables de proceso industrial, se tiene la siguiente regla a considerar para mantener la estabilidad del proceso (mismo caudal; flujo continuo de material):

$$\frac{UeqP_1}{UeqP_2} = \frac{2}{1}$$

$$\frac{CP_2}{CP_1} = \frac{2}{1}$$

De no cumplirse dicha relación, se sufrirá de interrupciones en el flujo de materiales (Esperas) o acumulación de material (Inventarios) ambos perjudiciales para un proceso según Lean Manufacturing.

Figura 23 Proceso con Reducción de la sección transversal



Este modelo es opuesto al modelo con aumento de la sección transversal y sus impactos en términos de desperdicios de proceso se minimizan. Cada ciclo de trabajo produce unidades de tamaño superior al tamaño procesado en el proceso adyacente, y en ese sentido se optimizan las operaciones y actividades que lo componen.

Sin embargo, a la luz de One Piece Flow, existe el riesgo de generar más producto que el que se necesita. El desperdicio de 'Sobre producción' puede afectar también negativamente al sistema y es necesario revisar si los procesos alternos están preparados para dosificar los materiales para procesarlos.

A nivel de balance de carga de trabajo, la relación que se debe mantener para no tener interrupciones de proceso es:

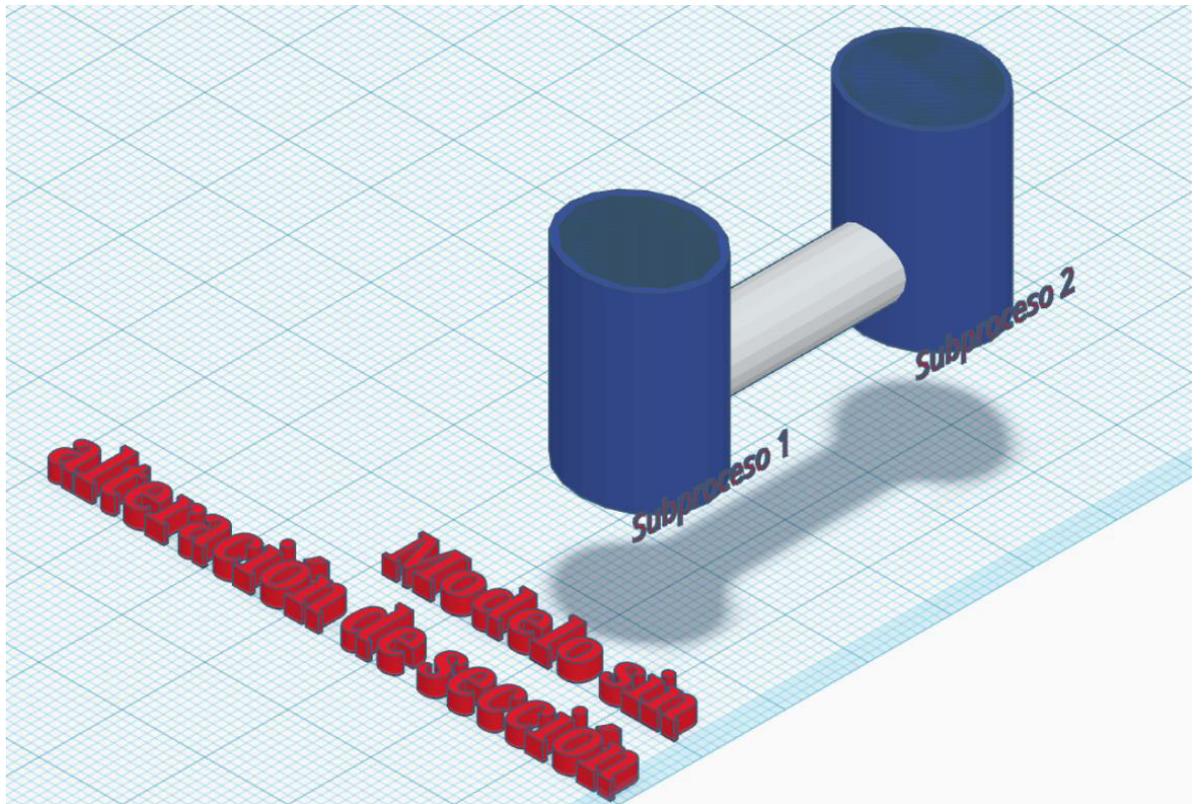
La capacidad del subproceso 1 es mayor que la del subproceso 2 en la misma proporción como es de menor tamaño la Unidad Producto Equivalente del subproceso 2 con respecto a la del subproceso 1.

5.2.1.4. Modelo sin alteración de sección transversal

Para el tercer modelo mostrado en la figura 24 se aprecia cómo el fluido va del contenedor A al B por un pase que mantiene el área de la sección transversal:

$$A_1 = A_2$$

Figura 24 Modelo sin alteración de Sección Transversal



De forma que, al reemplazar en la ecuación del caudal, se tiene que:

$$\frac{Q_1}{v_1} = \frac{Q_2}{v_2}$$

Y tal como se ha considerado en los casos anteriores, la cantidad de fluido no aumenta ni disminuye, por lo que Q_1 es igual a Q_2 , con lo cual, la relación de velocidades quedaría:

$$v_1 = v_2$$

A nivel de métricas del proceso, la relación es la más simple de los tres casos. Si en cada ciclo fluye la misma cantidad de material, el tiempo esperado de procesamiento de cada ciclo deberá también ser el mismo.

$$\frac{UeqP_1}{UeqP_2} = \frac{1}{1}$$

$$\frac{CP_2}{CP_1} = \frac{1}{1}$$

5.2.1.5. *Identificación del Modelo a partir de las métricas de proceso.*

Al unificar y comparar las relaciones entre parámetros de proceso, es posible deducir si un par de procesos está operando bajo un sistema de aumento, disminución de sección transversal o de sección transversal constante.

Esta deducción se logra al comparar uno de los dos pares de indicadores analizados: el par de Unidades Equivalentes de producto terminado o el par de Capacidades de proceso.

Relación del par de Unidades Equivalente de Producto Terminado

La unidad de producto terminado equivalente producida en un ciclo reemplaza la 'Sección transversal' en un sistema de caudal de fluido; con lo cual se genera el siguiente principio matemático:

$$UeqP_1 < UeqP_2 \rightarrow \frac{UeqP_1}{UeqP_2} < 1 \quad \text{Si la razón de Unidad}$$

Equivalentes de Producto es menor a uno, se tiene un Sistema con **Aumento de la Sección Transversal.**

$$UeqP_1 > UeqP_2 \rightarrow \frac{UeqP_1}{UeqP_2} > 1 \quad \text{Si la razón de Unidades}$$

Equivalentes de Producto es mayor a uno, se tiene un Sistema con **Reducción de la Sección Transversal.**

$$UeqP_1 = UeqP_2 \rightarrow \frac{UeqP_1}{UeqP_2} = 1 \quad \text{Si la razón de Unidades}$$

Equivalentes de Producto es igual a uno, se tiene un Sistema **Sin alteración de la Sección Transversal.**

Relación del par de Capacidades de Proceso

Si se realiza el análisis tomando como par de parámetros la capacidad de proceso de los procesos involucrados, la relación se deduce bajo el siguiente principio matemático:

$$CP_1 > CP_2 \quad \rightarrow \quad \frac{CP_1}{CP_2} > 1 \quad \text{Si la razón de capacidades de proceso}$$

es mayor a uno, se tiene un Sistema con **Aumento de la Sección Transversal.**

$$CP_1 < CP_2 \quad \rightarrow \quad \frac{CP_1}{CP_2} < 1 \quad \text{Si la razón de capacidades de proceso}$$

es menor a uno, se tiene un Sistema con **Reducción de la Sección Transversal.**

$$CP_1 = CP_2 \quad \rightarrow \quad \frac{CP_1}{CP_2} = 1 \quad \text{Si la razón de capacidades de proceso}$$

es igual a uno, se tiene un Sistema **Sin alteración de la Sección Transversal.**

5.2.1.6. *Comparación de los Modelos de la Teoría de los Caudales*

Se concluye de la comparación de los tres sistemas que una serie de procesos sí puede estar balanceado bajo cualquiera de los modelos: aumento de la sección transversal, reducción de la sección transversal, y flujo sin alteración en la sección transversal; sin embargo, para lograr mantener el flujo estable entre ambos procesos, es necesario que se mantenga la relación de velocidades (capacidades de proceso) con la misma proporción con la que varía la cantidad de producto equivalente que se procesa en cada ciclo de proceso. Por lo general este ajuste es natural entre los procesos al modificar en la práctica la velocidad real del proceso.

