



INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR DE HUATUSCO

TESIS

**IMPLEMENTACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DOE)
PARA OPTIMIZAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL AREA DE
PRODUCCIÓN, MEDIANTE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN
EN LA EMPRESA ANGUIPLAST S.A DE C.V.**

PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERIA INDUSTRIAL

PRESENTA:

JOSÉ ÁNGEL GARCÍA PERALTA

DIRECTOR DE TRABAJO RECEPCIONAL:

M.I. MARIA BARBARA DEL VALLE JUAREZ

HUATUSCO, VER.

DICIEMBRE DEL 2024

Hoja falsa

Agradecimientos y dedicatorias

José Ángel García Peralta

Dedico esto a Dios por brindarme la oportunidad de vivir, Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, por estar en cada momento difícil y además por su infinita bondad y amor.

A mis padres que me han impulsado a seguir mis sueños, llevándome de la mano con sus consejos y ejemplos siempre presentes, por apoyarme en cada paso que he dado, por su confianza y amor incondicional.

A mis hermanos que me han brindado siempre su apoyo y amor, que me han enseñado a no tener miedo y a tomar los retos como una lección de vida, que siempre me han impulsado a ser mejor y a alcanzar todo lo que me proponga.

A mi asesora, M.I María Bárbara del Valle Juárez, por su apoyo, amistad, por su tiempo y dedicación y por la orientación y ayuda que me brindó para la realización de esta tesis. Por compartir sus conocimientos y experiencias para que se pudiera llegar a lograr mis objetivos y crecer profesionalmente.

Índice

Agradecimientos y dedicatorias.....	2
Resumen	9
Abstract	10
INTRODUCCIÓN	11
Estado del arte (Antecedentes)	12
Marco teórico.....	15
Anguiplast	15
Diseño de experimentos (DoE)	15
Historia del diseño de experimentos	16
Definiciones en el diseño de experimentos	18
Etapas del diseño de experimento	21
Uso de técnicas estadísticas en la experimentación.....	23
Beneficios de implementar Diseño de Experimentos DOE	25
Estandarización.....	25
¿Para qué se implementa el trabajo estándar?	28
¿Cuándo se utiliza el trabajo estándar?	29
Procedimiento para implementar el trabajo estándar	29
Hoja de medición de tiempos.....	29
Capacidad de operación	30
Tabla combinada de operaciones estandarizadas	31
Hoja de trabajo estándar	32
Diagrama de flujo	33
Definición	33
Objetivo	33
Ventajas	33
Diagrama de Pareto	34
¿Qué es el diagrama de Pareto?	34
¿Cómo se aplica?	35
Importancia de Pareto.....	36

Justificación y planteamiento del problema.....	37
Planteamiento del problema.....	38
Hipótesis.....	41
Objetivos	42
Objetivo general	42
Objetivos específicos	42
Metodología.....	42
Proceso de peletizado.....	42
Diagrama de flujo de proceso del peletizado	43
Trabajo estándar	44
Estudio de tiempos.....	44
Identificación de parámetros antes utilizados.....	52
Aplicación de la metodología (DoE)	53
Plan de capacitación	79
Resultados y discusión.....	81
Conclusiones y recomendaciones.....	83
Referencias bibliográficas	86
ANEXOS	87
ANEXO 1. Hoja de recolección de datos para máquinas de alimentación manual.	87
Anexo 2. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación de banda.	88
Anexo 3. Hoja de estudio de tiempos.....	89
Anexo 4. Hoja de preparación herramental.....	90

Índice de tablas

Tabla 1. Puntos de diseño o tratamientos. (Humberto, 2008)	20
Tabla 2. Ejemplo de datos de los diferentes productos de una empresa. (Gallach, 2020)	36
Tabla 3. Matriz de ponderación de criticidad. Elaboración propia.	39
Tabla 4. Matriz de criticidad. Elaboración propia.	40
Tabla 5. Cuadro de Pareto. Elaboración propia	40
Tabla 6. Actividades del operador de sistema de alimentación de banda. Elaboración propia.	45
Tabla 7. Hoja de estudio de tiempos de las actividades de sistema de alimentación de banda. Elaboración propia.....	45
Tabla 8. Actividades del operador de sistema de alimentación manual. Elaboración propia.	46
Tabla 9. Hoja de estudio de tiempos de las actividades de sistema de alimentación manual. Elaboración propia.....	46
Tabla 10. Hoja de preparación de herramental. Máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.	47
Tabla 11. Hoja de preparación de herramental. Máquina de alimentación manual. Elaboración propia.	47
Tabla 12. Hoja de trabajo estándar de la máquina de alimentación manual. Elaboración propia.	48
Tabla 13. Hoja de trabajo estándar de la máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.	49
Tabla 14. Parámetros antes utilizados. Maquina 3. Elaboración propia.	52
Tabla 15. Parámetros antes utilizados. Maquina 2. Elaboración propia.	52
Tabla 16. Parámetros antes utilizados. Maquina 4. Elaboración propia.	52
Tabla 17. Parámetros antes utilizados. Maquina 6. Elaboración propia.	52
Tabla 18. Parámetros antes utilizados. Maquina 9. Elaboración propia.	53
Tabla 19. Parámetros antes utilizados. Maquina 7. Elaboración propia.	53
Tabla 20. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 2. .	57
Tabla 21. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 3. .	57

Tabla 22. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 4. .	57
Tabla 23. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.	57
Tabla 24. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.	57
Tabla 25. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.	57
Tabla 26. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación manual.	59
Tabla 27. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación de banda.	59
Tabla 28. Plan de acción para el diseño de experimentos. Elaboración propia. ...	60
Tabla 29. Cronograma de actividades. Elaboración propia.	61
Tabla 30. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.	64
Tabla 31. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.	64
Tabla 32. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 4..	65
Tabla 33. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.....	65
Tabla 34. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.....	66
Tabla 35. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.....	66
Tabla 36. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.	77
Tabla 37. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.	77
Tabla 38. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 4.	77
Tabla 39. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.	77
Tabla 40. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.	78
Tabla 41. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.	78

Índice de figuras

Figura 1. Variables de un proceso y preguntas a responder al diseñar un experimento (Humberto, 2008).....	19
Figura 2. Hoja de medición de tiempo.....	30
Figura 3. Hoja de capacidad.....	30
Figura 4. Tabla combinada de operaciones estandarizadas.	31
Figura 5. Tabla de trabajo estándar.	32
Figura 6. Representación de Diagrama de Pareto. (Leal Solano, 1987)	35
Figura 7. Diagrama de Pareto del ejemplo propuesto. (Gallach, 2020).....	36
Figura 8. Diagrama de Pareto. Elaboración propia.	41
Figura 9. Diagrama de flujo de proceso seccionado del peletizado. Elaboración propia.	43
Figura 10. Layout de la zona de trabajo de la máquina de alimentación manual. Elaboración propia.	50
Figura 11. Layout de la zona de trabajo de la máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.	51
Figura 12. Esquema de estudio. Elaboración propia.....	55
Figura 13. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 2.....	67
Figura 14. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 3.....	68
Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 4.....	68
Figura 16. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 6.....	68
Figura 17. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 7.....	69
Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 9.....	69
Figura 19. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.....	70
Figura 20. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.....	70
Figura 21. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 4.....	71
Figura 22. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.....	71

Figura 23. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.....	71
Figura 24. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.....	72
Figura 25. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual. Máquina 2. .	72
Figura 26. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual. Máquina 3. .	73
Figura 27. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual. Máquina 4. .	73
Figura 28. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.	74
Figura 29. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.	74
Figura 30. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.	75
Figura 31. Plan de capacitación para los trabajadores. Elaboración propia.	80

Resumen

La presente tesis, titulada "Implementación del Diseño de Experimentos (DOE) para Optimizar la Productividad en el Área de Producción, mediante un Sistema de Automatización en la Empresa Anguiplast S.A. de C.V.", tiene como objetivo determinar los valores óptimos de los factores controlables en el proceso de peletizado. Esto se logró mediante la aplicación del Diseño de Experimentos (DOE) en combinación con un sistema automatizado, con el fin de incrementar la productividad en el área de producción.

La metodología empleada consistió en un diseño factorial 2^k completo. En donde estos incluyen todas las combinaciones posibles entre los niveles de cada factor, debido a su debida eficiencia y versatilidad. Los experimentos permitieron identificar las combinaciones óptimas de parámetros operativos para la maquinaria, mejorando su desempeño y eficiencia.

Los resultados obtenidos determinaron los valores óptimos para las variables del proceso, lo que permitió aumentar significativamente la productividad. Como conclusión principal, se verificó que la implementación del DOE cumplió con los objetivos planteados, demostrando su eficacia como herramienta estadística y práctica para la optimización de procesos en entornos industriales.

Este estudio destaca el impacto positivo del uso de la metodología del diseño de experimentos (DOE) y automatización en la industria, contribuyendo al incremento de la eficiencia operativa y la competitividad de la empresa. Teniendo como importancia que, el Diseño de Experimentos (DoE) es una herramienta estadística fundamental en diversas áreas de investigación e industria, ya que permite planificar, realizar y analizar experimentos de manera eficiente, mejorar procesos, resolver problemas complejos y generar conocimiento en diversos campos.

Abstract

This thesis, titled "Implementation of Design of Experiments (DOE) to Optimize Productivity in the Production Area through an Automation System at Anguiplast S.A. de C.V.", aims to determine the optimal values of the controllable factors in the pelletizing process. This was achieved through the application of Design of Experiments (DOE) combined with an automated system to increase productivity in the production area.

The methodology employed consisted of a full 2^k factorial design, which includes all possible combinations of factor levels due to its efficiency and versatility. The experiments allowed for the identification of the optimal combinations of operational parameters for the machinery, enhancing its performance and efficiency.

The results obtained determined the optimal values for the process variables, leading to a significant increase in productivity. As the main conclusion, it was verified that the implementation of DOE met the proposed objectives, demonstrating its effectiveness as a statistical and practical tool for process optimization in industrial settings.

This study highlights the positive impact of using the Design of Experiments (DOE) methodology and automation in the industry, contributing to increased operational efficiency and the company's competitiveness. The importance of DOE lies in its role as a fundamental statistical tool in various research and industrial areas, enabling the efficient planning, execution, and analysis of experiments, improving processes, solving complex problems, and generating knowledge across diverse fields.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de tesis es referente a unas de las herramientas de Lean, que nos ayuda a tener solución de problemas en base a la productividad.

Es importante señalar que, el diseño de experimentos (DoE) se ha convertido en un método de referencia para acelerar la optimización de las reacciones, ya que permite la evaluación de un gran número de parámetros de la reacción en un reducido número de experimentos. Existen autores que contienen información respectiva a estas metodologías. Este trabajo fue desarrollado en la empresa Anguiplast S.A de C.V. planta 1, en el área de producción.

De acuerdo a esto, es importante que, “En el campo de la industria es frecuente hacer experimentos o pruebas con la intención de resolver un problema o comprobar una idea (conjetura, hipótesis); por ejemplo, hacer algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso, probar varias temperaturas en una máquina hasta encontrar la que da el mejor resultado o crear un nuevo material con la intención de lograr mejoras o eliminar algún problema.” (Humberto, 2008)

Para tener un rendimiento de productividad, varias empresas se han dado a la tarea de llevar a la aplicación este tipo de herramientas o metodologías, ya que es necesario llevar o mantener un sistema de mejora continua dentro de sus procesos, para poder obtener mejores beneficios dentro de ellos. Es por eso que para competir dentro del mercado actual de la industria deben de formarse a ser más eficientes.

La empresa en donde se realizó el estudio, en una empresa que se encuentra comprometida en el gran crecimiento dentro del mundo de la industria, dejando en claro la calidad de sus productos y la mejora continua dentro de su proceso de peletizado. De este modo dicha empresa enfoca sus esfuerzos en cumplir las metas de producción para así no tener problemas con su cliente.

Esta investigación se realizó durante un periodo de 6 meses, desde que se desarrolló un análisis de problemas que tuvieron que ver con la baja productividad

en el proceso de peletizado. El cual se hizo la propuesta de implementación del diseño de experimentos.

Estado del arte (Antecedentes)

En el artículo de Aplicación del diseño de experimentos (DoE) para la mejora de los procesos, se realizó un estudio en una empresa de sector de la automoción, donde trabajan con 4000 empleados para realizar un único modelo de auto. Donde el objetivo principal es el analizar la soldadura laser para poder ser aplicada y unir los laterales del auto y el techo y así no tener problemas con la calidad del proceso, por lo que era recurrente la aparición de poros. Es por ellos, que se acudió a la experimentación del Diseño de Experimento (DoE). (M. Tanco, 2008).

El informe describe la descripción del proceso: el proceso que está bajo estudio es el encargado de realizar la soldadura de cada uno de los costados del auto con la zona superior (techo). Las cuales, las tres partes del coche son incrustadas en una cabina cerrada y estas son soldadas con la ayuda de un robot a través de un láser. Este proceso lo realizan dos robots completamente independientes. El proceso presentaba problemas de calidad, ya que tenía presencia de poros en la soldadura, pero que eran muy frecuentes. El proceso presentaba el problema por tres motivos;

- ❖ Estructural: Afecta a la resistencia de la unión.
- ❖ Estética: Los poros afectan a la principal razón para elegir dicha soldadura que es el buen acabado de la misma. Además, como posteriormente se pintan los coches, pueden aparecer burbujas.
- ❖ Impermeabilidad: Generalmente el poro es muy pequeño y no llega a que penetre el agua. Pero, su presencia puede favorecer la corrosión.

El estudio establece los siguientes resultados: “se realizó un análisis confirmatorio para verificar que los resultados se mantenían en el tiempo. Luego de un análisis de dos meses de producción, los porcentajes de poros en el lado derecho fueron de 0,14%, mientras que en el lado izquierdo fue de 0,03%. Esto significa una reducción promedio de los poros de un 97 %. La experiencia fue

positiva y muy constructiva. Utilizando un diseño sencillo, se obtuvo una reducción importante del problema. Además, la experiencia fue muy buena en cuanto a aprendizaje de la herramienta, especialmente para los que trabajan en la industria. En definitiva, este proyecto mostró la utilidad del Diseño de Experimentos para la mejora de procesos y servirá de ejemplo para nuevos proyectos de aplicación del DoE en esta empresa.”

En el informe de (Octavio, 2007) “Aplicación del diseño de experimento al proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza FCP 52” W 70.” Lo cual tiene por objetivo en poder buscar los valores óptimos del proceso de producción de la pieza front control panel 52” W 70, conforme al diseño de experimentos, esto con la finalidad en poder reducir el número de piezas que no cumplen con la calidad deseada.

La pieza que está bajo estudio, forma parte de un televisor, por lo que es una pieza estética y debe de tener una buena apariencia al formar parte de este producto. El problema que recurre con mayor frecuencia es el hundimiento de dicha pieza analizada. Dicho problema que se tiene, es resolverlo durante el proceso de fabricación, donde de forma frecuente realizan cambios en los valores de los parámetros de dicho proceso.

Respecto a las causas que se encontraron en el informe, es la presión y tiempo del nitrógeno, velocidad de inyección, temperatura de barril, enfriamiento del molde, diseño del molde, etc. Las cuales estas causas afectaban al producto y hacia que saliera de mala calidad.

Después del análisis de los resultados obtenidos en esta investigación, se concluye que el diseño de experimentos es una herramienta adecuada para encontrar los valores óptimos de operación al proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza FCP 52” w 70. Por lo cual, el objetivo y la hipótesis planteados en las generalidades se cumplen. De acuerdo a los reportes de producción de los meses de enero y febrero del 2006 el número de piezas FCP 52” w 70 defectuosas disminuyeron en comparación con los meses de octubre, noviembre y diciembre del 2005 además de reducir el ciclo de pieza a pieza.

En la aplicación de (Bautista Tafur, 2015) “Diseño de Experimentos (DoE) en el proceso de clarificación para la reducción de mermas en la Empresa Agroindustrial Tumán S.A.A”. En donde su objetivo general es tener la aplicación del diseño de experimentos (DoE) para la reducción de mermas en el proceso de estudio que es la clarificación de la empresa Tumán S.A.A.

Dicha investigación describe el problema del cual tienen un porcentaje alto de merma y este estudio se quiere llevar a la aplicación para poder reducirla en el proceso de clarificación en dicha empresa. Donde se hace la descripción para poder determinar las causas que pueden originar la variación excesiva de los parámetros y el exceso de mermas en el área de clarificación de jugo de caña. Como de igual manera en poder reducir tiempos de clarificación así como también en mejorar la calidad del producto y tener un logro en los estándares de calidad requeridas en el proceso.

De acuerdo al estudio, se concluyó lo siguiente: “Para estandarizar el proceso de clarificación y controlar el porcentaje de sacarosa invertida hemos obtenido parámetros que nos ayudan a tener el proceso bajo control, dichos parámetros están ligados al establecimiento de límites de control, para una mejor visualización de lo que sucede en el proceso.” (Bautista Tafur, 2015).

En el informe de (Garza Villegas, 2013) “Aplicación de diseño de experimentos para el análisis de secado de un producto.” Lo cual tiene como objetivo en determinar en los niveles de los factores que minimiza el tiempo de espera para el secado total del producto. Se realizó un experimento factorial completo de 3 factores con 2 niveles cada uno, los factores que se utilizaron fueron tipo de pintura-esmalte a utilizar (estándar o de secado rápido), el método de secado (con o sin agua fría) y la cantidad de capas que se aplican (1 o 2 capas). Se realizaron 3 réplicas para quitar ambigüedades en las respuestas. En síntesis el trabajo presenta la mejor combinación de los niveles de los factores para el pintado del producto, dicha combinación es maleable con respecto a si existe algún nivel inmodificable en el proceso del pintado.

Marco teórico

Anguiplast

ANGUIPLAST S.A DE S.V es una empresa 100% mexicana localizada en Libramiento Norte KM2, 47180 Arandas. Jalisco. México. Dedicada por más de 30 años a crear productos de alta calidad con material 100% reciclado enfocándose en las bolsas de polietileno de alta y baja densidad, haciendo los productos muchos mayores resistentes para reutilizar la mayor cantidad de veces.

Para la fabricación de sus bolsas cuentan con maquinaria totalmente nueva y con la más alta tecnología a nivel global; mismo que trabajan día y noche con materiales que cumplen con estándares de calidad. (Anguiplast)

Diseño de experimentos (DoE)

En la industria, es común realizar experimentos o pruebas con el fin de resolver un problema o probar una idea (conjetura, hipótesis); por ejemplo, realizar algunos cambios en los materiales, métodos o condiciones de operación de un proceso, probar varias temperaturas en un máquina hasta encontrar la temperatura que proporcione mejores resultados, o crear un nuevo material para lograr mejoras o eliminar problemas.

Por lo que, es común que estas pruebas o experimentos se realicen sobre la marcha, con base al prueba y error, apelando a la experiencia, en lugar de seguir un plan experimental adecuado que garantice una buena respuesta a las interrogantes planteadas. Algo muy similar pasa con el previo análisis del diseño de experimentos, por lo que además de hacer una análisis riguroso de toda la información y tomar en cuenta la variación, se realiza un análisis informal, intuitivo. Es tal el poder de la experimentación que, en ocasiones, se logran mejoras a pesar de que el experimento se hizo con base en el ensayo y error. Sin embargo, en situaciones de cierta complejidad no es suficiente aplicar este tipo de experimentación, por lo que es mejor proceder siempre en una forma eficaz que

garantice la obtención de las respuestas a las interrogantes planteadas en un lapso corto de tiempo y utilizando pocos recursos.

Como dice el autor. (Humberto, 2008) El diseño estadístico de experimentos es precisamente la forma más eficaz de hacer pruebas. El diseño de experimentos consiste en determinar cuáles pruebas se deben realizar y de qué manera, para obtener datos que, al ser analizados estadísticamente, proporcionen evidencias objetivas que permitan responder las interrogantes planteadas, y de esa manera clarificar los aspectos inciertos de un proceso, resolver un problema o lograr mejoras.

A continuación, se presenta unos problemas de los cuales se pueden resolver con el diseño y el análisis de experimentos son los siguientes:

1. Comparar a dos o más materiales con el fin de elegir al que mejor cumple los requerimientos.
2. Comparar varios instrumentos de medición para verificar si trabajan con la misma precisión y exactitud.
3. Determinar los factores (las x vitales) de un proceso que tienen impacto sobre una o más características del producto final.
4. Encontrar las condiciones de operación (temperatura, velocidad, humedad, por ejemplo) donde se reduzcan los defectos o se logre un mejor desempeño del proceso.
5. Reducir el tiempo de ciclo del proceso.
6. Hacer el proceso insensible o robusto a oscilaciones de variables ambientales.
7. Apoyar el diseño o rediseño de nuevos productos o procesos.
8. Ayudar a conocer y caracterizar nuevos materiales.

Historia del diseño de experimentos

El diseño de experimentos, desde su introducción por Fisher en la mitad del siglo xx en Inglaterra, se ha utilizado para poder conseguir un aprendizaje acelerado. Fisher a través de su libro *The Design of Experiments* (Fisher, 1935), influyó de manera decisiva en lo que fue la investigación agrícola, por lo que aportó métodos, para poder evaluar los resultados de experimentos con pequeñas muestras. La clave de la contribución de Fisher fue que el investigador se dio cuenta de que los problemas de fallas en la forma de ejecutar un experimento, este obstaculizaba el análisis de los resultados. Fisher también aportó algunos métodos para diseñar los experimentos destinados a investigar la influencia simultánea de diversos factores.

Los desarrollos posteriores en el diseño experimental estuvieron a cargo de George E. P. Box, quien trabajó durante ocho años como estadístico en la industria química en el país de Inglaterra y desarrolló el método de la superficie de respuesta (Wilson, 1951). Estos incluyen nuevas familias de diseño y estrategias de experimentación secuencial.

Entre los años de 1950 y 1980, el diseño de experimentos se pudo convertir en una gran herramienta de aplicación frecuente, pero solo para las áreas que son de investigación y de desarrollo. Llegando a la década de 1970, la aplicación no estaba generalizada en procesos de manufactura, esto fue debido a la gran falta de recurso computacionales y a que ingenieros y especialistas carecían de información en el área de estadística.

En la década de 1980, debido al éxito de la calidad industrial japonesa, el conocimiento y la aplicación del diseño experimental recibieron un gran impulso. Encabezado por Deming e Ishikawa, el movimiento por la calidad, promovió el uso de la estadística de calidad, en donde la herramienta del diseño de experimentos demostró en poder resolver problemas a fondo, esto para diseñar mejor los productos y procesos. El trabajo de Genichi Taguchi destaca en Japón, en la academia del mundo occidental tuvieron un gran impacto significativo los conceptos sobre el diseño robusto. Teniendo como respuesta el movimiento por la que destaca la calidad y la mejora de los procesos, las industrias empezaron a preparar a sus ingenieros sobre la aplicación del diseño de experimentos. Hoy en día, esto se lleva

a cabo, donde en los últimos años, la educación de las universidades han agregado el diseño de experimentos como una materia obligatoria u operativa en la totalidad de las ingenieras.

Definiciones en el diseño de experimentos

El diseño de experimentos es la aplicación del método científico para generar conocimiento acerca de un sistema o proceso, por medio de pruebas planeadas adecuadamente. Esta metodología se ha ido consolidando como un conjunto de técnicas estadísticas y de ingeniería, que permiten entender mejor situaciones complejas de relación causa-efecto. (Humberto, 2008)

El diseño de experimentos es una “técnica estadística” que nos ayuda a identificar qué factores o variables afectan el comportamiento de un proceso productivo y de esta manera poder mejorarlo. (Porfirio, Lizbeth, & Jesus, 2009)

Según (Montgomery, 2017), el Diseño de Experimentos permite identificar relaciones causa-efecto, optimizar procesos y mejorar la calidad de productos o servicios. Además, promueve la eficiencia al minimizar el número de experimentos necesarios para extraer información relevante.

Experimento

Un experimento es un cambio en las condiciones de operación de un sistema o proceso, que se hace con el objetivo de medir el efecto del cambio sobre una o varias propiedades del producto o resultado. Asimismo, el experimento permite aumentar el conocimiento acerca del sistema (Humberto, 2008).

Unidad experimental

La unidad experimental es la pieza(s) o muestra(s) que se utiliza para generar un valor que sea representativo del resultado del experimento o prueba. En cada diseño de experimentos es importante definir de manera cuidadosa la unidad experimental, ya que ésta puede ser una pieza o muestra de una sustancia o un conjunto de piezas producidas, dependiendo del proceso que se estudia (Humberto, 2008).

Variables, factores y niveles

En todo proceso intervienen distintos tipos de variables o factores como los que se muestran en la figura (véase figura 1), donde también se aprecian algunas interrogantes al planear un experimento.

Variable(s) de respuesta. A través de esta(s) variable(s) se conoce el efecto o los resultados de cada prueba experimental (véase figura 1), por lo que pueden ser características de la calidad de un producto y/o variables que miden el desempeño de un proceso. El objetivo de muchos estudios experimentales es encontrar la forma de mejorar la(s) variable(s) de respuesta. Por lo general, estas variables se denotan con la letra *y*.

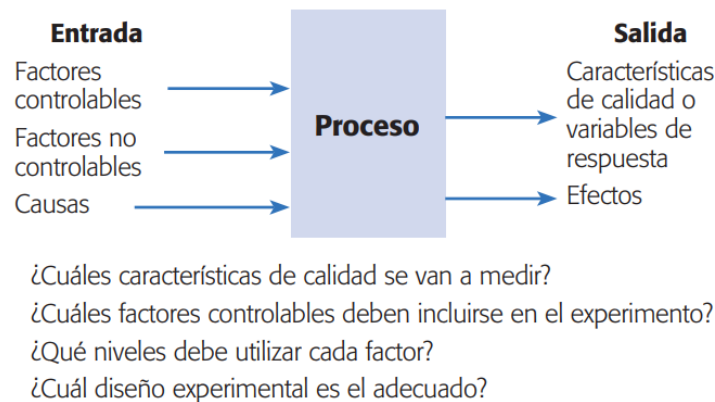


Figura 1. Variables de un proceso y preguntas a responder al diseñar un experimento (Humberto, 2008).

Factores controlables. Son variables de proceso o características de los materiales experimentales que se pueden fijar en un nivel dado. Algunos de éstos son los que usualmente se controlan durante la operación normal del proceso (véase figura 1), y se distinguen porque, para cada uno de ellos, existe la manera o el mecanismo para cambiar o manipular su nivel de operación. Algunos factores o características que generalmente se controlan son: temperatura, tiempo de residencia, cantidad de cierto reactivo, tipo de reactivo, método de operación, velocidad, presión, etc. A los factores controlables también se les llama variables de entrada, condiciones de proceso, variables de diseño, parámetros del proceso, las *x* de un proceso o simplemente factores.

Factores no controlables o de ruido. Son variables o características de materiales y métodos que no se pueden controlar durante el experimento o la operación normal del proceso. Por ejemplo, algunos factores que suelen ser no controlables son las variables ambientales (luz, humedad, temperatura, partículas, ruido, etc.), el ánimo de los operadores, la calidad del material que se recibe del proveedor (interno o externo). Un factor que ahora es no controlable puede convertirse en controlable cuando se cuenta con el mecanismo o la tecnología para ello.

Factores estudiados. Son las variables que se investigan en el experimento, respecto de cómo influyen o afectan a la(s) variable(s) de respuesta. Los factores estudiados pueden ser controlables o no controlables, a estos últimos quizá fue posible y de interés controlarlos durante el experimento. Para que un factor pueda ser estudiado es necesario que durante el experimento se haya probado en, al menos, dos niveles o condiciones.

Niveles y tratamientos. Los diferentes valores que se asignan a cada factor estudiado en un diseño experimental se llaman niveles. Una combinación de niveles de todos los factores estudiados se llama tratamiento o punto de diseño.

Si en un experimento se estudia la influencia de la velocidad y la temperatura, y se decide probar cada una en dos niveles, entonces cada combinación de niveles (velocidad, temperatura) es un tratamiento. En este caso habría cuatro tratamientos, como se muestra en la tabla 1.

Nivel de velocidad	Nivel de temperatura	Tratamiento	y
1	1	1	?
2	1	2	
1	2	3	
2	2	4	

Tabla 1. Puntos de diseño o tratamientos. (Humberto, 2008)

Error aleatorio y error experimental. Siempre que se realiza un estudio experimental, parte de la variabilidad observada en la respuesta no se podrá explicar por los factores estudiados. Esto es, siempre habrá un remanente de variabilidad que se debe a causas comunes o aleatorias, que generan la variabilidad natural del proceso. Esta variabilidad constituye el llamado error aleatorio.

Error aleatorio. Es la variabilidad observada que no se puede explicar por los factores estudiados; resulta del pequeño efecto de los factores no estudiados y del error experimental.

Error experimental. Componente del error aleatorio que refleja los errores del experimentador en la planeación y ejecución del experimento.

Etapas del diseño de experimento

De acuerdo a (Humberto, 2008). Un aspecto fundamental del diseño de experimentos es decidir cuáles pruebas o tratamientos se van a realizar y cuántas repeticiones de cada uno se requieren, de manera que se obtenga la máxima información al mínimo costo posible. El arreglo formado por los diferentes tratamientos que serán corridos, incluyendo las repeticiones, recibe el nombre de matriz de diseño o sólo diseño.

A continuación se describen de manera breve las etapas del diseño de experimentos con objeto de dar una visión global de lo que implica su correcta aplicación.

Planeación y realización

- 1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.** En la etapa de planeación se deben hacer investigaciones preliminares que conduzcan a entender y delimitar el problema u objeto de estudio, de tal forma que quede claro qué se va a estudiar, por qué es importante y, si es un problema, cuál es la magnitud del mismo.