Aunque el sistema con aumento de la sección transversal o con reducción de sección transversal logran trabajar balanceadamente al mantener la relación de velocidades de procesamiento, a nivel de desperdicios (según Lean Manufacturing, y de acuerdo con lo explicado en la descripción de los subprocesos 1 y 2), existen oportunidades de mejora al incrementar el reducir el tamaño de la unidad procesada a fin de disminuir la cantidad de ciclos para la misma cantidad de producto procesado. Eso significa que mientras mayor sea el área de la sección transversal del tanque uno, la productividad del sistema mejora.

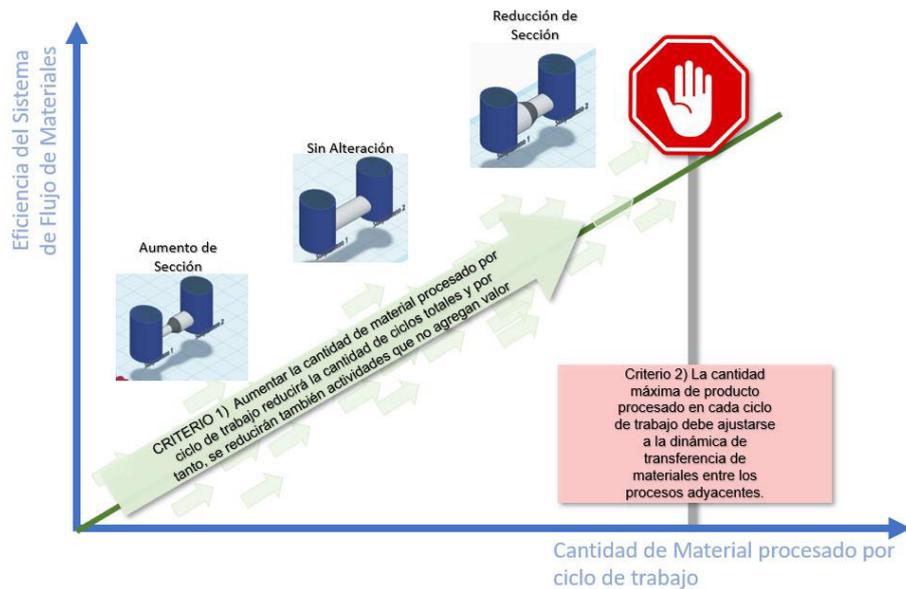
Mientras más 'atomizada' o de menor 'tamaño' sean las unidades procesadas, la cantidad de ciclos que se realizarán será mayor y, por tanto, la preparación, manipulación y transporte de materiales será mayor. Los movimientos y subprocesos necesarios para tratar los subproductos

serán mayores mientras más se deba fabricar de estas unidades por unidad de tiempo.

Si los procesos que continúan al proceso en estudio tienen sistemas de dosificación o permiten consumir de manera progresiva el material a procesar, es conveniente migrar de un modelo de aumento de la sección transversal hacia procesos con reducción de sección o sin alteración de la sección transversal manteniendo siempre la ecuación indicada en la teoría de los caudales para asegurar el balance del proceso.

La teoría de los caudales establece una metodología para analizar numéricamente y con procesos específicos el punto óptimo para la dinámica de flujo de materiales. Los tres modelos desarrollados en la teoría de los caudales encajan con los dos criterios para la optimización de la productividad como lo muestra la figura 25.

Figura 25 Relación de la Teoría de los Caudales con los criterios de optimización del flujo de materiales



5.3. Aplicación

5.3.1. Aplicación de Oportunidades al Proceso Actual

Al analizar las oportunidades de mejora de productividad, debe tenerse presente que la formulación de las mezclas y el fondo de los métodos no debe ser alterado. Las oportunidades de mejora de calidad de mezcla o formulación están fuera del alcance de esta investigación, por lo que las tecnologías y operaciones permanecen sin modificación.

Actualmente el proceso de pesado de polvos procesa un saco de polvos por cada ciclo de trabajo. El proceso que se pasa a describir a continuación triplica la cantidad de polvos mezclados en un ciclo de trabajo a fin de optimizar la productividad.

Para analizar el sistema y poder ubicarlo en uno de los tres estados descritos en la teoría de los caudales es necesario homologar las

cantidades procesadas en términos de una única unidad equivalente a ambos para cada ciclo de trabajo.

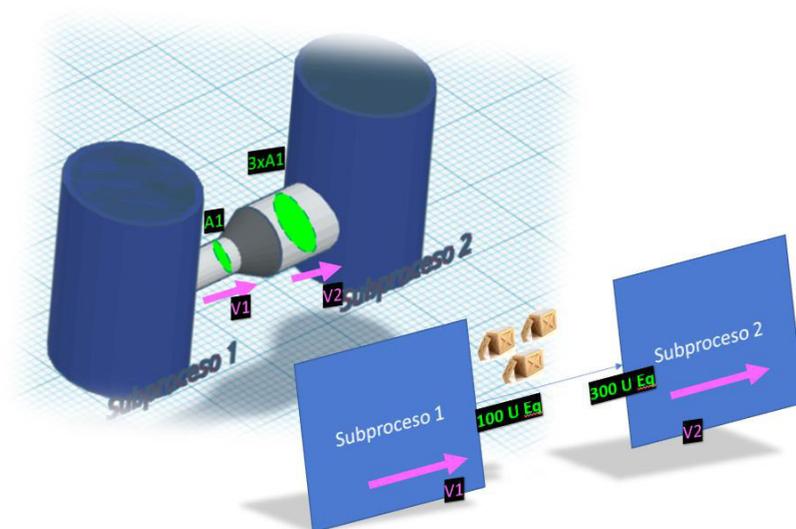
En este subsistema compuesto por el proceso de pesado de polvos y el proceso que viene a continuación, la unidad equivalente que se tomará como base de cálculo será el peso de mezcla de polvos procesada en cada ciclo: 100 unidades de peso en el proceso de pesado de polvos y 300 unidades de mezcla en un ciclo del proceso que le sigue.

Para deducir en qué modelo se ubica el sistema en comparación con la teoría de los caudales, el par de parámetros considerado es el de las unidades de producto terminado equivalente procesado en cada ciclo.

$$\frac{U_{eqP_1}}{U_{eqP_2}} = \frac{100kg}{300kg} = \frac{1}{3}$$

El resultado de la razón entre Unidades de Producto equivalente es inferior a uno: $0.33 < 1$, con lo que se deduce que el sistema se ubica en la situación de '**Aumento de la Sección Transversal**' tal como lo muestra la figura 26.

Figura 26 Dedución de modelo de caudal del proceso.



El proceso de mezclado de polvos es capaz de abastecer al proceso adyacente con la mezcla contenida en sacos de polipropileno.

Sin embargo, como se analizó bajo el concepto de teoría de los caudales, aunque estamos frente a un proceso balanceado, existe oportunidad de reducir desperdicios al pasar del modelo a uno sin variación de sección transversal o uno con reducción de la sección.

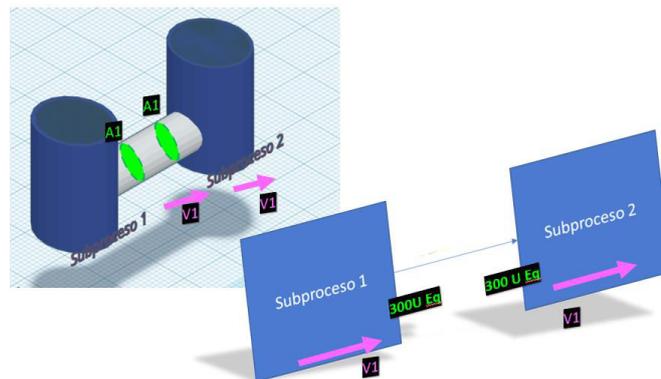
La migración de un proceso de aumento de la sección trasversal hacia uno con **reducción** de la sección transversal requeriría del cliente interno contar con un sistema de dosificación de polvos de alta precisión cuyo costo supera los veneficios del proyecto en el plazo de recupero esperado. La opción más viable es migrar hacia un modelo **sin alteración** de la sección transversal. En tal caso, los beneficios superan la inversión dentro de los primeros dos años (Ver Análisis de Costo-Beneficio)

Para alcanzar el modelo sin modificación de la sección transversal, el proceso de pesado de polvos debe entregar en cada unidad procesada la misma cantidad de producto equivalente que procesa en un ciclo el proceso adyacente.

En este sentido y de cara al cliente interno del proceso de pesado de polvos, el peso máximo que se puede considerar en el proceso de pesaje es del triple del peso que procesa actualmente; con lo cual, la relación de ciclos trabajados en mezclado de polvos será la misma cantidad de ciclos procesados en el proceso adyacente para obtener la misma base de cálculo.

La figura 27 muestra el estado futuro del proceso al igualar la unidad procesada en cada ciclo de trabajo tanto en el subproceso 1 como en el subproceso 2.

Figura 27 Modelo de caudal de proceso propuesto



El potencial de mejora se desprende de este cálculo. Se pasará de generar sacos conteniendo la medida referencial de 100U a producir 300U de mezcla de polvos en cada ciclo de trabajo. Es decir que cada actividad interna del proceso tal como preparación de sacos, transporte de sacos, y todos lo mencionado al comenzar el apartado de 'teoría de caudales' tiene potencial de ser reducido a un tercio del tiempo invertido actualmente.

Existen cinco modificaciones tecnológicas a concretar para triplicar la cantidad de mezcla de polvos producida en cada ciclo de trabajo.

5.3.2. Modificaciones para el Proceso Actual

Modificación de la plataforma de pesado.

El primer elemento que debe ser modificado en la línea pesado de polvos orgánicos e inorgánicos es el tamaño de la plataforma sobre la cual se realiza el pesado de cada componente que forma parte de la mezcla.

Las dimensiones de la plataforma de pesado que se utiliza actualmente para llevar a cabo el proceso de pesado de polvos es tal que el máximo peso que logra contener es el peso de un saco de mezcla.

Para que esta balanza pueda contener el triple de su capacidad actual es necesario ampliar la superficie de la plataforma de forma que en una sola pasada a través del corredor de contenedores se pueda recoger la cantidad optimizada de polvos.

Desarrollo de un nuevo tipo de contenedor para la mezcla de polvos

Los sacos que actualmente son utilizados para almacenar y transportar la mezcla de polvos son sacos de polipropileno acondicionados en pallets tal como se muestra en la imagen referencial de la Figura 28.

Las dimensiones del saco utilizado actualmente componen la segunda limitante para aumentar el peso de la unidad producida en cada ciclo de fabricación. Para diseñar un proceso capaz de incrementar el peso de la unidad al triple es necesario replantear el tipo de contenedor utilizado.

Figura 28 Acondicionamiento de Sacos



Fuente: tomado de <https://www.symach.nl/es/aplicaciones/13/granos-de-cafe-y-granos-de-cacao.html>

La propuesta de modificación para la fábrica analizada es un contenedor de tipo 'BigBag' como el mostrado en la Figura 29.

Figura 29 Tipo de contenedor propuesto



Fuente: tomado de <https://www.123bigbags.com/es/es/big-bags-bolsas/sacos-anti-humedad-con-forro-90>

Este nuevo diseño trae consigo un beneficio más allá del beneficio financiero producto del aumento de productividad. Cuando el cliente interno del proceso de pesado de polvos descarga el contenido de los sacos, estos son actualmente manipulados por arrastre.

Al manipular los sacos con la mezcla de polvos, los operadores manipulan cargas de pesos por encima de 25kg - límite máximo recomendado para manipulación de cargas según NIOSH (1981) y, si bien no elevan dichas cargas, existe en riesgo de sufrir lesiones generadas por posturas disergonómicas en este proceso de descarga.

Al incrementar el tamaño a unidades envasadas en bigbags con pesos equivalentes al triple del peso actual, el manipuleo será completamente tecnificado. Con tal peso, el operador quedará imposibilitado de manipular los insumos con fuerza propia.

La manipulación de los bigbags será realizada utilizando un polipasto con dos grados de libertad: Izaje y desplazamiento en un eje. Se requerirá de un polipasto con capacidad de 1 tonelada.

El movimiento de los polvos del proceso de pesado hacia el siguiente se mantendrá tal como se manejan hoy: utilizando montacargas para trasladar los sacos organizados en pallets; en el futuro, los sacos pasarán a ser bigbags y estos estarán de igual forma apilados sobre pallets de madera.

El apilamiento actual de sacos sobre las parihuelas de madera consta de 3 camas de 6 sacos cada una, mientras que la propuesta está en pasar a

apilar 8 bigbags en cada parihuela. El peso contenido en cada pallet será también aumentado en ~30%.

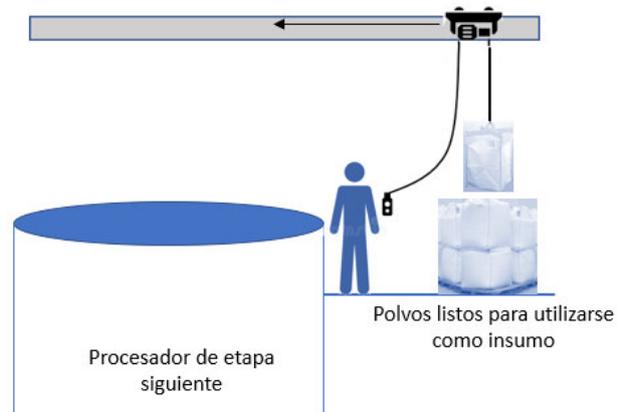
Adecuación del espacio físico en la siguiente etapa

Los sacos que contienen la mezcla de polvos avanzan al proceso siguiente y son utilizados como insumo en la siguiente etapa en la cual es necesario descargar la mezcla de polvos sobre mezcladores industriales. Para verter el contenido de los sacos de polvos, en el proceso actual, un operador arrastra los sacos para aproximarlos al borde del mezclador dentro del cual se utilizará la mezcla de polvos.

Es aquí donde en el inciso anterior se mencionó que se tiene el riesgo de sufrir lesiones producidas por la manipulación disergonómica de cargas.

En la Figura 30 se muestra un esquema referencial de cómo se plantea el estado futuro de este cliente interno del proceso de pesado de polvos para permitir que el contenido de los bigbags sea descargado para avanzar con las siguientes etapas de proceso productivo.

Figura 30 Esquema de sistema de descarga de bigbags hacia mezclador en la siguiente etapa del proceso



Como se mencionó anteriormente, conducir un bigbag que contine el triple del peso actual por arrastre es inmanejable. Para La tecnificación del vertido del contenido de este big bag, se debe instalar un polipasto dos grados de movimiento: Izaje vertical y desplazamiento horizontal en una dirección.

La dinámica del vertido consistirá en elevar el bigbag desde el pallet sobre el cual está almacenado y conducirlo con ayuda del polipasto hasta que se encuentre posicionado sobre el mezclador.

Una vez ubicado sobre el mezclador, la falda de descarga del bigbag guiará al contenido de este para ser descargado y utilizado como insumo en este siguiente proceso.

Este conjunto de modificaciones permitirá que el proceso de pesado de polvos procese el triple del peso que actualmente procesa en cada ciclo de trabajo y, por lo tanto, la productividad será incrementada al reducir los desperdicios detallados en la siguiente sección.

5.4. Análisis de Costo-Beneficio

5.4.1. Costos

De las modificaciones indicadas en el inciso anterior, los gastos en los que se incurrirá al llevar a cabo el proyecto pueden agruparse en los siguientes conceptos:

1) **Modificación del tamaño de la balanza**

La primera modificación consiste en modificar la plataforma de pesado utilizada al tomar los pesos de cada componente de la mezcla de polvos. La balanza y las estructuras metálicas que componen la parte mecánica en el proceso actual no necesitan ser alterados. Basta con rediseñar la plataforma de pesado para que el volumen de polvos contenido sea aumentado al triple de su capacidad actual. La fabricación de esta nueva plataforma de pesado con la capacidad triplicada ha sido cotizada en USD 3 000,00.

2) **Instalación de Polipasto para vertido del contenido en siguiente etapa del proceso**

El área del cliente interno del proceso de pesado de polvos está ubicada sobre una plataforma metálica. Precisamente sobre el lugar donde se realizará el vertido del contenido de los bigbags existe una viga que puede ser utilizada como eje de movimiento del polipasto, con lo cual la inversión consistirá en la adquisición e instalación del polipasto.

El costo para el polipasto y su instalación se calcula en USD 2 500,00.

La migración del tipo de contenedor (de sacos a bigbags) no compone un elemento diferencial de costos. El costo de cada saco está estimado en 2 dólares cada uno y la cotización inicial de los bigbags vacíos está en USD 7; sin embargo, dicho costo es dado por una compra puntual para una cantidad pequeña. El costo a volúmenes de compra constantes de este suministro auxiliar puede ser negociado por debajo de los USD 6, con lo que el costo de la migración de sacos a bigbags no representa una inversión que afecte el cálculo Costo-Beneficio en el proyecto.

5.4.2. Beneficios

Para que un proyecto de inversión resulte atractivo en términos de inversión de capital, este debe entregar beneficios como máximo al cierre del segundo año – por política de la compañía. Este es el plazo máximo de recupero de la inversión para los proyectos de ahorro.

Como se desarrolló a lo largo del capítulo de la teoría de los caudales, el tiempo de ciclo aumentará; sin embargo, en cada ciclo se producirán más kilogramos y el proceso mantendrá su balance con menos manipulación y menos movimientos. En este sentido, la ratio productivo Kilogramo/Hora Hombre (productividad) mejorará.