- 2. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.** La elección de esta(s) variable(es) es vital, ya que en ella se refleja el resultado de las pruebas. Por ello, se deben elegir aquellas que mejor reflejen el problema o que caractericen al objeto de estudio. Además, se debe tener confianza en que las mediciones que se obtengan sobre esas variables sean confiables. En otras palabras, se debe garantizar que los instrumentos y/o métodos de medición son capaces de repetir y reproducir una medición, que tienen la precisión (error) y exactitud (calibración) necesaria.
- 3. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tienen sobre la respuesta.** No se trata de que el experimentador tenga que saber a priori cuáles factores influyen, puesto que precisamente para eso es el experimento, pero sí de que utilice toda la información disponible para incluir aquellos que se considera que tienen un mayor efecto.
- 4. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.** Este paso también implica determinar cuántas repeticiones se harán para cada tratamiento, tomando en cuenta el tiempo, el costo y la precisión deseada.
- 5. Planear y organizar el trabajo experimental.** Con base en el diseño seleccionado, organizar y planear con detalle el trabajo experimental, por ejemplo, las personas que van a intervenir, la forma operativa en que se harán las cosas, etc.
- 6. Realizar el experimento.** Seguir al pie de la letra el plan previsto en la etapa anterior, y en caso de algún imprevisto, determinar a qué persona se le reportaría y lo que se haría.

Análisis

En esta etapa no se debe perder de vista que los resultados experimentales son observaciones muestrales, no poblacionales. Por ello, se debe recurrir a métodos estadísticos inferenciales para ver si las diferencias o efectos muestrales (experimentales) son lo suficientemente grandes para que garanticen diferencias poblacionales (o a nivel proceso). La técnica estadística central en el análisis de los experimentos es el llamado análisis de varianza ANOVA (acrónimo en inglés).

Interpretación

con el respaldo del análisis estadístico formal, se debe analizar con detalle lo que ha pasado en el experimento, desde contrastar las conjeturas iniciales con los resultados del experimento, hasta observar los nuevos aprendizajes que sobre el proceso se lograron, verificar supuestos y elegir el tratamiento ganador, siempre con apoyo de las pruebas estadísticas.

Control y conclusiones finales

Para concluir el estudio experimental se recomienda decidir qué medidas implementar para generalizar el resultado del estudio y para garantizar que las mejoras se mantengan. Además, es preciso organizar una presentación para difundir los logros.

Uso de técnicas estadísticas en la experimentación

(Montgomery, 2017) Los métodos estadísticos pueden incrementar en gran medida la eficiencia de estos experimentos y con frecuencia pueden fortalecer las conclusiones así obtenidas. El uso correcto de las técnicas estadísticas en la experimentación requiere que el experimentador tenga presentes los puntos siguientes:

1. Uso de conocimientos no estadísticos del problema. Los experimentos suelen poseer amplios conocimientos de sus respectivos campos. Por ejemplo, un ingeniero civil que trabaja en un problema de hidrología cuenta de manera típica con considerable experiencia práctica y capacitación

académica formal en esta área. En algunos campos existe un cuerpo enorme de teoría física en el cual indagar para explicar las relaciones entre los factores y respuestas. Este tipo de conocimientos no estadísticos es invaluable para elegir los factores, determinar los niveles de los factores, decidir cuantas replicas correr, interpretar los resultados del análisis. El uso de la estadística no es sustituto de la reflexión sobre el tema.

2. Mantener el diseño y el análisis tan simple como sea posible. Es necesario no exagerar en el uso de técnicas estadísticas complejas y sofisticadas. Los métodos de diseño y análisis relativamente simples son siempre los mejores. Si un diseño se hace de manera cuidadosa y correcta, el análisis casi siempre será relativamente directo. Sin embargo, si el diseño se estropea grandemente por ineptitud, no es posible que incluso la estadística más compleja y elegante salve la situación.
3. Tener presente la diferencia entre significación práctica y significación estadística. Debido justamente a que dos condiciones experimentales producen respuestas medias que son estadísticamente diferentes, no existe ninguna seguridad de que esta diferencia sea la magnitud suficiente como para tener algún valor practico.
4. Los experimentos son generalmente iterativos. La mayoría de las situaciones no es conveniente diseñar un experimento demasiado compresivo al principio de un estudio. Un diseño exitoso requiere reconocer los factores importantes, los rangos en los que los factores se harán variar, el número apropiado de niveles para cada factor y los métodos y las unidades de medición adecuados para cada factor y respuesta. En general, ningún experimentador está en posición de responder estas cuestiones al principio del experimento, sino que las respuestas aparecen sobre la marcha. Esto habla en favor del enfoque iterativo o secuencial analizado anteriormente. Desde luego hay situaciones en la que un experimento comprensivo es totalmente apropiado pero, como regla general, la mayoría de los experimentos deberán ser iterativos. Por consiguiente, no se deberá invertir más de 25% de los recursos para la experimentación (corridas, presupuesto,

tiempo, etc) en el experimento inicial. Con frecuencia estos esfuerzos iniciales constituyen solo experiencias de aprendizaje, y es necesario contar con recursos suficientes para alcanzar los objetivos finales del experimento.

Beneficios de implementar Diseño de Experimentos DOE

De acuerdo a (Group, 2020). Las organizaciones que han implementado exitosamente la metodología de Diseño de Experimentos DOE en sus organizaciones han obtenido beneficios como:

1. Confiabilidad de la información

La información de los factores que intervienen en un proceso DOE es obtenida de manera rápida, confiable y con evidencia estadística de lo que sería la respuesta en campo.

2. Procesos de mejora

DOE arroja mejoras de procesos al determinar la mejor respuesta de salida que deseamos, reducción, maximizar o una meta nominal.

3. Reducción de los costos de manufactura

Al implementar las acciones resultantes del DOE se obtiene la rentabilidad del negocio.

Estandarización

(W. Niebel, 2009) Menciona que los estándares son el resultado final del estudio de tiempos o de la medición del trabajo. Esta técnica establece un estándar de tiempo permitido para llevar a cabo una determinada tarea, con base a las mediciones del contenido del trabajo del método prescrito, con la debida consideración de la fatiga y retardos inevitables del personal.

Ventajas de los estándares. (James G., 1986) Describe ciertas ventajas de los estándares que a continuación se mencionan.

1. Representan la mejor, más fácil y segura manera de ejecutar un trabajo, cualquiera que él sea. Reflejan el “Know How” y la experiencia acumulada en los trabajadores. La gerencia asegura que el trabajo se realice de una misma forma siguiendo los mismos métodos de trabajo, pero permite la mejora continua en la cual, los resultados se convierten en nuevos estándares.
2. Es la mejor manera de preservar este conocimiento y experiencias, ya que cuando un trabajador se va de la organización se los lleva con él. Con la estandarización se queda dentro de la empresa.
3. Permite fácilmente medir el desempeño y hacer comparaciones; con los estándares la gerencia puede medir el rendimiento y, sin ellos, le resultará mucho más difícil hacerlo.
4. Muestran la relación entre causa y efecto, ya que, al no tenerlos, representa una ocasión para las anomalías, variaciones, desperdicios, accidentes, y otros efectos indeseables en los procesos.
5. Establecen la base fundamental para MANTENER y MEJORAR, desde el punto de vista del Kaizen relacionado con el puesto de trabajo. Sin ellos no podríamos saber el progreso o las mejoras perseguidas. Cuando ocurren desviaciones de los estándares, la gerencia debe encontrar las causas y regresar a ellos. Si éstos no existen, entonces se deben establecer, y ello es un rol importante de la gerencia. Recuerde, cada mejora es un nuevo estándar y donde éstos no existen, no hay mejoramiento.
6. Establecen objetivos y metas de entrenamiento o desarrollo de los trabajadores. Cuando los estándares se establecen, se los hace de manera gráfica, ya sea meramente escritos o con dibujos u otra forma de graficar.

Deben colocarse en los puestos de trabajo y ser conocidos ampliamente por la gente que los ocupa.

7. Permiten la auditoría o el diagnóstico. No sólo para los supervisores quienes deben cuidar el cumplimiento de estos, sino para la gerencia en cualquier momento. Cuando los líderes o supervisores disponen de ellos, pueden a manera de lista de verificación, realizar las inspecciones en cada puesto para constatar que se cumplen o si han cambiado como producto de una mejora introducida
8. Representan el mejor medio para detectar la recurrencia de las anomalías o errores en los procesos, y minimizan la variación (MURA). Por ejemplo, el control de la calidad implica el control de la variabilidad.
9. Objetivo básico, definir y estandarizar los puntos de control claves en cada proceso o fase de este para asegurarse de que tales puntos de control se sigan en todo momento. De este modo, la estandarización es parte integral del aseguramiento de la calidad; y sin ella, resulta casi imposible construir un sistema viable de CALIDAD en los métodos de trabajo.

Para (W. Niebel, 2009) el trabajo estándar tiene su fundamento en la estandarización. Propiciar los medios por los cuales, las operaciones de manufactura se realicen siempre de una misma forma. Crear procesos estándar, consistentes y predecibles es un factor que propiciará el control y posterior mejora de los procesos.

Los primeros intentos por estandarizar las operaciones de manufactura provienen de la utilización de instrucciones de trabajo. Con el paso del tiempo se han incorporado nuevos elementos que hacen posible lograr una estandarización provechosa.

Estos elementos son:

- ❖ El Tiempo Takt (TT)

- ❖ Secuencia de operaciones estándar
- ❖ Inventario en proceso (WIP)

Se han incluido también formatos de análisis de las operaciones que nos facilitarán la estabilidad y consistencia de las operaciones:

- ❖ Hoja de medición de tiempos
- ❖ Hoja de cálculo de capacidad de proceso
- ❖ Tabla combinada de operación

¿Para qué se implementa el trabajo estándar?

(Socconini, 2019) Dice que al estandarizar las operaciones se establece la línea base para evaluar y administrar los procesos y evaluar su desempeño, lo cual será el fundamento de las mejoras. La documentación del trabajo estándar sirve para lo siguiente:

- ❖ Asegura que la secuencia de las acciones del operador sea repetible.
- ❖ Apoya el control visual, creando así un ambiente para detectar anomalías fácilmente.
- ❖ Ofrece una ayuda para comparar la documentación con los procesos actuales.
- ❖ Es una herramienta para iniciar acciones de mejora.
- ❖ Facilita el método de documentación de las mejoras.
- ❖ Establece un banco invaluable de información que se puede consultar cuando es necesario.
- ❖ Ayuda a mantener un alto nivel de rentabilidad.
- ❖ Asegura operaciones más seguras y efectivas.
- ❖ Mejora la productividad.
- ❖ Ayuda al balanceo de los tiempos de ciclo de todas las operaciones de acuerdo con el ciclo del tiempo Takt.
- ❖ Reduce la curva de aprendizaje de los operadores.

¿Cuándo se utiliza el trabajo estándar?

La documentación de las operaciones estándar se utiliza desde que se obtiene información relevante de los procesos, como los tiempos de operaciones, cuando se requiere conocer las secuencias de las operaciones y su relación con el tiempo Takt y una vez que se ha mejorado el proceso para documentar los nuevos métodos establecidos y para capacitar al personal en su nuevo puesto.

Procedimiento para implementar el trabajo estándar

1. Seleccionar el proceso específico o una operación de un proceso.
2. Realizar las mediciones de tiempo correspondientes y capturarlas en una “Hoja de medición de tiempos”.
3. Calcular la capacidad de operación y llenar la “Hoja de capacidad de operación”.
4. Diseñar o documentar la secuencia optimizada de la capacidad a través de una “Tabla combinada de operaciones estandarizadas”.
5. Dibujar el proceso a través de una hoja de “Trabajo estándar”
6. Documentar las instrucciones de operación.

Hoja de medición de tiempos

En la hoja de medición de tiempos se identifica en momento que inicia un elemento del trabajo, así como al momento en que termina. En esta hoja se mide cada elemento del trabajo y se establecen los tiempos estándar para cada operación del proceso. En la hoja de medición se registran algunas mediciones de los tiempos de ciclo de cada operación. Esto se realiza anotando el número de la operación en el proceso, la descripción del elemento o el nombre de la operación y especificando en qué punto de la operación se toma para completar los ciclos de operación. Ver en la ilustración (véase figura 2).

Proceso	LSSI LEAN SIX SIGMA INSTITUTE	HOJA DE MEDICIÓN DE TIEMPOS								Fecha de análisis						Número del proceso				
										Hora de análisis						Observador				
Núm.	Elemento de trabajo	Punto de medición	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Tiempo repetido más bajo		

Figura 2. Hoja de medición de tiempo.

Capacidad de operación

En la hoja de capacidad de operación se describe la capacidad de operación en cada etapa del proceso, tomando en cuenta el tiempo estándar manual o automático de cada fase del proceso. También se describe el tiempo que toma el cambio en cada secuencia de operación. El resultado final es la capacidad de producción de cada operación. Ver ilustración (véase figura 3).

Gerente			CAPACIDAD DE OPERACIÓN				Número de parte			Tipo de producto			Sección	
							3.2							
Asistente							Nombre			Partes/ producto			Tiempo disponible	
Secuencia	Nombre del proceso	Número de máquina							Cambios de herramental		Capacidad de manufactura	Observaciones		
			Manual		Automático		Total		Intervalo de cambios	Tiempo de cambio				
			Min.	Seg.	Min.	Seg.	Min.	Seg.						

Figura 3. Hoja de capacidad.

(Socconini, 2019) Menciona que esta hoja nos sirve para determinar si el proceso es capaz de trabajar al ritmo del tiempo Takt y para confirmar las restricciones del sistema.

Tabla combinada de operaciones estandarizadas

(Socconini, 2019) Menciona que la tabla combinada nos permite ver gráficamente la secuencia de la producción y diseñar la secuencia para optimizar la capacidad. También es útil para balancear la carga de trabajo de cada operación de acuerdo con el tiempo Takt. Observemos con detalle siempre en cualquier proceso el tiempo de cada operación para darnos cuenta de que hay actividades que se podrían combinar con otras para optimizar el tiempo, dadas las condiciones en un estado futuro, y asignar responsabilidades de tareas específicas a cada operador.