El sistema cambia de 136 segundos por saco, a 220 segundos por bigbag. El balance de tiempos del escenario anterior al actual genera un aumento de 85% en la productividad de esta área. Esto se detalla en la sección de Presentación de Resultados.

El ahorro proyectado es de 1 persona. El beneficio anual por percibir será de USD 6 200,00.

5.4.3. Comparación Costo Beneficio

La compañía tiene por política realizar inversión con tiempo de recupero máximo de dos años.

Las tablas 6 y 7 muestran cómo se percibirá el beneficio del proyecto de forma acumulada hasta el segundo año.

Tabla 6 Beneficio Neto Acumulado - Año 1 (USD)

	Año 1											
	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Inversión	5500	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio	0	0	0	516	516	516	516	516	516	516	516	516
Beneficio neto acumulado	-5500	-5500	-5500	-4984	-4468	-3952	-3436	-2920	-2404	-1888	-1372	-856

Tabla 7 Beneficio Neto Acumulado - Año 2 (USD)

	Año 2											
	Mes 13	Mes 14	Mes 15	Mes 16	Mes 17	Mes 18	Mes 19	Mes 20	Mes 21	Mes 22	Mes 23	Mes 24
Inversión	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Beneficio	516	516	516	516	516	516	516	516	516	516	516	516
Beneficio neto acumulado	-340	176	692	1208	1724	2240	2756	3272	3788	4304	4820	5336

Como lo expresan las tablas, los beneficios superan el valor de la inversión inicial a partir del mes 14 y entregan un beneficio neto acumulado de USD 5 336,00 al cierre del segundo año.

A partir de terminado el segundo año, el beneficio anual se valoriza en \$ 6 200,00 por ahorro en mano de obra.

CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Presentación de resultados

6.1.1. Mejora de la productividad

De llevarse a cabo las recomendaciones expuestas en el presente documento, se proyectan mejorías en dos dimensiones: mejora de la productividad del proceso y beneficio financiero.

El ratio productivo expresado en kilogramos por hora-hombre y aplicado el factor de conversión para transformar el cálculo en kg de producto terminado equivalente da una mejoría de 85%; tal como lo expresa la tabla 8.

El tiempo de ciclo indicado en la columna de 'Después' en la tabla 8 corresponde al estado posterior a las mejorías planteadas.

Tabla 8 Mejora de Productividad producto de las mejoras al proceso

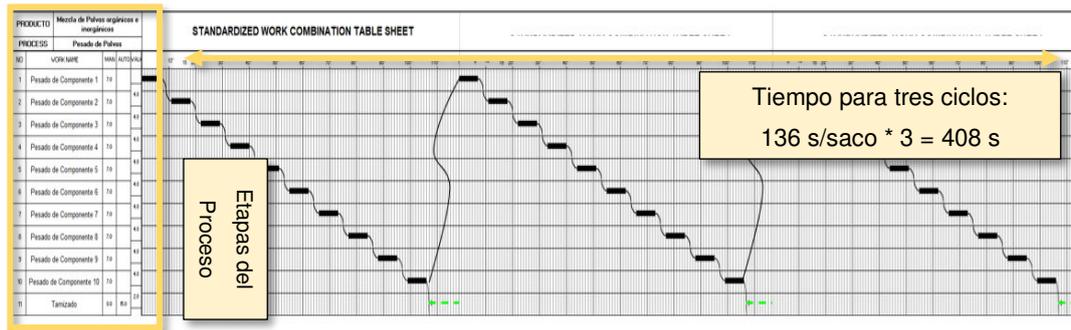
	Balance Actual	Después
(a) Tiempo de Ciclo	136 seg/saco	220 seg/bigbag
(b) Kg/pieza	100 kg/saco	300 kg/bigbag
(a) / (b) = (c) Seg/Kg	1.36 seg/kg	0.73 seg/kg
(d) Mano de Obra	3	3
$3600/(a) = CP$ Capacidad de Proceso	26.5 saco/hora	16.4 bigbag/hora
$3600 / ((b)*(d)) = P$ Productividad	882 kg mezcla/h-h	1636 kg mezcla/h-h
% de Mejora		85%

Al comparar el estado actual con el futuro (luego de la mejora) se aprecia cómo se reduce la cantidad de piezas producidas en una hora (de 26.5 a 16.4 sacos/hora). Es decir, la velocidad se reduce.

La reducción aritmética esperada era de 3 a 1 (la misma proporción con la que se incrementó el peso de la unidad procesada). Es decir, la capacidad de proceso esperada – esto es, si la reducción fuese puramente aritmética – hubiera sido $26.5 / 3 = 8.83$ saco/hora.

La mejoría al proceso se percibe en que la nueva capacidad de proceso es mayor: 16.4 pc/hora, ~+85% más veloz de la expectativa aritmética. La expectativa puramente aritmética significaría que el nuevo proceso tomaría exactamente el triple del tiempo (Ver figura 31)

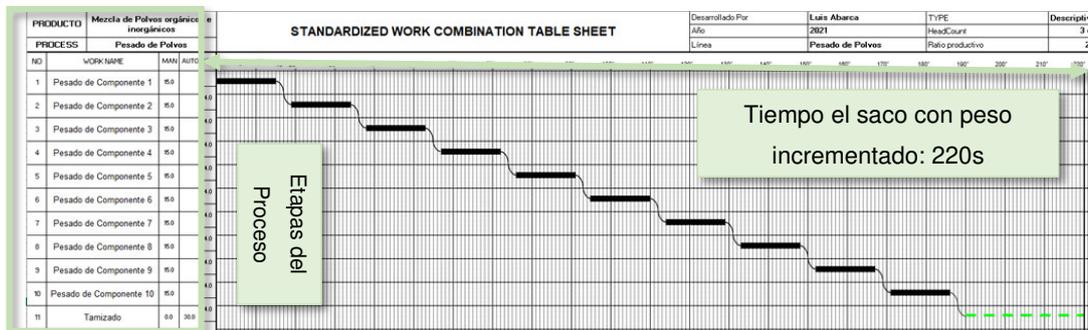
Figura 31 Representación gráfica de procesamiento de tres ciclos de trabajo.



Fuente: Adaptado de www.Lean-Tool.com

Luego de la transformación del proceso, la simulación del proceso transformado entrega una capacidad de proceso mayor (menor tiempo de ciclo) Ver figura 32:

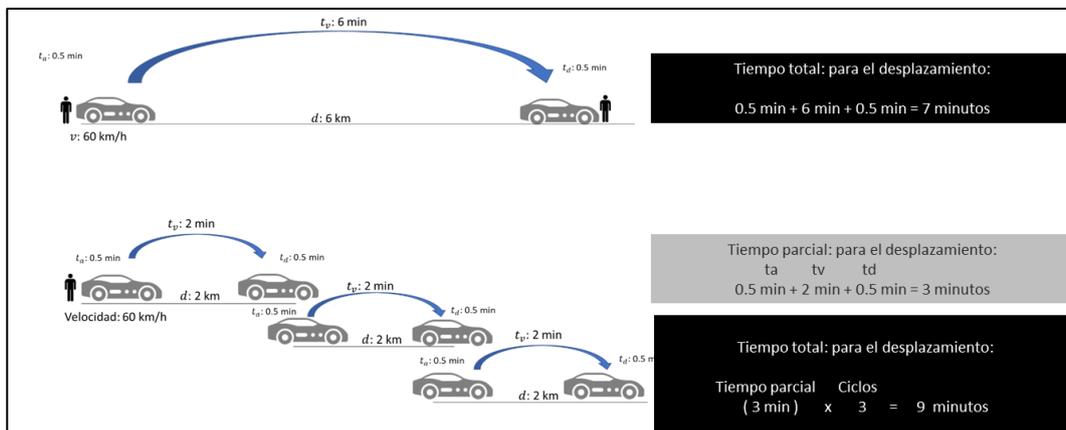
Figura 32 Procesamiento del triple de mezcla de polvos - Proceso propuesto



Fuente: Adaptado de www.Lean-Tool.com

Al pasar de ciclos de 100kg a ciclos de 300kg se ha hecho manifiesto el beneficio analizado en la sección de “Análisis de la Propuesta” con el ejemplo del automóvil (Figura 33).

Figura 33 Comparación de tiempos totales de viaje



Para el proceso de pesado de polvos, el pase de un modelo de ‘Aumento de la Sección Transversal’ a uno ‘Sin modificación de la Sección Transversal’ (teoría de los caudales) ha significado aprovechar el tiempo de desplazamiento de un contenedor de polvos al siguiente y los micro movimientos involucrados, triplicando la cantidad de polvo procesado.

Por tanto, queda demostrado cómo la migración de un sistema de aumento de sección transversal hacia uno sin modificación de la sección transversal impactó positivamente a la productividad del proceso de mezclado de polvos.

Este aumento en la capacidad de proceso luego de la modificación versus la capacidad de proceso esperada es la que puede aprovecharse en la práctica al prescindir de una persona para balancear los tiempos o en reducir la cantidad de tiempo programado para el proceso. En ambos casos mejora la productividad.

6.1.2. Reducción de Desperdicios

En el proceso actual y para una base de 10 toneladas de producto procesado, la cantidad promedio de sacos por día, se tiene que el material recorre 2000 metros cada día; mientras que el operador, al realizar recorridos de ida y vuelta, recorre 4000 metros cada día.

Para el proceso propuesto este recorrido se reduce a su tercera parte: 1180 m diarios para los materiales y 2360 m diarios para los operadores (ver tabla 9)

Tabla 9 Reducción de desplazamiento de materiales y operadores

Para 10 toneladas de Mezcla		10000
	Balance Actual	Después
Peso por Saco	100 kg/saco	300 kg/bigbag
Cantidad de Sacos	100 sacos	59 bigbags
Transporte de Materiales (metros)	20 m/saco 2000 m	20 m/bigbag 1180 m
		-41%
Desplazamiento de Operadores (metros)	4000 m	2360 m
		-41%

Esta eliminación de desperdicios significa 41% de reducción tanto en **‘transporte de materiales’** como en **‘desplazamiento de personas’**.

Asimismo, se tiene que en el proceso actual invierte 28 segundos por ciclo en la etapa de acondicionamiento de los sacos. Para el proceso propuesto ese tiempo aumenta a 30 segundos; sin embargo, con estos 30 segundos se realiza el trabajo de acondicionamiento del triple del peso en cada ciclo. (ver tabla 10)

Tabla 10 Reducción de Sobreprocesamiento

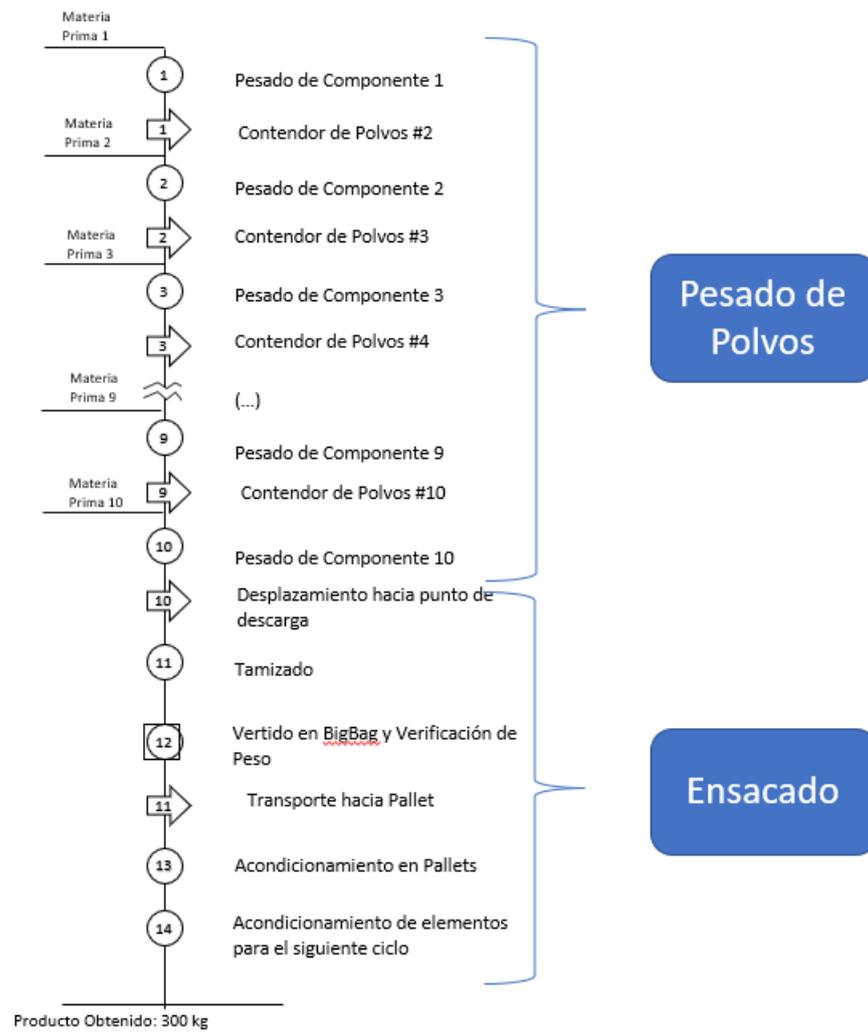
Para 10 toneladas de Mezcla		10000
	Balance Actual	Después
Cantidad de sacos por día	175 sacos	59 bigbags
Preparación de sacos	28 seg/saco	30 seg/bigbag
Total para base de cálculo	2800 seg	1770 seg
		-37%

Para la base de 10 ton, se tiene una reducción de 37% del tiempo invertido en acondicionamiento de sacos o bigbags. Esto significa 0.8 horas diarias invertidas en acondicionamiento de sacos. Con lo cual se ha reduce el desperdicio de **'Sobreprocesamiento'**.

El proceso propuesto debe ejecutarse como lo indica el Diagrama mostrado en la figura 34. La estructura del diagrama de operaciones de proceso para el proceso propuesto permanece igual al anterior. Las tecnologías utilizadas son las mismas a aquellas con las que operaba el proceso antes del estado propuesto. De esta forma se asegura que la mejoría de productividad no afecte el proceso de fondo para la homogenización de la mezcla y que la integración de componentes orgánicos e inorgánicos no genere reacciones no deseadas. De igual forma, las proporciones que componen las mezclas no serán modificadas.

El cambio en el proceso, sin embargo, sí afectará de forma beneficiosa a la productividad al triplicar el tamaño de la unidad procesada.

Figura 34 Diagrama de Operaciones de Proceso del proceso propuesto



La simpleza de la transformación es lo que hace que esta perspectiva de análisis obtenida a partir de la 'Teoría de los Caudales' genere beneficios prácticos para cualquier fábrica. El nuevo proceso descrito en la figura 34 no significa una transformación radical de la forma de hacer las cosas,

sino que aprovecha las tecnologías existentes para optimizar el sistema de flujo de materiales y no altera la naturaleza de la operación.

6.1.3. Beneficio financiero

La mejoría de productividad y beneficios financieros presentados hasta aquí se traducen en una reducción del gasto en mano de obra directa detallada en la sección de Comparación de Costo Beneficio.

Por la parte del beneficio financiero, la tabla 11 muestra el beneficio neto obtenido al término del segundo año. Luego de este periodo, el ahorro anual será de USD 6 200.00.

Tabla 11 Beneficio Neto Acumulado del proyecto (USD)

	Año 1	Año 2
Inversión	5500	
Beneficio	4644	6200
Beneficio neto acumulado	-856	5344

6.2. Contrastación de hipótesis

HG. Aplicar Lean Manufacturing mejorará la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una planta de consumibles industriales.

Resultado: La productividad del proceso productivo mejoró en 85% pasando de 882 kgPT/h-h a 1,636 kgPT/h-h. Esto se aprecia en la tabla 8 Mejora de Productividad producto de las mejoras al proceso. La aplicación de Lean Manufacturing permitió esta mejoría mediante el enfoque hacia la reducción de desperdicios.

HE1. La aplicación de Lean Manufacturing reducirá los desperdicios de desplazamiento, transporte y sobreprocesamiento.

Resultado: los desperdicios de desplazamiento y transporte se redujeron en 41%. El tiempo sobreprocesamiento se redujo en 37% lo cual generó la disminución de actividades hombre a razón de 0,8 horas hombre por día. Esto se aprecia en la tabla 9 Reducción de desplazamiento de materiales y operadores y en la tabla 10 Reducción de Sobreprocesamiento.

HE2. La máxima productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos se alcanza al procesar 300kg de material en cada ciclo de trabajo.

Resultado: El aumento del peso de material procesado en cada ciclo de trabajo se incrementó de 100 kg a 300 kg, ocasionando 85% de mejora en la productividad del proceso. La mejoría se aprecia comparando la figura 31: Representación gráfica de procesamiento de tres ciclos de trabajo. y la figura 32: Procesamiento del triple de mezcla de polvos - Proceso propuesto.

6.3. Discusión de resultados

6.3.1. Discusión de Objetivo General

El objetivo general de esta investigación fue incrementar la productividad en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos de la fábrica de consumibles industriales aplicando Lean Manufacturing. Para alcanzar este objetivo se planteó la hipótesis general de que la adopción de los principios de Lean Manufacturing permite mejorar la productividad. Al desarrollar la investigación, el análisis guiado por la filosofía de Lean Manufacturing para la reducción de desperdicios condujo a la mejoría de la productividad en 85% al pasar de 882 kg/h-h a 1,636 kg/h-h.