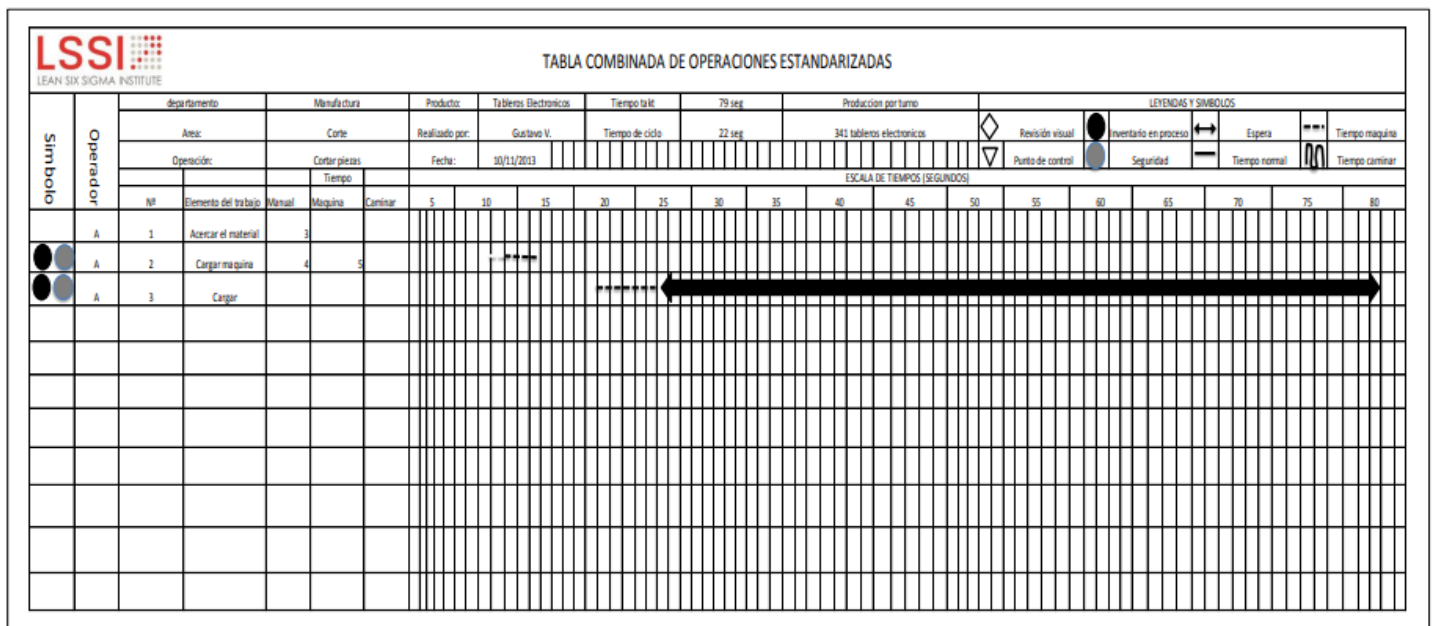


Figura 4. Tabla combinada de operaciones estandarizadas.

Hoja de trabajo estándar

La hoja de trabajo estándar es aplicable solamente cuando el operario ejecuta ciclos repetitivos en el proceso de fabricación. En estos casos, es una herramienta muy valiosa para eliminar el despilfarro (movimientos innecesarios y esperas del operario) y reducir la variación en el tiempo de ciclo. Así como la tabla de observación de tiempos se refiere al binomio «un operario, una máquina», la hoja de trabajo estándar se aplica al ciclo repetitivo de un solo operario trabajando en uno o varios puestos/máquinas. Es un documento clave de la estandarización, segundo cimiento del lean Manufacturing.

La hoja de trabajo estándar documenta y estandariza los elementos que intervienen en el ciclo repetitivo del operario: las tareas, la secuencia de movimientos, el inventario en curso y el tiempo. La hoja de trabajo estándar se elabora a partir de las tablas de observación de tiempos, una vez que éstas han sido analizadas y se han eliminado los elementos de trabajo que no añadían valor y eran innecesarios (NVAI). (Neto, 2013).

LSSI LEAN SIX SIGMA INSTITUTE				TRABAJO ESTÁNDAR			
				NOMBRE DE LA OPERACIÓN: Fabricación de tableros		DESDE: Materiales	FECHA: 22-Mayo- 2007
				HASTA: Producto terminado		FIRMA	
No.	ELEMENTO DE TRABAJO	Tiempo					
		MANUAL	ESPERA	CAMINAR			
1	Recoger material						
2	Cortar piezas						
3	Pintar piezas						
4	Perforar piezas						
5	Ensamble 1						
6	Cargar software						
7	Ensamble 2						
8	Empaque						
9	Colocar producto terminado						
TOTAL							

Trabajo mientras el producto se mueve →		Caminar —		Regreso al inicio - - - →		COMENTARIOS	
SÍMBOLOS		Elemento de control C	Revisión visual △	Seguridad +	Inventario en proceso ● 7	Tiempo de ciclo 70	Tiempo takt 79
					Análisis No. 1/1		

Figura 5. Tabla de trabajo estándar.

Diagrama de flujo

Definición

De acuerdo a (Manene, 2011). Un diagrama de flujo es la representación gráfica del flujo o secuencia de rutinas simples. Tiene la ventaja de indicar la secuencia del proceso en cuestión, las unidades involucradas y los responsables de su ejecución, es decir, viene a ser la representación simbólica o pictórica de un procedimiento administrativo.

Por lo tanto, un diagrama de flujo es una representación gráfica de un proceso, sistema o algoritmo que utiliza símbolos estandarizados para ilustrar los pasos secuenciales, decisiones y operaciones involucradas. Es una herramienta utilizada para comunicar de manera clara y visual cómo funciona un proceso o para planificar y analizar flujos de trabajo.

Los diagramas de flujo son fundamentales, ya que facilitan la representación gráfica de un procedimiento. Actualmente, la mayoría de las empresas los consideran una herramienta clave para el desarrollo de algún tipo de sistema.

Objetivo

Representar gráficamente las distintas etapas de un proceso y sus interacciones, para facilitar la comprensión de su funcionamiento. Es útil para analizar el proceso actual, proponer mejoras, conocer los clientes y proveedores de cada fase, representar los controles, etc. (Manene, 2011)

Ventajas

(Manene, 2011) Se puede citar como ventajas que se pueden obtener con la utilización de los diagramas de flujo, las siguientes:

- ❖ Ayudan a las personas que trabajan en el proceso a entender el mismo, con lo que facilitaran su incorporación a la organización e incluso, su colaboración en la búsqueda de mejoras del proceso y sus deficiencias.
- ❖ Al presentarse el proceso de una manera objetiva, se permite con mayor facilidad la identificación de forma clara de las mejoras a proponer.

- ❖ Permite que cada persona de la empresa se sitúe dentro del proceso, lo que conlleva a poder identificar perfectamente quien es su cliente y proveedor interno dentro del proceso y su cadena de relaciones, por lo que se mejora considerablemente la comunicación entre los departamentos y personas de la organización.
- ❖ Normalmente sucede que las personas que participan en la elaboración del diagrama de flujo se suelen volver entusiastas partidarias del mismo, por lo que continuamente proponen ideas para mejorarlo.
- ❖ Es obvio que los diagramas de flujo son herramientas muy valiosas para la formación y entrenamiento del nuevo personal que se incorpore a la empresa.
- ❖ Lo más reseñable es que realmente se consigue que todas las personas que están participando en el proceso lo entenderán de la misma manera, con lo que será más fácil lograr motivarlas a conseguir procesos más económicos en tiempo y costes y mejorar las relaciones internas entre los cliente-proveedor del proceso.

Diagrama de Pareto

¿Qué es el diagrama de Pareto?

(Leal Solano, 1987) Lo define como la herramienta básica para la selección de prioridades, que identifica del total de las causas, las vitales y triviales. Todo tiene sus causas y efectos, pero por ley natural encontramos que si actuamos sobre las causas vitales (aproximadamente el 20%), podemos llegar a solucionar en un 80% los efectos como lo muestra la siguiente gráfica.

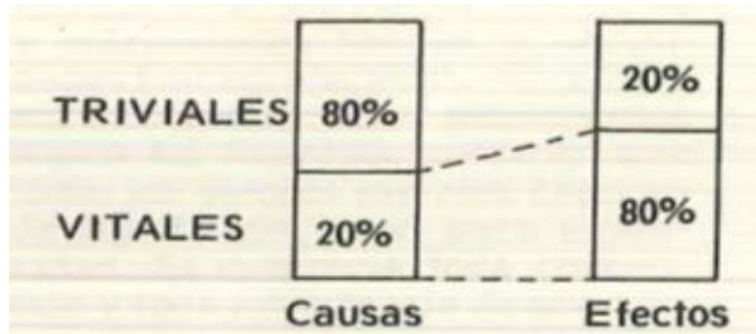


Figura 6. Representación de Diagrama de Pareto. (Leal Solano, 1987)

¿Cómo se aplica?

(Gallach, 2020) El principio de Pareto, conocido también como principio del 80-20, dicta la importancia de unos pocos problemas con mucha importancia frente a los muchos más problemas que se pueden observar, pero sin importancia alguna, es decir, el 20% de los problemas ocupan el 80% de las consecuencias.

Este diagrama es básico y fácil de construir.

Consiste en un diagrama de barras sencillo en el cual, para construirlo, se deben seguir los siguientes pasos:

- ❖ Determinar los problemas.
- ❖ Recolectar los datos o las causas de los problemas, y sus consecuencias e importancia.
- ❖ Ordenar de mayor a menor este dato.

Estos serían los pasos básicos, donde solo con eso ya se podría priorizar que problemas son los que más afectan a la empresa. Además, si se añade el porcentaje acumulado de estos, se aprecia mejor la importancia y cuanto afectan estos. Por ejemplo, para una empresa que desee representar los ingresos que generan sus diferentes productos, se puede obtener el siguiente gráfico, el cual se ha formado a partir de los datos de la tabla (véase tabla 2).

Producto	Ingresos Totales	
E	1.865.230,00 €	29,94%
A	1.500.000,00 €	54,01%
D	1.256.345,00 €	74,18%
G	521.436,00 €	82,55%
H	456.322,00 €	89,87%
F	256.348,00 €	93,98%
B	250.356,00 €	98,00%
C	124.514,00 €	100,00%

Tabla 2. Ejemplo de datos de los diferentes productos de una empresa.
(Gallach, 2020)

Con estos datos, se pasaría a la representación del diagrama de Pareto, el cual quedaría de la siguiente forma:

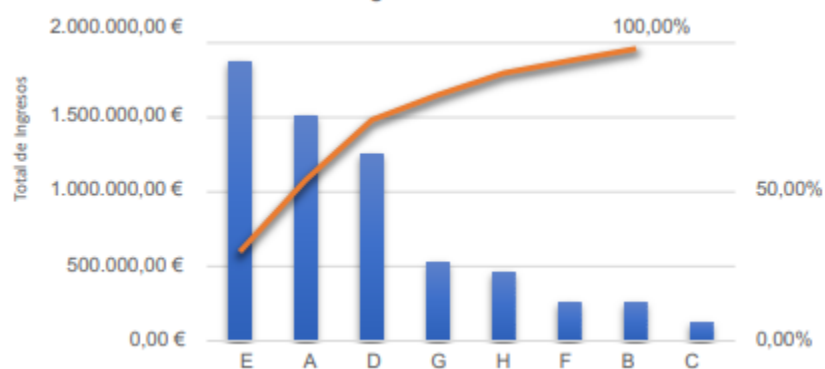


Figura 7. Diagrama de Pareto del ejemplo propuesto. (Gallach, 2020)

Esta gráfica sería un ejemplo de la aplicación del principio de Pareto, donde se ordenan los ingresos que producen los distintos productos de una empresa.

Importancia de Pareto

(Gallach, 2020) El diagrama de Pareto ayuda a separar los problemas más relevantes de aquellos que no tienen importancia.

De esta forma, se representa de forma muy visual y fácil entendimiento todos los problemas y a cuáles se les debe prestar importancia y cuáles pueden ser más despreciados.

Actualmente, se procesa mucha información y muchos datos, y una herramienta como esta puede ser de gran ayuda para la priorización de estos.

Justificación y planteamiento del problema

La investigación de este proyecto servirá para determinar las mejores combinaciones de parámetros, ya que el diseño de experimentos, nos dará el apoyo en poder aumentar la productividad del objeto de estudio, proporcionándonos los parámetros para las máquinas y así poder tener una estandarización para los equipos de peletizado. Así como también el poder determinar cuáles son las causas que originan esta inestabilidad de parámetros dados.

Como de igual manera servirá para poder determinar algunas mejoras que puedan ser realizadas dentro del objeto de estudio y así poder apoyar a la compañía, teniendo una visión referente a la herramienta que se está llevando a cabo y saber lo importante que es esta, teniendo una eficiencia en los equipos que se están manejando y tener un logro positivo referente a producciones diarias que se establecen. Si bien sabemos que las compañías en crecimiento tienen esa visión del poder ser eficientes en sus herramientas y equipos, las cuales le han sacado provecho a herramientas de Lean, que sin duda alguna les han ayudado a cada una de ellas a salir adelante, teniendo así una mejora continua. Dado a que el objetivo de estas herramientas son el apoyar a empresas a tener una optimización de sus procesos y tener una mejora continua.

La presente investigación, tiene como finalidad en tener presente dicha herramienta DoE y llevarla a cabo dentro del proceso de peletizado, teniendo la implementación y saber la importancia de esta, la herramienta nos servirá para poder tener una utilización de los equipos de manera más eficiente, tener ese aprovechamiento de las maquinarias y así poder tener una mejora dentro de la productividad de planta 1, en donde se realiza dicho estudio.

Los resultados de esta proceso de investigación, no solo nos llevara a los beneficios que queremos llegar, sino también darle un beneficio a la compañía, teniendo un

gran aprovechamiento de esta herramienta, reduciendo así las variaciones del proceso dentro de los parámetros que se ocupan antes de poder ejecutar dicha herramienta. Ya que sería de una gran ayuda, para poder tener una estandarización dentro de los equipos.

Es por esta razón que la aplicación de esta herramienta es de gran importancia en el proceso, ya que dicha herramienta nos apoyara a tener la posible obtención del mejoramiento del proceso que se está analizando, además de poder así obtener el proceso óptimo de los equipos.

Planteamiento del problema

La empresa Anguiplast S.A de C.V. se dedica por más de 30 años al proceso de reciclado, obteniendo así como un producto final una bolsa de plástico de polietileno que se clasifican como de alta y baja densidad, siendo estas las más comercializadas. La empresa cuenta con dos plantas. Donde, en planta 1 se realiza el proceso de pellet con material reciclado, este pellet sirve como materia prima para abastecer a planta 2 para tener el producto final que es la bolsa de plástico reciclada.

El proceso bajo estudio está enfocado en el proceso de peletizado de planta 1. Para realizar un diagnóstico actual de la empresa y poder obtener una idea más clara acerca del problema, se realizó un diagrama de Pareto (véase figura 8), en donde se pudo presenciar la principal problemática que se podrá atacar para esta investigación y poder tener puntos de mejora que presenta dicha área.

Por lo tanto, el principal problema que se pudo identificar, es el trabajo estandarizado. Donde la empresa presenta un problema fundamental en la forma de ejercer todo el proceso productivo, debido a que no se tienen estándares en la parte de proceso de peletizado. Estos estándares se refieren a no tener un control en el proceso de maquinaria. Por lo que sus operaciones de trabajo no tienen una estandarización previa a los parámetros de cada máquina, en donde se realiza el proceso de peletizado. Lo cual presenta un riesgo y grandes esfuerzos a la hora de producir en grandes volúmenes.

Esto hace un desglose, al no contar con una estandarización del proceso. Se tiene como una consecuencia el no poder contar con la productividad de planta. Donde una de las principales causas es el trabajo del operario, debido a que no se tiene una estandarización de parámetros en cada máquina, el personal operativo maneja su equipo a diferentes parámetros, por lo que realizan una manipulación de variables de forma manual a su máquina, las cuales son revoluciones por minuto (Hz), y velocidad de cortadora. Y esto hace que existan tiempos ociosos dentro de producción, lo cual esto hace que el operador de producción pueda mover en cualquier momento sus parámetros sin saber que realizan una pérdida de producción y no tener una maquina eficiente a como se espera, y llevar a la consecuencia de no producir los kilos esperados por minuto y así no poder sacar su meta de producción.