6.3.2. Discusión de Objetivos Específicos

El objetivo específico 1 busca reducir en concreto los desperdicios de desplazamiento, transporte y sobreprocesamiento en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos. Luego de las modificaciones al proceso, se apreció que los desplazamientos de personas y transporte de materiales se redujeron en 41% al pasar de un desplazamiento total de 4,000 metros diarios a solo 2,360 metros para la misma cantidad de

producto procesado. Además, el desperdicio de sobreprocesamiento se redujo en 37% liberando, de esta forma alrededor de 0.8 horas hombre cada día.

El objetivo específico 2 busca calcular el peso óptimo de la unidad procesada en cada ciclo de trabajo para conseguir la máxima productividad posible en el proceso. A lo largo de la investigación, la Teoría de los Caudales demuestra de forma cuantitativa y objetiva cómo el sistema de flujo de materiales se optimiza al triplicar el peso del saco de mezcla de polvos al pasar de 100 kg a 300 kg para cada ciclo de trabajo.

6.3.3. Discusión de resultados en comparación con antecedentes

Como se referenció en la sección de Antecedentes internacionales, la investigación de Bolaños et al. (2019) concluyó que el principal beneficio de aplicar Lean Manufacturing está en dirigir el enfoque de los esfuerzos hacia eliminar desperdicios de cualquier tipo. Además, este antecedente expresa que gran parte de quienes aplican Lean Manufacturing lo hacen para conseguir reducción de costo a través de eliminación de actividades. En la presente investigación se validan ambas conclusiones de estos autores: Lean Manufacturing condujo las iniciativas de mejora en el proceso de mezclado hacia eliminar los desperdicios. Esto entrega un ahorro de USD 6 200.00 anuales.

Ramírez (2017) consiguió mejorías para FlowServe Colombiana S.A.S. de 48 % de reducción en transporte y desplazamientos y 95% de reducción en sobreprocesamiento. Para el caso de los desperdicios de transporte y

desplazamiento, los resultados de la presente investigación fueron bastante similares con 41% de mejoría; sin embargo, se encuentra que Ramírez consiguió +58% de mejoría en el desperdicio de sobreprocesamiento en comparación con los resultados de la presente investigación. Esta diferencia ocurre debido a que algunas de las propuestas de mejoría para FlowServe Colombiana consistieron en modificar las especificaciones de espesores en sus materias primas. Al cambiar las entradas del proceso, la naturaleza del proceso cambió técnicamente reduciendo significativamente los desperdicios. Para el caso de la presente investigación, no se han realizado alteraciones en el fondo técnico del mezclado de los minerales y tampoco se alteraron los elementos de entrada, con lo cual, aunque la mejora no fue en la misma magnitud que la de Ramírez, ofrece un cambio significativo para la fábrica de consumibles industriales en Perú.

Da Silva (2017) consiguió evitar el costo de implementación de una nueva línea de ensamblaje en una fábrica de aires acondicionados al revisar las oportunidades flujo de materiales y algunas modificaciones en las líneas. La presente investigación consiguió también aumentar la capacidad disponible en el proceso de mezclado de polvos por aumento de la productividad sin adquisición de una línea de pesado adicional. Lean Manufacturing permitió optimizar el recurso disponible y evitar costos potencialmente elevados en caso de requerir un aumento de la capacidad instalada.

Vargas et al. (2017) consiguieron reducir el Lead Time y costos en los que la compañía analizada incurría antes de aplicar Lean Manufacturing. De la misma forma, la presente investigación generó ahorros para la empresa y redujo el tiempo unitario de procesamiento en el proceso analizado. Lean Manufacturing y su alta orientación al valor del producto permitió la mejoría.

Finalmente, en el artículo publicado en una revista de Ingeniería Industrial por Vargas et al. (2016) se encontró que típicamente existe un alto potencial de reducción de desperdicios de sobreprocesamiento, transportes, desplazamientos y esperas. En la presente investigación se consiguieron reducciones importantes en tres de los cuatro desperdicios típicos documentados en este artículo.

Al revisar los antecedentes nacionales, el primer caso de impacto beneficioso de Lean Manufacturing es el caso de Aranibar (2016). Este autor documentó la mejora generada al reducir los inventarios intermedios para conseguir flujo continuo de materiales en una importante empresa líder en el mercado internacional. Esto incrementó el nivel de productividad en 100% en la fábrica en la que se desarrolló dicha investigación. En el presente proyecto se obtiene que, al igual que el desarrollado por Aranibar, se consiguió mejorar la productividad en más de 80% aunque el proceso analizado ya era un proceso robusto que tenía décadas llevándose a cabo de una forma estable.

En el segundo caso referenciado entre los antecedentes, Chumbile (2021) acotó el alcance de su investigación al área de carpintería y aplicó

herramientas de análisis cuantitativo de Lean Manufacturing sobre esta sección del proceso productivo para obtener una visión objetiva sobre las oportunidades para el proceso. Chumbile documentó la mejoría de la productividad en 52.4%. La presente investigación demostró, al igual que en el caso del caso mencionado que las técnicas y principios de Lean Manufacturing son aplicables tanto a cadenas completas de producción, como a procesos independientes. El proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos redujo desperdicios de desplazamientos y transporte en 41% y eliminó el 37% del tiempo de sobreprocesamiento al interior del proceso.

Bermejo (2019) consiguió tres resultados remarcables: incremento de 20% de productividad, reducción del tiempo unitario de procesamiento y aumento de la capacidad disponible. La presente investigación generó los mismos impactos con diferencias en magnitudes debido a la naturaleza de los procesos. La presente investigación respalda los beneficios indicados por Bermejo de que Lean Manufacturing permite mejorar el aprovechamiento de los recursos instalados disponibles.

Cruz (2020) realizó una investigación aplicando Lean Manufacturing al sector servicios reorganizando las actividades a fin de reducir desperdicios principalmente de transportes y desplazamientos. El impacto identificado por Cruz fue de 15% de reducción en desplazamientos y 19% de reducción en transportes. La presente investigación consiguió resultados de mayor impacto porcentual en el proceso de pesado de polvos; no obstante; queda demostrado que el impacto de Lean

Manufacturing es aplicable tanto en el sector servicios como en el manufacturero.

El último antecedente nacional referenciado como antecedente es el de Salazar (2017). En este proyecto, se aprovechan los principios de Lean Manufacturing para reorganizar las etapas del proceso y de esta forma se consigue 25% de mejoría en la productividad. El presente proyecto de investigación, en lugar de reorganizar etapas del proceso, fue conducido por los principios de Lean Manufacturing a redimensionar el volumen de procesamiento por ciclo de trabajo en el proceso, obteniendo en este caso, 85% de mejora en la productividad.

Lean Manufacturing - sus principios, su filosofía y métodos, han influenciado de forma remarcable en la transformación de innumerables centros de operación alrededor del mundo y en nuestro país. Tal como queda documentado en la presente investigación, Lean Manufacturing es una herramienta potente para conducir el análisis de las oportunidades de mejora de forma objetiva y potenciar el desempeño de las industrias.

CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- La productividad del proceso de pesado de polvos mejora en 85% (ahorro de USD 6 200 anuales) al tomar los principios de Lean Manufacturing para la reducción de desperdicios.
- El rediseño del proceso consiste en elevar de 100 a 300kg el peso de la unidad procesada en cada ciclo del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos. De esta forma, se obtienen mejorías de 41% para el desperdicio de desplazamientos y transporte y de 37% en desperdicios de sobreprocesamiento.
- El peso óptimo de la unidad procesada en cada ciclo de trabajo es de 300kg. El análisis a través de la metodología de Teoría de los Caudales permite calcular la cantidad óptima de material a procesar en cada ciclo de trabajo.

7.2. Recomendaciones

- Al diseñar procesos industriales no solamente debe considerarse si existen interrupciones en el flujo de materiales (balance de proceso); se debe también maximizar la cantidad de material procesada en cada ciclo.
- El análisis realizado debe ser replicado a cada proceso industrial para identificar y aprovechar oportunidades de reducción de desperdicios y aumento de productividad.
- La iniciativa para la mejora de procesos puede nacer de la apreciación empírica; sin embargo, se deben utilizar análisis metódicos como el de la teoría de los caudales que permitan revisar la viabilidad y conveniencia en términos de costo beneficio con el fin de tomar decisiones acertadas.
- Continuar investigando el impacto del análisis con la teoría de los caudales sobre las fluctuaciones estadísticas que los procesos dependientes generan sobre la cadena productiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, F. (2014) *¿Son "lean" las empresas en el Perú?* ESAN Graduate School of Business. Recuperado de <https://www.esan.edu.pe/conexion-esan/son-lean-empresas-en-peru>
- Aranibar, M. (2016). *Aplicación del Lean Manufacturing, para la mejora de la productividad en una empresa manufacturera*. Tesis de título. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/5303/Aranibar_gm.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Archier y Seryex (1984) *Teoría de los cinco ceros*. Recuperado de https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/PPFM/PP/PP02/es_PPFM_PP02_Contenidos/website_11_objetivos_jit.html
- Bermejo, J. (2019). *Lean Manufacturing para la mejora del proceso de fabricación de calzado para damas*. Tesis de Título, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Perú. Recuperado de: http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/10588/Bermejo_dj.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Bolaños, S. et al. (2019). *Aplicación de Lean Manufacturing en la industria automotriz*. Proyecto de Investigación, Universidad Santiago de Cali. Recuperado de

<https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/3793/APLICACI%C3%93N%20DE%20LEAN%20MANUFACTURING%20.pdf?sequence=3&isAllowed=y>

Castillero, O (S F). *Las 9 diferencias entre compuestos orgánicos e inorgánicos.*

Recuperado de: <https://psicologiamente.com/miscelanea/diferencias-compuestos-organicos-inorganicos>

CIAL dun & Bradstreet (S F) *El Valor de los números en la toma de decisiones.*

Recuperado de <https://www.cialdnb.com/es/informacion-y-recursos/historia-de-la-empresa/el-valor-de-los-numeros-en-la-toma-de-decisiones/>

Chase R. et al. (2009). *Administración de operaciones.* México: Editorial Mac

Graw Hill. Recuperado de: <https://ucreanop.com/wp-content/uploads/2020/08/Administracion-de-Operaciones-Produccion-y-Cadena-de-Suministro-13edi-Chase.pdf>

Chumbile, L. (2021). *Propuesta de mejora mediante Lean Manufacturing para*

incrementar la productividad del área de carpintería de una empresa mobiliaria. Tesis de título. Universidad Nacional Mayor de San Marcos,

Lima, Perú. Recuperado de:

https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/16095/Chumbile_gl.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cristofani, F. (2020). *Capacidad de producción ¿Qué es y cómo se calcula?*

Recuperado de <https://www.atlasconsultora.com/calcular-capacidad-productiva/>

Cruz, J. (2020). *Propuesta de implementación de las herramientas Lean Manufacturing en el concesionario San Antonio*. Tesis de título. Facultad

de Ingeniería, Universidad de Piura, Lima, Perú. Recuperado de

https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/4831/ING_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cutcher-Gershenfeld, J., Nitta, M., Barrett, B., Belhedi, N., Sai-Chung Chow, S.,

Inaba, T., Ishino, I., Lin, W., Moore, M., Mothersell, W., Palthe, J.,

Ramanand, S., Strolle, M. & Wheaton A. (2000). *Trabajo impulsado por el conocimiento*. México DF. Oxford University Press.

Da Silva, B. (2017). *Aumento de produtividade e capacidade da linha de produção de condicionadores de ar: aplicação do conceito Lean*

Manufacturing para mudanças do layout e balanceamento. Tesis de

Maestría. Universidade Federal do Para, Belém PA, Brasil. Recuperado

de

<https://ppgep.propesp.ufpa.br/ARQUIVOS/dissertacoes/Dissertacao2017-PPGEP-MP-StarleyBrunodaSilva%20Barbosa.pdf>

Dennis & Pascal, (2002). *Lean production simplifield: A plain language guiade to the world´s most powerful production system*. New York. Productivity Press.

García Criollo, R. (1998). *Estudio del Trabajo, medición del trabajo*. 1ª ed. México: Editorial Mac Graw Hill. Recuperado de: https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf

Goldratt, E. and Cox, J. (2005). *La Meta. Un Proceso de Mejora Continua*. México: Ediciones North RiverPress. Recuperado de: http://imagourbis.unq.edu.ar/uq_jaga/img/pdf/La_Meta.pdf

Grady, P.J. (1992). *Just-in-Time: Una estrategia fundamental para los jefes de producción*. McGraw-Hill, Madrid.

Guerrero, J. (2017). *One Piece Flow (Flujo de una pieza)*. Recuperado de <https://www.leanroots.com/wordpress/2017/10/05/one-piece-flow-flujo-de-una-pieza/>

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019). *Perú: Estructura Empresarial 2019*. Recuperado de

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1817/libro.pdf

Melton, T. (2005). *The benefits of lean manufacturing. What Lean Thinking has to Offer the Process Industries*. Chemical Engineering Research and Design. Recuperado de: https://nzbef.org.nz/wp-content/uploads/2019/05/Articel-Trish-Melton-Lean-Manufacturing-July-2005.pdf?utm_source=rss&utm_medium=rss&utm_campaign=articel-trish-melton-lean-manufacturing-july-2005

National Institute for Occupational Safety and Health NIOSH. (1981). *Work practices guide for manual handling*. Cincinnati, Ohio. Technical report nº 81122. US Department of Health and Human Services. Recuperado de: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/81-122/pdf/81-122.pdf?id=10.26616/NIOSH PUB81122>

Ortegas-Rivas, E. (2005). *Handling and Processing of Food Powders and Particulars*. Onwulata C, CRS Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA. Recuperado de: <http://154.68.126.6/library/Food%20Science%20books/batch1/Food%20Powders.pdf>

Piller & Reichwald R. (2002). *Evolution of production understanding*. Recuperado de https://www.researchgate.net/figure/Evolution-of-production-understanding-Piller-and-Reichwald-2002_fig1_283296543

Ramírez, F. (2017). *Identificación y reducción de los niveles de desperdicio, desde la perspectiva de lean manufacturing en la empresa flowserve colombia s.a.s*. Tesis de Maestría. Universidad de la Sabana. Colombia. Recuperado de <https://intellectum.unisabana.edu.co/bitstream/handle/10818/33108/Tesis%20Fabio%20Ramirez.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Rajadell, M., & Sánchez, J. L. (2010). *Lean manufacturing: La evidencia de una necesidad*. México. Ediciones Díaz de Santos. Recuperado de: <https://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479789671.pdf>

Resolución Ministerial N° 375-2008-TR (2008). Recuperado de <https://www.gob.pe/institucion/mtpe/normas-legales/394457-375-2008-tr>

Rhodes, M. (1998). *Introduction to Particle Technology*. John Wiley & Sons, England. Recuperado de: <https://memberfiles.freewebs.com/94/74/72737494/documents/Particle%20technology%20by%20martin%20rhodes.pdf>

Rustom, A (2012) *Estadística Descriptiva, Probabilidad e Injerencia. Una visión conceptual y aplicada*. Universidad de Chile. Recuperado de: [https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom Antonio Estadistica descriptiva.pdf](https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120284/Rustom_Antonio_Estadistica_descriptiva.pdf)

Salazar M. (2017) *Mejora en la productividad durante la fabricación de cabina cerrada implementando Lean Manufacturing en una empresa privada metalmecánica*. Tesis de Título. Universidad San Ignacio de Loyola, Lima, Perú. Recuperado de <https://repositorio.usil.edu.pe/server/api/core/bitstreams/25430752-58c1-4055-ac8a-07bf73509ea6/content>

Santiesteban, M. (2011). *Marketing, relaciones públicas, gerencia y NTICs a las puertas del siglo XXI*. Recuperado de: <https://www.eumed.net/libros-gratis/2011c/978/978.pdf>

Shingo, S. (1989) *A Study of the Toyota Production System from an Industrial Engineering Viewpoint*. Portland, Oregon. Productivity Press. Recuperado de: <http://brharnetc.edu.in/br/wp-content/uploads/2018/11/3.pdf>

Universidad Nacional del Sur - Argentina, Departamento de Ingeniería Química. (2013) *Procesamiento de Sólidos – Capítulo 10 Mezclado y Segregación*. Recuperado de: www.criba.edu.ar/cinetica/solidos/Capitulo10.pdf

Van Der Laat H (1991). *Revolución industrial: una revolución técnica*. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6135743.pdf>

Vargas J. et al. (2016) *Lean Manufacturing ¿una herramienta de mejora de un sistema de producción?* Artículo en Revista de ingeniería industrial: actualidad y nuevas tendencias. Recuperado de: <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/Inge-Industrial/volv-n17/art10.pdf>

Vargas J. et al (2017). *Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta Lean Manufacturing*. Universidad Nacional de La Plata. Recuperado de <https://revistas.unlp.edu.ar/CADM/article/view/2883/4944#:~:text=La%20implementaci%C3%B3n%20de%20Lean%20Manufacturing%20tiene%20un%20impacto%20positivo%20en,de%20un%20sistema%20de%20producci%C3%B3n.&text=La%20disminuci%C3%B3n%20de%20desperdicio%20gestiona,una%20mejor%20satisfacci%C3%B3n%20del%20cliente.&text=La%20disminuci%C3%B3n%20de%20desperdicios%20afecta%20directamente%20la%20competitividad%20de%20las%20empresas>.