Diagrama de Pareto

Por medio de este diagrama de Pareto, se logró priorizar las causas con el fin de encontrar solución bajo la productividad en el proceso de peletizado.

Para esto, se pudo realizar una matriz de criticidad (véase tabla 2) para poder observar cual es la causa más recurrente dentro del proceso.

Ponderación de criticidad	
Alta	3
Media	2
Baja	1

Tabla 3. Matriz de ponderación de criticidad. Elaboración propia.

Una vez presentado las ponderaciones de criticidad que se manejaran, se realizara la siguiente tabla:

Causas	Maquinas paradas	Materia prima con humedad	Falta de experiencia , operarios en proceso de aprendizaje	Tiempos ociosos al cambio de turno	Procedimientos no estandarizados	Piso con material regado	Puntaje de criticidad
Maquinaria	2						2
Materiales		2					2
Mano de obra			2				2
Método				2			2
Medición					3		3
Medio ambiente						3	3

Tabla 4. Matriz de criticidad. Elaboración propia.

Como resultado, se muestra la recopilación con los totales de cada criterio, y se muestra la recopilación de datos para la elaboración del diagrama de Pareto:

N°	Causas	Frecuencia	Frecuencia acumulada	% Total	% Total de acumulados
1	Procedimientos no estandarizados	3	3	20%	20%
2	Piso con material regado	3	6	20%	40%
3	Maquinas paradas	3	9	20%	60%
4	Tiempo ociosos al cambio de turno	2	11	13%	73%
5	Falta de experiencia, operarios en proceso de aprendizaje	2	13	13%	87%
6	Materia prima con humedad	2	15	13%	100%
		15		100%	

Tabla 5. Cuadro de Pareto. Elaboración propia

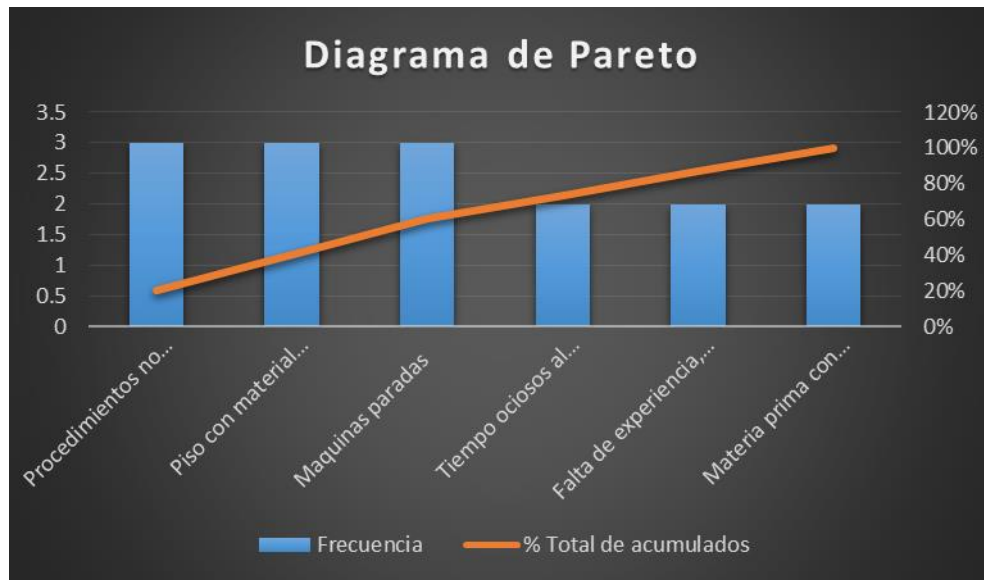


Figura 8. Diagrama de Pareto. Elaboración propia.

Como se observa en el diagrama de Pareto. Las tres primeras opciones son las causas por priorizar por el principio de Pareto, ya que se encuentran dentro del 80% del acumulado.

Por medio de esta herramienta se priorizan las siguientes oportunidades de mejora:

- Procedimientos no estandarizados.
- Piso con material regado.
- Máquinas paradas.

Es por esto que el objeto bajo estudio a analizar en este trabajo de investigación, es el trabajo estandarizado en los equipos de maquinaria. Por lo que se profundizara con la herramienta ya antes mencionada, el diseño de experimento DoE.

Hipótesis

Hipótesis alternativa (H1): Empleando el diseño de experimentos en el proceso peletizado, se pueden determinar los valores óptimos de los parámetros para cada máquina. Para aumentar la eficiencia del proceso.

Hipótesis nula (H0): Empleando el diseño de experimento en el proceso de peletizado, no se podrán determinar los valores óptimos de los parámetros para cada máquina. Y no aumentar la eficiencia del proceso.

Objetivos

Objetivo general

Determinar los valores óptimos de los factores controlables que se ocupan en el proceso de peletizado, usando un sistema de automatización mediante el estudio del Diseño de Experimentos (DoE) para aumentar la productividad.

Objetivos específicos

- ❖ Recopilar información acerca del proceso peletizado.
- ❖ Identificar los parámetros antes utilizados.
- ❖ Desarrollar la metodología a aplicar.
- ❖ Determinar los factores controlables del proceso.
- ❖ Determinar los requerimientos funcionales y no funcionales para automatizar el cálculo de los factores controlables.
- ❖ Desarrollar un plan de capacitación e implementación para el uso de parámetros de maquinaria para los trabajadores.

Metodología

Proceso de peletizado

Para poder explicar el proceso que conlleva el peletizado, se tuvo la elaboración en un diagrama de flujo de procesos que se muestra a continuación (véase figura 9), en el cual se describe de una manera más breve y concisa todos los pasos que se deben realizar para llegar al producto final, el cual es el peletizado.

Siendo así como una propuesta de implementación del diagrama de flujo, ya que no se contaba con uno dentro de la empresa. Es por esto que se desarrolló, para tener una visión del proceso.

Diagrama de flujo de proceso del peletizado

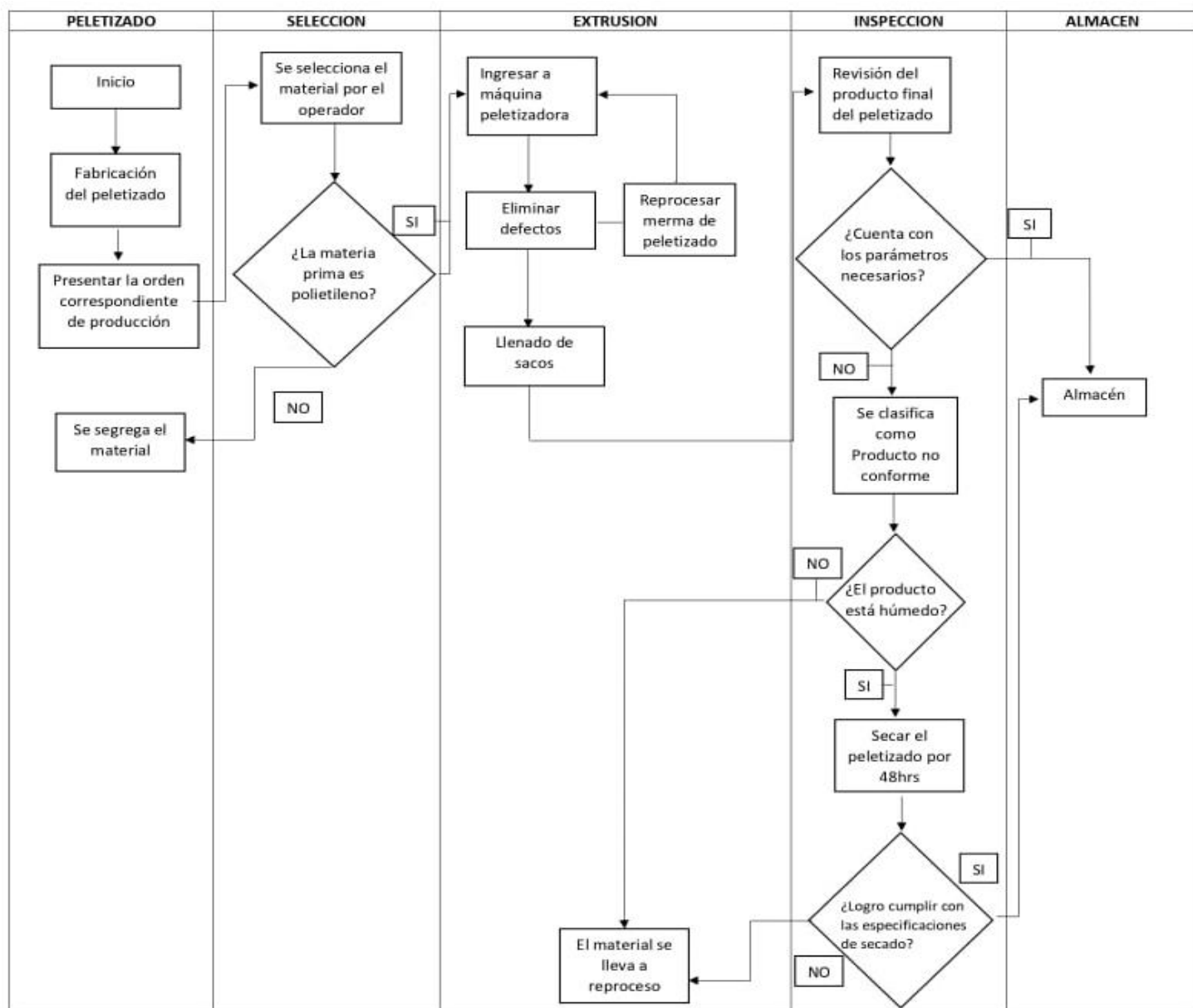


Figura 9. Diagrama de flujo de proceso seccionado del peletizado. Elaboración propia.

Trabajo estándar

Estudio de tiempos

En este análisis, se observará las operaciones para las máquinas de sistema de alimentación de banda y de sistema de alimentación manual, donde se van a eliminar o separar las actividades con valor agregado de las que no generan valor. Donde posteriormente se va a determinar el tiempo repetible para cada operador.

Para que se lleve a cabo el estudio de tiempos, se utilizara la hoja de toma de tiempos para poder identificar el momento en que un elemento de trabajo inicia, así como también el momento en que termina, se realiza midiendo cada actividad de trabajo y posteriormente poder tener tiempos estándar para cada operación del proceso de cada tipo de máquina.

A continuación (ver tabla 6), se puede mostrar las actividades que generan valor, dichas actividades son de la máquina de sistema de alimentación de banda.

De acuerdo a la toma de tiempos del área de producción para el producto de peletizado que se realiza en el proceso de extrusión, se procede a realizar el análisis de los resultados arrojados, a través de la hoja de estudio de tiempos que se describe en la tabla (véase tabla 7) y en la tabla (véase tabla 9).

		ACTIVIDADES DE OPERADOR
1.1	Recibir orden de producción por parte del supervisor del material a trabajar	
1.2	Revisar condiciones de operación a trabajar en maquina (temperaturas, velocidades de extruders, compactadora, vibradores)	
1.3	Revisar calidad del material en proceso	
1.4	Controlar condiciones de operación según el comportamiento del material en máquina	
1.5	Realizar cambio de mallas según contaminación en materiales.	
1.6	Realizar descarga de materiales en super sacos	
1.7	Pesar e identificar producción.	
1.8	Llenar formato de identificación del material producido colocando código del producto asignado	
1.9	Limpieza de área de trabajo	

Tabla 6. Actividades del operador de sistema de alimentación de banda. Elaboración propia.

				ANGUIPLAST S.A DE C.V HOJA DE ESTUDIO DE TIEMPOS											
ÁREA: PELETIZADO		DEPARTAMENTO: PRODUCCION				ANALISTA: RESIDENTE				DESCRIPCION DE LA OPERACIÓN: ACTIVIDADES DE OPERADOR DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN					
UNIDAD DE MEDIDA: SEGUNDOS ☒ MINUTOS ☐				METODO ACTUAL: ☐ PROPUESTO: ☒				MAQUINA: SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE BANDA				GRUPO : A, B, C			
ACTIVIDAD	No. DE CICLO DEL OPERADOR										TOTAL	PROMEDIO	CALIFICACION	TIEMPO NORMAL	TIEMPO ESTANDAR
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
1.1	120	98	112	125	130	100	105	117	125	99	1131	113.1	80%	90.48	117.624
1.2	130	122	120	133	130	133	123	120	127	121	1259	125.9	98%	123.382	160.3966
1.3	120	122	105	110	125	125	115	113	109	119	1163	116.3	98%	113.974	148.1662
1.4	60	50	60	48	56	50	60	51	50	62	547	54.7	95%	51.965	67.5545
1.5	480	500	500	495	498	500	491	500	480	500	4944	494.4	100%	494.4	642.72
1.6	300	270	292	295	300	283	275	273	286	288	2862	286.2	100%	286.2	372.06
1.7	420	377	394	401	417	385	399	393	420	422	4028	402.8	100%	402.8	523.64
1.8	120	110	90	115	112	94	100	102	125	88	1056	105.6	100%	105.6	137.28
1.9	400	410	400	485	450	400	400	415	432	400	4192	419.2	85%	356.32	463.216
TOTAL											16990.00	2118.2		1668.801	2632.6573

Tabla 7. Hoja de estudio de tiempos de las actividades de sistema de alimentación de banda. Elaboración propia.

A continuación, (ver tabla 8). Se puede mostrar las actividades que generan valor, para la máquina de sistema de alimentación manual.

		ACTIVIDADES DE OPERADOR
1.1	Recibir orden de producción del material a trabajar.	
1.2	Revisar condiciones a trabajar en máquina (Temperaturas, velocidades de extruder, cortadora, etc.)	
1.3	Revisar el fluido de las líneas.	
1.4	Revisar la calidad del material en proceso (el corte, contaminación, carbón).	
1.5	Controlar condiciones de operación según el comportamiento del material en máquina (subir o bajar velocidades y temperaturas.	
1.6	Realizar cambio de malla según la contaminación del material.	
1.7	Realizar descarga del producto terminado en super sacos en buen estado.	
1.8	Pesar e identificar producción.	
1.9	Llenar formato de identificación del material producido (se coloca el código).	
1.1	Retirar la plasta y llevarla a reproceso.	
1.12	Limpieza del área de trabajo.	

Tabla 8. Actividades del operador de sistema de alimentación manual. Elaboración propia.