Wittig, S. (2017). *SMED – Single Minute Exchange of Die*. Presentación de PowerPoint.

Womack J. & Jones D. (2010). *Lean Thinking*. New York: Free Press, division de Simon & Shister, Inc.

Yaser Ali Husen (2014) *Standardized Work Combination Table (SWCT)*
Recuperado de www.lean-tool.com/download.php

ANEXOS

Anexo 1 Matriz de Consistencia

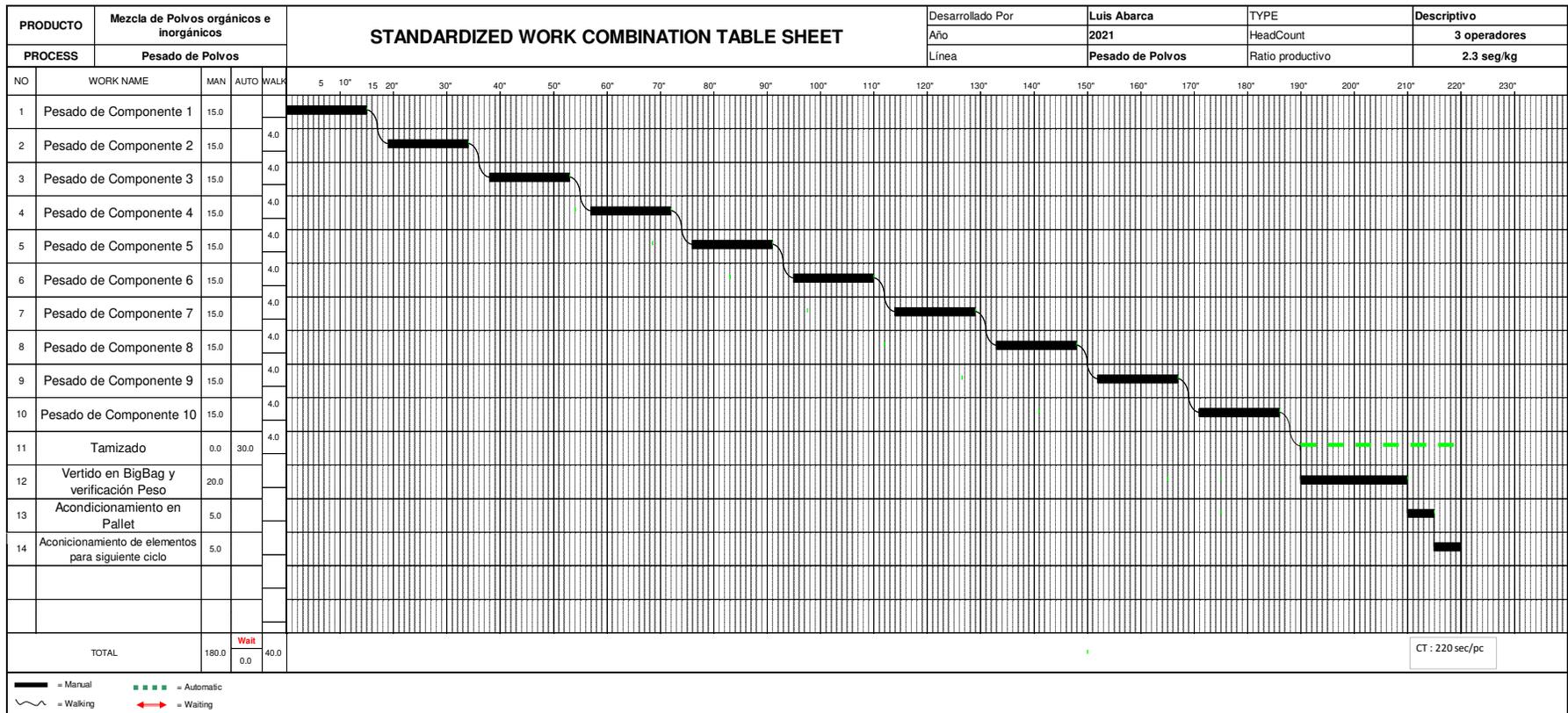
MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DEL PROCESO DE PESADO DE POLVOS ORGÁNICOS E INORGÁNICOS EN UNA FÁBRICA DE CONSUMIBLES INDUSTRIALES A TRAVÉS DE APLICACIÓN DE LEAN MANUFACTURING						
Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Unidades	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General				
PG. ¿De qué forma se puede incrementar la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en la planta de fabricación de consumibles industriales?	OG. Incrementar la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una planta de fabricación de consumibles industriales mediante la aplicación de Lean Manufacturing.	HG. Aplicar Lean Manufacturing mejorará la productividad del proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos en una planta de consumibles industriales.				
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	V1. Variable Independiente: Lean Manufacturing	Productividad	kilogramos / Horas-Hombre	Enfoque: Cuantitativo
PE1. ¿De qué manera se pueden reducir los desperdicios por desplazamientos, transporte y sobre procesamiento en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de Lean Manufacturing?	OE1. Reducir los desperdicios de desplazamiento, transporte y Sobreprocesamiento en el proceso de pesado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de Lean Manufacturing.	HE1. La aplicación de Lean Manufacturing reducirá los desperdicios de desplazamiento, transporte y sobreprocesamiento.	V2. Variable Dependiente: Productividad	Tiempo de Ciclo Capacidad de Proceso	Minutos/Ciclo Piezas Procesadas / Hora	Tipo de Investigación: Aplicada Diseño: No experimental y transversal Población: Producción del área de mezclado de polvos inorgánicos desde Enero del 2020 hasta Diciembre del 2020 inclusive.
PE2. ¿Cuál debe ser el peso de la unidad procesada en un ciclo de trabajo para optimizar la productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos mediante la aplicación de la teoría de los caudales?	OE2. Calcular el peso óptimo de la unidad procesada en cada ciclo de trabajo en el proceso para obtener la máxima productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos.	HE2. La máxima productividad del proceso de mezclado de polvos orgánicos e inorgánicos se alcanza al procesar 300kg de material en cada ciclo de trabajo.				Muestra: 12 Sacos

Anexo 2 Matriz de Operacionalización de Variables

Variable Independiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Lean Manufacturing	<p>Lean Manufacturing es una filosofía de mejora continua que consiste en la reducción de desperdicios de la cadena de valor.</p> <p>Womack y Jones (2010) definen desperdicio como: Aquella actividad humana que absorbe recursos, pero no crea valor: Fallos que precisan rectificación, producción de artículos que nadie desea y el consiguiente amontonamiento de existencias y productos sobrantes, pasos en el proceso que realmente no son necesarios, movimientos de empleados y transporte de productos de un lugar a otro sin ningún propósito, grupos de personas en una actividad aguas abajo, en espera porque una actividad aguas arriba no se ha entregado a tiempo, y bienes y servicios que no satisfacen las necesidades del cliente</p>	Se utilizarán técnicas de Lean Manufacturing para transformar el proceso de forma hacia la reducción de los desperdicios de desplazamientos, transporte y sobreprocesamiento.	Herramientas de Lean Manufacturing	Cantidad de material procesada en cada ciclo de trabajo en el proceso.

Variable Dependiente	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores
Productividad	De acuerdo con Chase, Jacobs y Aquilano (2009), la productividad es la medida que suele emplearse para conocer qué tan bien se usan los recursos en un país, industria o unidad de negocios. La productividad se obtiene al calcular la razón entre las salidas y la entradas, con lo cual, para incrementarla se debe buscar la mayor cantidad de salidas con la menor cantidad posible de entradas.	La productividad refleja si el impacto de modificación del proceso productivo reduce o no y en qué medida el recurso de 'horas hombre' .	Producto Terminado Equivalente por hora hombre invertida	Productividad (kg PT/h-h): Expresa cuántos kilogramos de producto terminado equivalente entrega el proceso por cada hora hombre invertida.
			Tiempo de Ciclo del Proceso de Mezclado de polvos	Tiempo de Ciclo (seg/pc): Expresa cuántos segundos tarda obtener una pieza de producto procesado.
			Capacidad del proceso de mezclado de polvos	Capacidad de Proceso (pc/hora): Expresa cuántas pieza se obtiene en una hora en el proceso.
			Medida de control de desperdicios	Cantidad de Metros de desplazamiento de los materiales
Cantidad de tiempo invertida en procesar el producto obtenido				

Anexo 4 Hoja de Combinación de Trabajo Estándar - Después de modificaciones



Fuente: Adaptado de www.Lean-Tool.com.

Anexo 5 Diagrama de Operaciones del Proceso, Pesado de Polvos – Proceso Actual



Anexo 6 Diagrama de Operaciones del Proceso, Pesado de Polvos - Proceso Propuesto