				ANGUIPLAST S.A DE C.V HOJA DE ESTUDIO DE TIEMPOS												
ÁREA: PELETIZADO		DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN			ANALISTA: RESIDENTE					DESCRIPCION DE LA OPERACIÓN: ACTIVIDADES DE OPERADOR DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN						
UNIDAD DE MEDIDA: SEGUNDOS ☐ MIN ☐				METODO ACTUAL: ☐ PROPUESTO: ☐					MAQUINA: SISTEMA DE ALIMENTACION MANUAL				GRUPO : A, B, C			
ACTIVIDAD	No. DE CICLO DEL OPERADOR										TOTAL	PROMEDIO	CALIFICACION	TIEMPO NORMAL	TIEMPO ESTANDAR	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
1.1	120	120	94	90	114	119	105	120	116	113	1111	111.1	80	88.88	115.544	
1.2	120	129	110	130	115	120	123	127	120	130	1224	122.4	97	118.728	154.3464	
1.3	30	25	32	29	26	30	28	32	30	25	287	28.7	95	27.265	35.4445	
1.4	65	65	65	69	60	62	66	70	65	64	651	65.1	98	63.798	82.9374	
1.5	100	120	106	115	112	100	118	111	103	101	1086	108.6	96	104.256	135.5328	
1.6	550	598	566	600	523	600	600	600	600	600	5837	583.7	100	583.7	758.81	
1.7	243	300	300	245	266	278	300	298	300	300	2830	283	100	283	367.9	
1.8	412	410	400	355	395	400	388	378	411	410	3959	395.9	100	395.9	514.67	
1.9	122	115	101	119	107	113	120	115	121	122	1155	115.5	100	115.5	150.15	
1.1	60	65	60	55	58	66	65	60	64	65	618	61.8	95	58.71	76.323	
1.12	400	600	600	600	420	550	701	405	422	435	5133	513.3	80	410.64	533.832	
TOTAL											23891.00	2389.1		2250.377	2925.4901	

Tabla 9. Hoja de estudio de tiempos de las actividades de sistema de alimentación manual. Elaboración propia.

A continuación (ver tabla 10 y tabla 11), se muestra la hoja de preparación herramental, donde se determina invariablemente los tiempos de preparación de cada una de las maquinas, tanto de alimentación manual como también de alimentación de banda. Al hablar de tiempo de preparación, se considera generalmente aspectos como preparación de la estación de trabajo para la producción pueda comenzar de la manera más ordenada.

 ANGUIPLAST S.A DE C.V HOJA DE PREPARACIÓN DE HERRAMENTAL			
ÁREA: PELETIZADO	MÁQUINA: CHINA ALIMENTACION DE BANDA	CÓDIGO:	
		REVISIÓN :	
		FECHA DE EMISIÓN :	
HERRAMIENTAS	MATERIAL	EQUIPO	ACCESORIOS
LLAVES ALLEN	MARBETES	Patín hidráulico	CUTTER
ESPATULAS	JUMBO	Monta cargas	BOLIGRAFO
GUANTES	TARIMA		
No.	ACTIVIDADES		TIEMPO
1	Rehabilitar condiciones de operación		120
2	Abastecimiento de materia prima		480
3	Abastecimiento de mallas		480
4	Limpieza de malla reciclada		120
TIEMPO TOTAL (seg)			1200
TIEMPO TOTAL (min.)			20
FECHA DE EMISION ELABORO REVISO APROBO Residente			

Tabla 10. Hoja de preparación de herramental. Máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.

 ANGUIPLAST S.A DE C.V HOJA DE PREPARACIÓN DE HERRAMENTAL			
AREA: PELETIZADO	MÁQUINA: CHINA ALIMENTACION MANUAL	CODIGO:	
		REVISION :	
		FECHA DE EMISION:	
HERRAMIENTAS	MATERIAL	EQUIPO	ACCESORIOS
LLAVES ALLEN	MARBETES	Patín hidráulico	CUTTER
ESPATULAS	JUMBO	Monta cargas	BOLIGRAFO
GUANTES	TARIMA		
No.	ACTIVIDADES		TIEMPO
1	Rehabilitar condiciones de operación		120
2	Abastecimiento de materia prima		480
3	Abastecimiento de mallas		480
4	Limpieza de malla reciclada		180
TIEMPO TOTAL (Seg)			1260
TIEMPO TOTAL (Min)			21
FECHA DE EMISION ELABORO REVISO APROBO Residente			

Tabla 11. Hoja de preparación de herramental. Máquina de alimentación manual. Elaboración propia.

Hoja de trabajo estándar

En la tabla 12, se muestra la hoja de trabajo estándar en un diagrama de flujo que implica las operaciones de la máquina de alimentación manual, el cual se muestra la descripción de cada una de las actividades de cada operador y el tipo de simbología que realiza durante la operación.

 ANGUIPLAST S.A DE C.V				
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO				
ÁREA: PELETIZADO	DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN	MÁQUINA: CHINA ALIMENTACIÓN MANUAL	CÓDIGO:	
			REVISIÓN :	
			FECHA DE EMISIÓN:	
SIMBOLOGIA  OPERACIÓN  DEMORA  TRANSPORTE  ALMACENAR  INSPECCIONAR				
NO.	DESCRIPCION	OPERACIÓN	DISTANCIA	OBSERAVACIONES
1	Recibir orden de producción por parte del supervisor del material a trabajar.			
2	Recibir materia prima.			
3	Se dirige al tablero de operaciones.		2 mtrs	
4	Revisa condiciones de operación a trabajar en máquina (temperaturas, velocidades de extruder, etc.)			
5	Se dirige a la tina de agua.		2.5 mtrs	
6	Revisa el fluido de la línea.			
7	Se dirige a la cortadora.		2.5 mtrs	
8	Revisa la calidad del material en proceso.			
9	Se dirige hacia el tablero de operaciones.		4 mtrs	
10	Se realiza un control de condiciones de operaciones.			Solo en caso de ser necesario el cambio de condiciones
11	Camina hacia el extruder.		1.5 mtrs	
12	Realiza el cambio de mallas.			
13	Se dirige hacia la tolva.		3.5	
14	Ejecuta la descarga del material.			
15	Se translada a la báscula con el saco de material.		5.5	
16	Realiza el pesado e identificado del producto terminado.			
17	Lleva a cabo el llenadoo del formato de producción.			
18	Retira la plasta.			
19	Realiza la limpieza del area.			

Tabla 12. Hoja de trabajo estándar de la máquina de alimentación manual. Elaboración propia.

En la tabla 13, se muestra la hoja de trabajo estándar en un diagrama de flujo que implica las operaciones de la máquina de alimentación de banda, el cual se muestra la descripción de cada una de las actividades de cada operador y el tipo de simbología que realiza durante la operación.

 ANGUIPLAST S.A DE C.V plásticos ecológicos				
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO				
ÁREA: PELETIZADO	DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN	MÁQUINA: CHINA ALIMENTACIÓN DE BANDA	CÓDIGO: REVISIÓN : FECHA DE EMISIÓN:	
SIMBOLOGIA  OPERACIÓN  DEMORA  TRANSPORTE  ALMACENAR  INSPECCIONAR				
NO.	DESCRIPCIÓN	OPERACIÓN	DISTANCIA	OB SERAVACIONES
1	Recibir orden de producción por parte del supervisor del material a trabajar.			
2	Recibir materia prima.			
3	Se dirige al tablero de operaciones.		2 mts	
4	Revisa condiciones de operación a trabajar en máquina (temperaturas, velocidades de extruder, etc.)			
5	Se dirige al canal de agua.		2.5 mtrs	
6	Revisa la calidad del material en proceso.			
7	Se dirige hacia el tablero de operaciones.		2.5 mtrs	
8	Se realiza un control de condiciones de operaciones.			Solo en caso de ser necesario el cambio de condiciones
9	Camina hacia el extruder.		1.5 mtrs	
10	Realiza el cambio de mallas.			
11	Se dirige hacia la tolva.		3.5 mtrs	
12	Ejecuta la descarga del material.			
13	Se translada a la báscula con el saco de material		5.5 mtrs	
14	Realiza el pesado e identificado del producto terminado.			
15	Lleva a cabo el llenado del formato de producción.			
16	Realiza la limpieza del área.			

Tabla 13. Hoja de trabajo estándar de la máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.

En la figura (10) y la figura (11) se muestra el diseño del proceso, Layout de la zona de trabajo de la máquina de alimentación manual y de alimentación de banda con el operador, para poder establecer los movimientos que sean más eficientes de acuerdo a las operaciones.

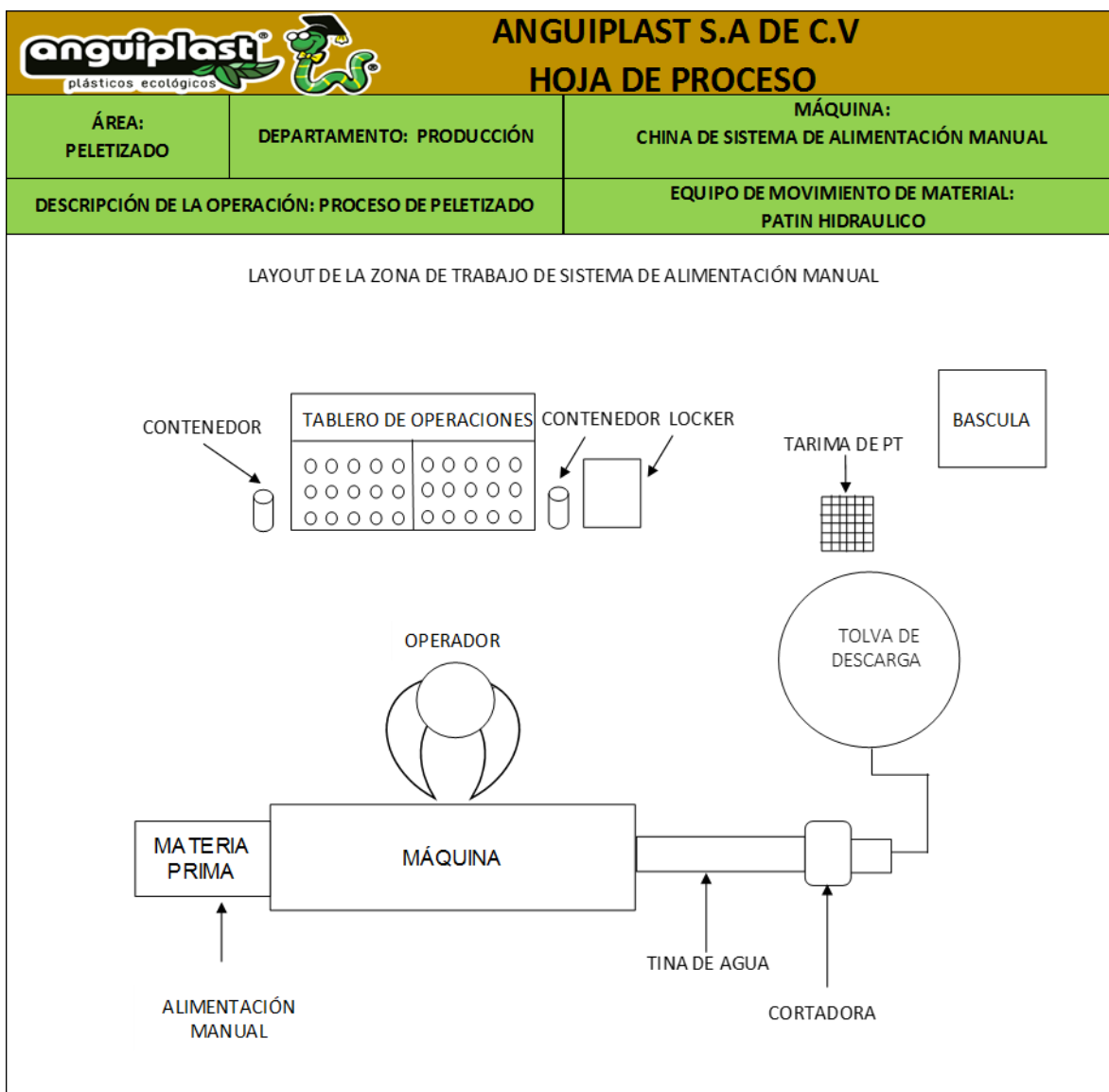


Figura 10. Layout de la zona de trabajo de la máquina de alimentación manual. Elaboración propia.

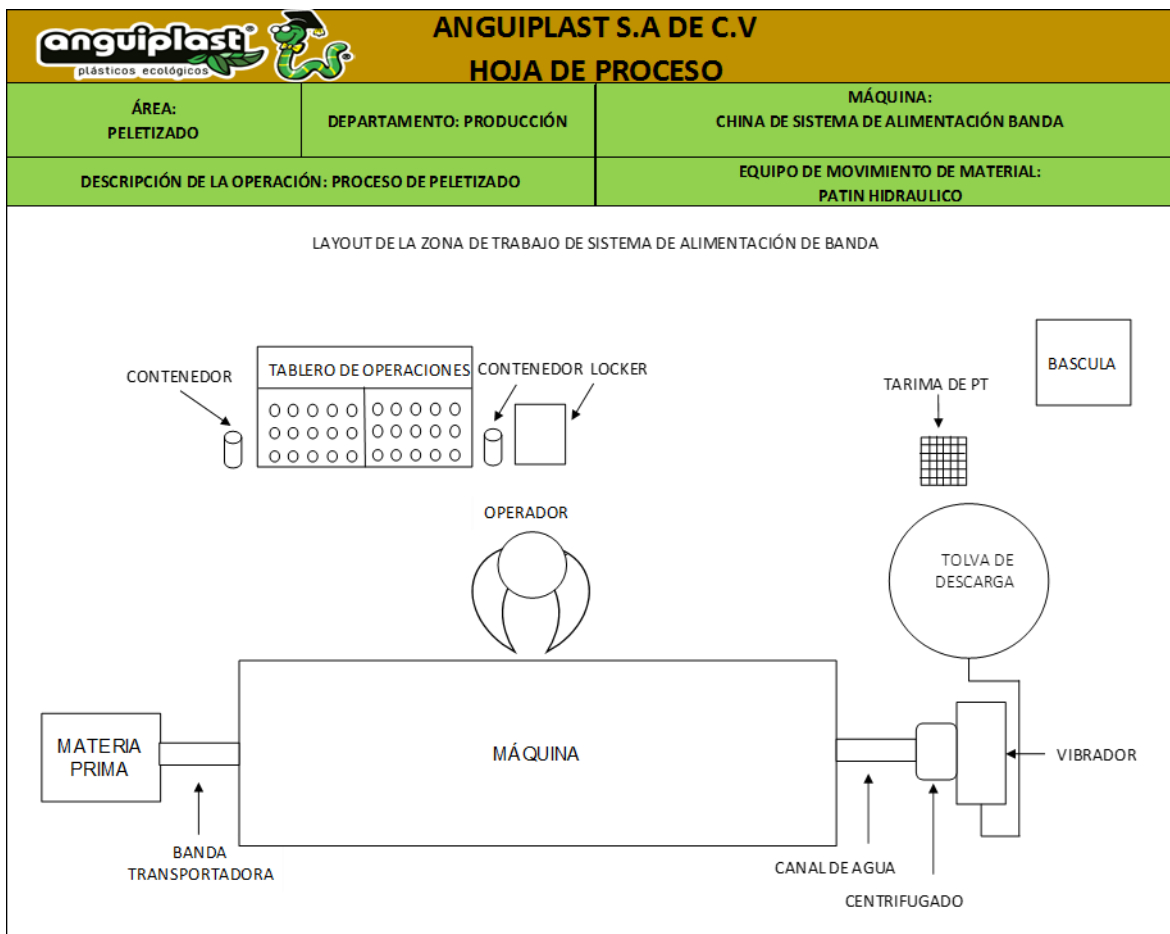


Figura 11. Layout de la zona de trabajo de la máquina de alimentación de banda. Elaboración propia.

Identificación de parámetros antes utilizados

Se realizaron auditorías en los primeros meses para ver cómo se comportaban los parámetros sin tener aun la implementación del diseño de experimentos (DoE), es decir, antes de dicha ejecución.

Estas identificaciones de parámetros, se realizaron en varios horarios laborales y en fechas aleatorias, esto con la finalidad, el ver cómo era el comportamiento de los parámetros modificables en los diferentes tres turnos. Y tener una visión de cómo era el comportamiento de manejo.

Las auditorías de los parámetros antes utilizados, se desglosan en las siguientes tablas:

MAQUINA 2		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	60	19
2	60	22
3	60	23

Tabla 15. Parámetros antes utilizados. Maquina 2.
Elaboración propia.

MAQUINA 3		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	60	35.94
2	60	35.74
3	60	31.71

Tabla 14. Parámetros antes utilizados. Maquina 3.
Elaboración propia.

MAQUINA 4		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	60	24.9
2	55	31
3	60	35.1

Tabla 16. Parámetros antes utilizados. Maquina 4.
Elaboración propia.

MAQUINA 6		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	40	60
2	41	46.78
3	50	51.15

Tabla 17. Parámetros antes utilizados. Maquina 6.
Elaboración propia.

MAQUINA 7		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	60	40.93
2	50	40
3	55	50

Tabla 19. Parámetros antes utilizados. Maquina 7.
Elaboración propia.

MAQUINA 9		
AREA: PELETIZADO		
DEPARTAMENTO: PRODUCCION		
TURNO	EXTRUDER 1	EXTRUDER 2
1	50	80
2	45	80
3	45	75

Tabla 18. Parámetros antes utilizados. Maquina 9.
Elaboración propia.

Previo a los parámetros antes utilizados, en los tres turnos nos existe una estandarización referente a los parámetros de maquinaria. Es por ello, que se desarrolla la siguiente metodología del diseño de experimentos.

Aplicación de la metodología (DoE)

Planeación y realización

1. Entender y delimitar el problema u objeto de estudio.

La presente aplicación de la herramienta del DOE, está realizada para mejorar el proceso de peletizado, teniendo la mejor optimización de productividad de las maquinas, en la fábrica de Anguiplast S.A de C.V. para planta 1.

La planta industrial cuenta con 8 máquinas chinas para la fabricación de peletizado. Pero para el presente estudio se analizaran 6 máquinas, las cuales son, las maquinas 2, 3, 4, 6, 7 y 9. Donde, las máquinas 2, 3 y 4 funcionan bajo un sistema de alimentación manual y las máquinas 6, 7 y 9 funcionan bajo una alimentación por bandas. La diferencia entre dos tipos de máquinas es la carga del compactador. Por lo que, las máquinas de banda si lo tienen, en cambio las de alimentación manual no cuenta con uno por el tipo de sistema de alimentación.

El proceso bajo estudio es el que se encarga de hacer el peletizado. En dicho proceso, para que se realice el peletizado, se empieza por alimentar las maquinas con materia prima de bolsas de plástico recicladas, donde a su vez pasan por dos extruders que los funde a temperaturas altas, y el producto terminado sale en forma de lenteja.

Este proceso presenta problemas de productividad, y se requiere saber cuál es la máxima optimización de las maquinas. Donde también cae el desconocimiento de los parámetros que afecta al proceso de la manipulación de las velocidades de extruders, de carga del compactador y de los parámetros de corte.

Ante esta situación descrita se establece que entre los problemas que se tiene en el área de producción, donde esta carece de parámetros estandarizados y actualizados para hacer un correcto ajuste. Por lo que se puede generar la siguiente pregunta de investigación. ¿Cuáles son los parámetros de los ajustes para las máquinas de peletizado en base al diseño de experimentos DOE?

Por lo que, el problema formulado es: “La determinación de estandarizar los parámetros de ajuste en el equipo de maquinaria de peletizado en base al diseño de experimentos DOE para poder aumentar la productividad, en planta 1 de la empresa Anguiplast S.A de C.V.”

2. Esquema de estudio donde señale el problema planteado.

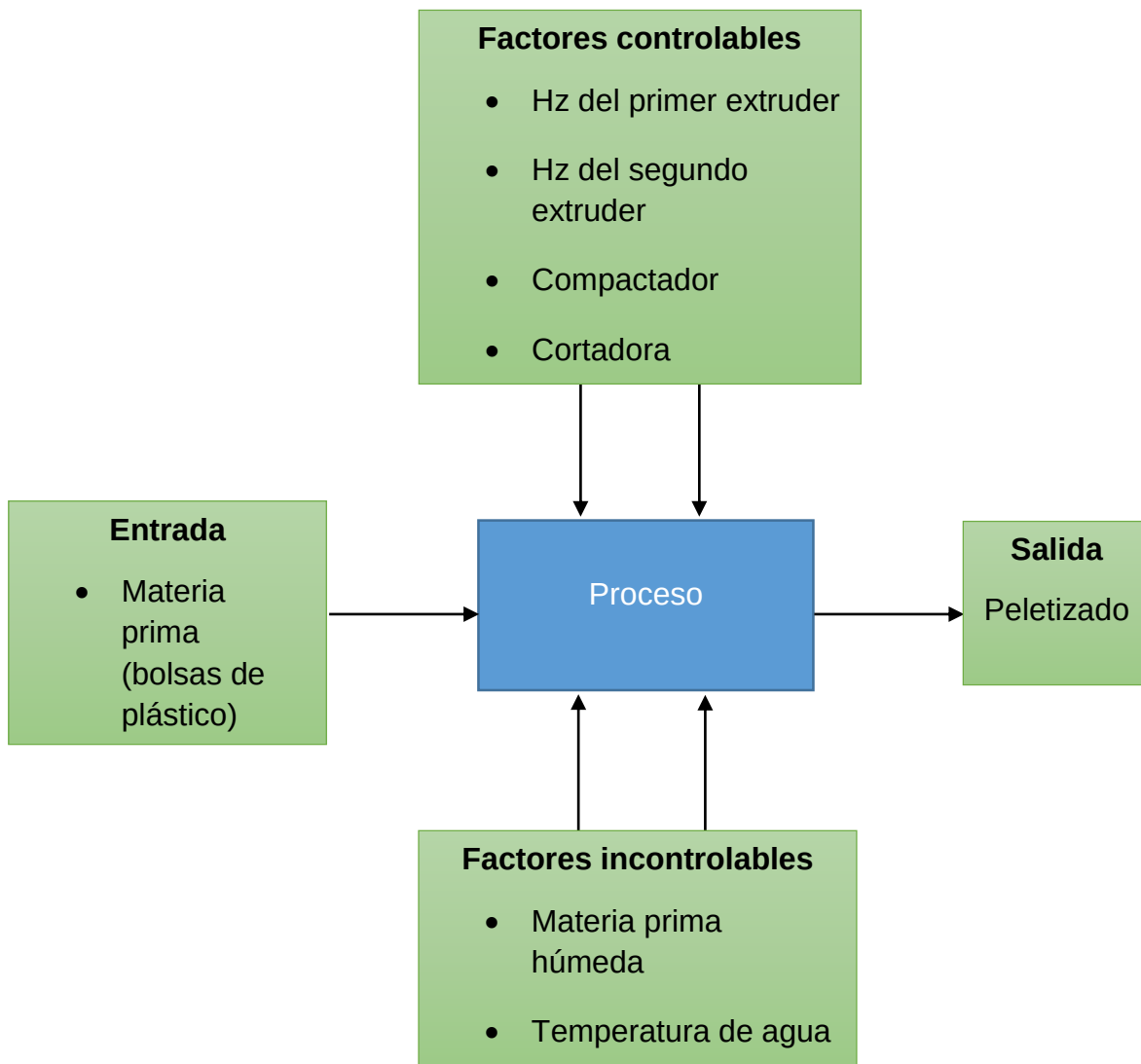


Figura 12. Esquema de estudio. Elaboración propia.

3. Elegir la(s) variable(s) de respuesta que será medida en cada punto del diseño y verificar que se mide de manera confiable.

La variable de respuesta elegida es el “kg de peletizado”. Se desea estudiar y poder controlar su variabilidad, lo cual es la característica del producto final cuyo valor nos interesa mejorar mediante el diseño de experimentos. Por lo que nos importa comparar las respuestas en diferentes niveles de observación de variables controladas.

4. Determinar cuáles factores deben estudiarse o investigarse, de acuerdo a la supuesta influencia que tiene sobre la respuesta.

La determinación de los factores que influyen en las variables de respuesta, se realizó mediante un listado de todos los posibles factores y junto con supervisores, operadores, jefa de producción y jefe de mantenimiento se fueron descartando uno a uno hasta poder obtener los valores definitivos para cada tipo de máquina.

Los factores que se han determinado a realizar el estudio, se presentan a continuación:

Para las primeras tres máquinas de alimentación manual, se consideraron los siguientes factores:

- ❖ Hz del primer y segundo extruders.
- ❖ Velocidad de corte.

Por lo tanto, para las máquinas de alimentación de banda, se consideraron los siguientes factores:

- ❖ Hz del primer y segundo extruders.
- ❖ Compactador.

Estos factores que se seleccionaron, son valores numéricos continuos. Por lo que se cuenta con carga del compactador, potencia de las máquinas y la velocidad de corte, donde pueden tomar valor respecto a un intervalo. Los factores antes mencionados influyen sobre la respuesta del “Kg de peletizado”

5. Seleccionar los niveles de cada factor, así como el diseño experimental adecuado a los factores que se tienen y al objetivo del experimento.

Basado en la experiencia del que se manejan las máquinas, se decidió trabajar para toda la experimentación con los rangos y niveles presentados en las siguientes tablas. A continuación se presentan las tablas para los dos tipos de máquinas, tanto de alimentación de banda y de alimentación manual.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	55-60	Hz
B: Extruder 2	25-27	Hz
C: Corte	17-22	Hz

Tabla 20. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	50-60	Hz
B: Extruder 2	45-50	Hz
C: Corte	28-30	Hz

Tabla 21. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	55-60	Hz
B: Extruder 2	30-38	Hz
C: Corte	19-20	Hz

Tabla 22. Niveles de los factores. Sistema de alimentación manual. Máquina 4.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	50-60	Hz
B: Extruder 2	49-50	Hz
C: Compactador	65-70	Hz

Tabla 23. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	50-60	Hz
B: Extruder 2	55-60	Hz
C: Compactador	60-63	Hz

Tabla 24. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

Factores	Niveles	Unidad
A: Extruder 1	50-60	Hz
B: Extruder 2	75-80	Hz

Tabla 25. Niveles de los factores. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.

Diseño experimental

Dada la importancia del diseño de experimentos, se realiza la propuesta de utilizar un diseño de experimentos factoriales 2^3 completo para las maquinas 2, 3, 4, 6, 7 y un 2^2 completo para la maquina 9. En donde estos incluyen todas las combinaciones posibles entre los niveles de cada factor, debido a su debida eficiencia y versatilidad.

En el diseño de experimentos se considera dos números de réplicas para puntos factoriales, por lo que se llevaran a cabo 16 corridas en total. Se decide aleatorizar el orden de los experimentos para tener la asignación del material experimental como el orden en que se realizan las pruebas individuales, es decir, se determinan aleatoriamente para que sirvan y se garanticen la validez de la estimación. Para la recolección de muestras, se establece que se eligiera los tres turnos completos para la experimentación, para cada condición de diseño experimental.

6. Planear y organizar el trabajo experimental.

Diseño de la hoja de trabajo.

A continuación (véase tabla 26 y tabla 27), se muestra el diseño de hoja de trabajo para las máquinas de sistema de alimentación manual y de alimentación de banda, en donde se especifica de manera clara cada una de las pruebas a realizar, así como el orden de corrida y la forma en que se medirán los resultados y como se colocaran los datos de la prueba. La presente hoja de trabajo, se pudo obtener con la ayuda del software Minitab, ya que esta herramienta se va trabajar para el diseño de experimentos.

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1	Extruder 2	Corte	Kg
5	1	1	1	-1	-1	1	
2	2	1	1	1	-1	-1	
3	3	1	1	-1	1	-1	
14	4	1	1	1	-1	1	
8	5	1	1	1	1	1	
4	6	1	1	1	1	-1	
11	7	1	1	-1	1	-1	
7	8	1	1	-1	1	1	
15	9	1	1	-1	1	1	
13	10	1	1	-1	-1	1	
6	11	1	1	1	-1	1	
9	12	1	1	-1	-1	-1	
1	13	1	1	-1	-1	-1	
10	14	1	1	1	-1	-1	
12	15	1	1	1	1	-1	
16	16	1	1	1	1	1	

Tabla 26. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación manual.

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Compactador	Kg
8	1	1	1	1	1	1	
4	2	1	1	1	1	-1	
3	3	1	1	-1	1	-1	
11	4	1	1	-1	1	-1	
9	5	1	1	-1	-1	-1	
10	6	1	1	1	-1	-1	
13	7	1	1	-1	-1	1	
1	8	1	1	-1	-1	-1	
16	9	1	1	1	1	1	
2	10	1	1	1	-1	-1	
12	11	1	1	1	1	-1	
7	12	1	1	-1	1	1	
15	13	1	1	-1	1	1	
14	14	1	1	1	-1	1	
5	15	1	1	-1	-1	1	
6	16	1	1	1	-1	1	

Tabla 27. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación de banda.

Plan de acción para el diseño de experimentos.

A continuación (véase tabla 28). Se desarrolló un plan de acción para llevar a cabo la herramienta, con las actividades a realizar y responsables. Donde posteriormente, se presenta un cronograma de actividades más detallado (véase tabla 29) donde se pusieron las fechas de inicio y las fechas de finalización para cada actividad.

El cuadro que se muestra y que esta relleno de color verde, significa que la actividad se realizó durante el plan de acción.

Plan de acción		
Actividad	Responsable	Estatus
Realizar una lista por código de material y orden de producción	Supervisión	●
Realizar la toma de muestras por máquina, con diferentes parámetros.	Supervisión/Resp. De Proy.	●
Capturar y ordenar muestras por máquina en software de Excel.	Resp. De Proy.	●
Capturar los datos ordenados en Minitab y ejecutar la herramienta DOE en el software para obtener los parámetros correctos.	Resp. De Proy. /Jefe de área	●
Ordenar en una tabla los parámetros correctos obtenidos por el software minitab.	Resp. De Proy.	●
Dar a conocer los parámetros al jefe de área.	Resp. De Proy.	●
Ejecutar los parámetros para cada máquina.	Supervisión/Resp. De Proy.	●
Realizar muestras con los parámetros correctos, ya establecidos.	Supervisión/Resp. De Proy.	●
Revisar el comportamiento de los parámetros.	Resp. De proy/Jefe de área	●
Mostrar reporte de resultados.	Resp. De Proy.	●

Tabla 28. Plan de acción para el diseño de experimentos. Elaboración propia.

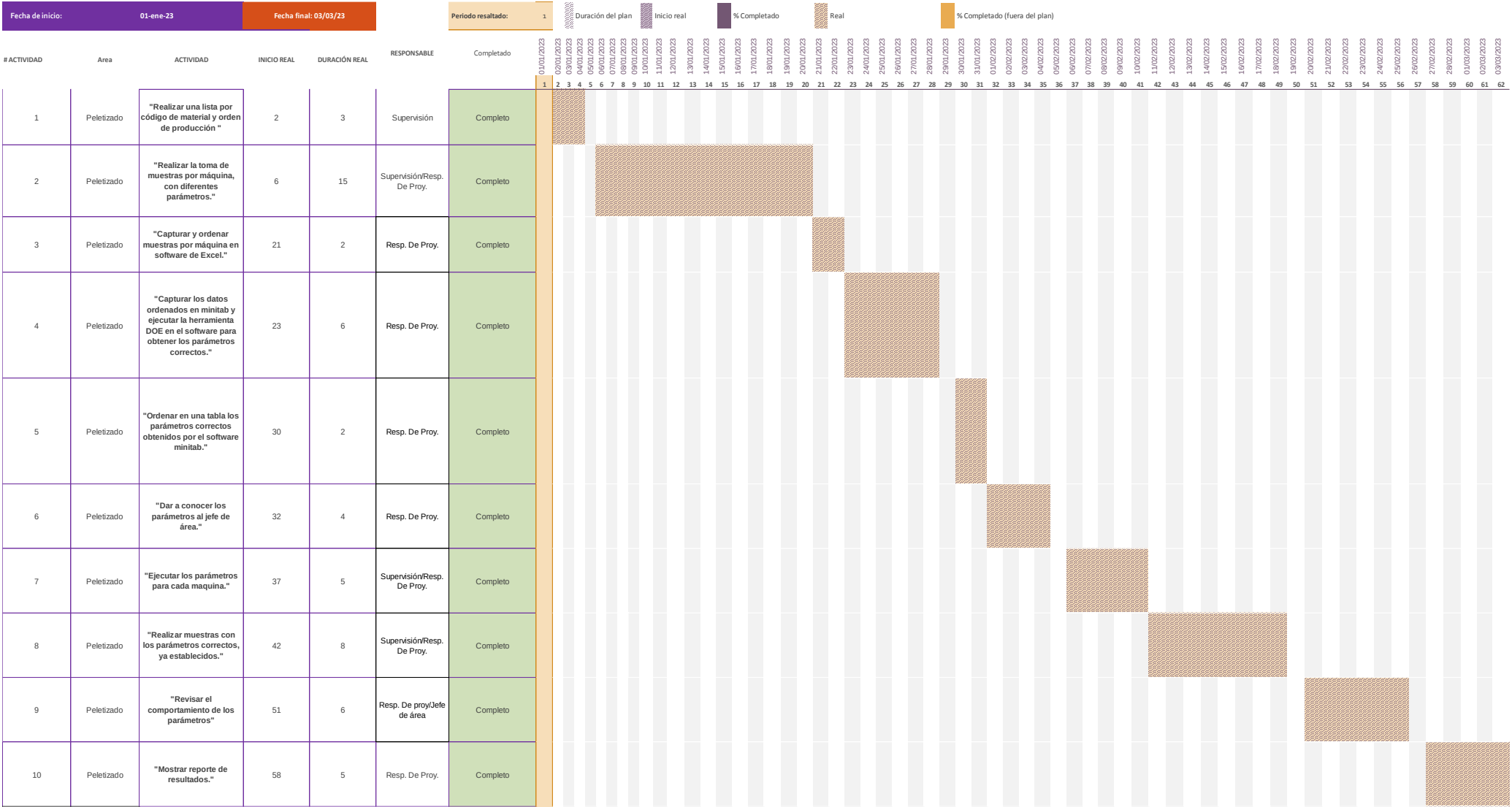


Tabla 29. Cronograma de actividades. Elaboración propia.

Definición de responsables de proyecto

Para la implementación del diseño de experimentos para que se llevara a cabo, los responsables de efectuar los muestreos, fue: el encargado de esta investigación, así como el jefe de mantenimiento. Ya que ellos llevaron a cabo la propuesta de implementación. Teniendo el apoyo de los operadores, debido a que ellos son los que trabajan con las operaciones de las máquinas. Como por otro lado, se integró a la jefa de producción para presentar mejoras dentro del proceso. Y para que se llevará a cabo dichas pruebas de experimentación.

Instrucciones específicas

Para la realización de cada muestro tiene que ser necesario a que las condiciones de operación se establezcan, es decir, que el proceso tenga una estabilidad. Esto con la finalidad para tener resultados reales y no pueda haber ningún problema.

Como por otro lado, se deben de anotar todas las incidencias o a anomalías que puedan afectar durante el diseño de experimentos.

Detalle de logística, días, horas, materiales que se utilizaran y maquinas donde se harán las pruebas del diseño de experimento.

Las pruebas se realizaron en fechas que se indicaron en el cronograma de actividades (véase tabla 29) para los muestreos y tipos de actividades, de igual manera se pudo realizar en fechas que no se tuvieron entrega de pedidos a clientes, ya que en esas fechas no hay demasiado tiempo como para realizar experimentos.

Las pruebas se realizaron en las dos tipos de máquinas chinas que tiene la empresa, las cuales son en las máquinas de alimentación de banda y alimentación manual.

Los materiales a utilizar, son: cronometro, costal para las diferentes muestras.

Prever algunas posibles contingencias que podrían ocurrir durante el experimento.

A la hora de realizar el experimento, fue de gran importancia tener en cuenta que se deben de tener cuidado con el tipo de material con la que se alimentaba la máquina, ya que puede ser un material que pueda estar húmedo y no se pudiera controlar. Es necesario que si se encontraba material con humedad, no se pueda realizar el experimento ya que podrá tener algunos fallos frente a la variable que se está analizando. Como de igual manera, se tuvo cuidado con los tipos de contaminantes que puedo haber traído el material. Ya que, si traía un material con la contaminación de PVC, que es una de los principales contaminantes en la máquina de banda, tendía a ocurrir que el experimento no se hubiera controlado y tener una falla en el proceso.

7. Realizar el experimento

Con la hoja de recolección de datos que había sido previamente diseñada para poder realizar las muestras de cada máquina (véase tabla 26 y tabla 27). Los presentes resultados obtenidos se muestran a continuación **(véase tabla 30 a tabla 35)**. Por lo que se puede apreciar, que hay resultados muy buenos y otros lo contrario un poco malos.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
MÁQUINA: 2		ANGUIPLAST S.A DE C.V					
AREA: PELETIZADO							
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN							
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Corte	Kg
10	1	1	1	60	25	17	4.09
16	2	1	1	60	27	22	4.4
4	3	1	1	60	27	17	4.74
3	4	1	1	55	27	17	3.355
8	5	1	1	60	27	22	4.925
13	6	1	1	55	25	22	4.254
14	7	1	1	60	25	22	4.24
12	8	1	1	60	27	17	4.605
1	9	1	1	55	25	17	3.19
9	10	1	1	55	25	17	3.375
11	11	1	1	55	27	17	3.445
7	12	1	1	55	27	22	4.155
5	13	1	1	55	25	22	4.36
2	14	1	1	60	25	17	4.19
15	15	1	1	55	27	22	4.365
6	16	1	1	60	25	22	4.72

Tabla 30. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
MÁQUINA: 3		ANGUIPLAST S.A DE C.V					
AREA: PELETIZADO							
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN							
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Corte	Kg
4	1	1	1	60	50	28	4.26
7	2	1	1	50	50	30	3.396
14	3	1	1	60	45	30	4.415
10	4	1	1	60	45	28	4.325
8	5	1	1	60	50	30	3.887
3	6	1	1	50	50	28	3.672
6	7	1	1	60	45	30	4.65
1	8	1	1	50	45	28	4.42
2	9	1	1	60	45	28	4.355
16	10	1	1	60	50	30	3.45
9	11	1	1	50	45	28	4.43
5	12	1	1	50	45	30	4.35
11	13	1	1	50	50	28	4.02
13	14	1	1	50	45	30	4.47
12	15	1	1	60	50	28	3.99
15	16	1	1	50	50	30	3.54

Tabla 31. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
MÁQUINA: 4		ANGUIPLAST S.A DE C.V					
AREA: PELETIZADO							
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN							
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Corte	Kg
12	1	1	1	60	38	19	6.69
14	2	1	1	60	30	20	6.78
3	3	1	1	55	38	19	6.755
13	4	1	1	55	30	20	6.475
15	5	1	1	55	38	20	6.745
8	6	1	1	60	38	20	7.735
2	7	1	1	60	30	19	6.845
1	8	1	1	55	30	19	5.98
9	9	1	1	55	30	19	5.735
5	10	1	1	55	30	20	6.53
11	11	1	1	55	38	19	6.545
16	12	1	1	60	38	20	7.41
7	13	1	1	55	38	20	6.96
4	14	1	1	60	38	19	7.195
10	15	1	1	60	30	19	6.875
6	16	1	1	60	30	20	6.93

Tabla 32. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación manual. Máquina 4..

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
MÁQUINA: 6		ANGUIPLAST S.A DE C.V					
AREA: PELETIZADO							
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN							
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Compactador	Kg
3	1	1	1	50	50	65	5.045
14	2	1	1	60	49	70	6.95
8	3	1	1	60	50	70	7.3
7	4	1	1	50	50	70	6.405
4	5	1	1	60	50	65	6.32
9	6	1	1	50	49	65	4.885
2	7	1	1	60	49	65	4.845
12	8	1	1	60	50	65	6.42
1	9	1	1	50	49	65	3.418
5	10	1	1	50	49	70	6.105
11	11	1	1	50	50	65	5.675
16	12	1	1	60	50	70	7.15
6	13	1	1	60	49	70	6.85
13	14	1	1	50	49	70	5.91
15	15	1	1	50	50	70	6.415
10	16	1	1	60	49	65	4.98

Tabla 33. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS							
MÁQUINA: 7		ANGUIPLAST S.A DE C.V					
AREA: PELETIZADO							
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN							
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Compactador	Kg
5	1	1	1	50	55	63	6.89
13	2	1	1	50	55	63	6.68
2	3	1	1	60	55	60	6.845
12	4	1	1	60	60	60	7.32
11	5	1	1	50	60	60	6.915
4	6	1	1	60	60	60	6.605
3	7	1	1	50	60	60	6.22
7	8	1	1	50	60	63	6.85
16	9	1	1	60	60	63	7.38
14	10	1	1	60	55	63	6.75
9	11	1	1	50	55	60	4.935
10	12	1	1	60	55	60	6.67
15	13	1	1	50	60	63	6.835
6	14	1	1	60	55	63	6.755
8	15	1	1	60	60	63	7.21
1	16	1	1	50	55	60	4.535

Tabla 34. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.

HOJA DE RECOLECCIÓN DE DATOS						
MÁQUINA: 9		ANGUIPLAST S.A DE C.V				
AREA: PELETIZADO						
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN						
OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Kg
7	1	1	1	50	80	5.465
6	2	1	1	60	75	7.015
9	3	1	1	50	75	4.6
16	4	1	1	60	80	7.91
11	5	1	1	50	80	6.56
14	6	1	1	60	75	7.705
5	7	1	1	50	75	4.735
13	8	1	1	50	75	4.965
15	9	1	1	50	80	5.365
3	10	1	1	50	80	6.895
1	11	1	1	50	75	4.85
4	12	1	1	60	80	7.73
12	13	1	1	60	80	7.72
2	14	1	1	60	75	7.55
10	15	1	1	60	75	7.41
8	16	1	1	60	80	8.07

Tabla 35. Hoja de recolección de datos. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.

8. Hacer un análisis detallado de los resultados experimentales

Antes de comenzar con el análisis de resultados, se debe de recordar que el análisis debe ser iterativo, por lo que se presentan los resultados finales. Este análisis fue realizado con la ayuda del software Minitab, para poder realizar los cálculos y las gráficas necesarias para dicho experimento.

Para esta aplicación del análisis, como ya se había mencionado anteriormente, la variable que se está analizando es el Kg de peletizado, esto para las diferentes máquinas. Por lo que este punto, solo incluye el análisis de la respuesta que se está estudiando.

En las figuras siguientes (véase figura 13 a figura 18), se pueden apreciar los diagramas de Pareto de cada máquina, donde nos puede dar información de las variables que son significativos. Posteriormente se realiza una ANOVA, el cual es un método más formal, es decir, estadísticamente y preciso. El análisis de ANOVA es importante, porque nos dice si los factores que se han seleccionado son significativos o no para la variable de respuesta, es decir, si tiene o no relación cada uno de los factores.

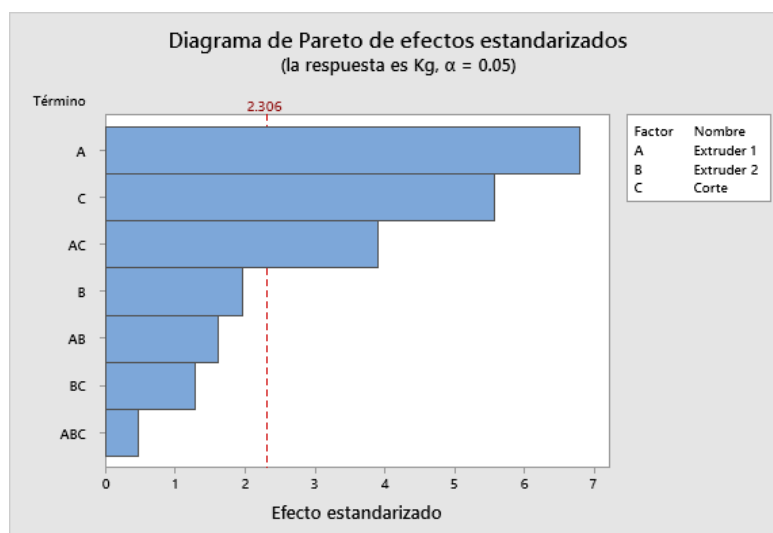


Figura 13. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 2.

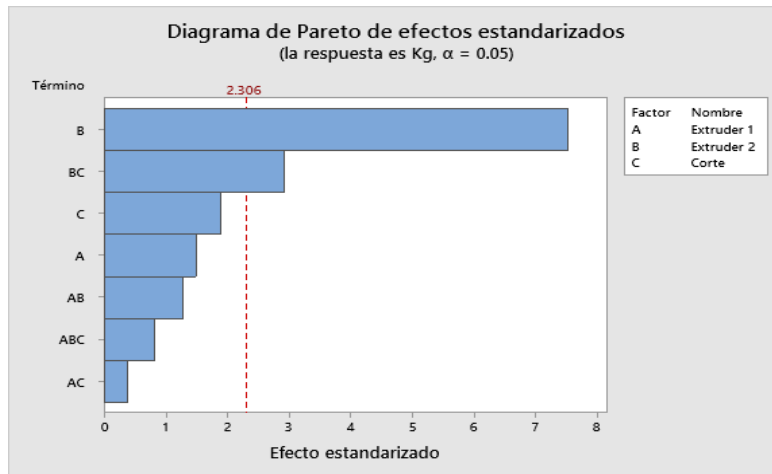


Figura 14. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 3.

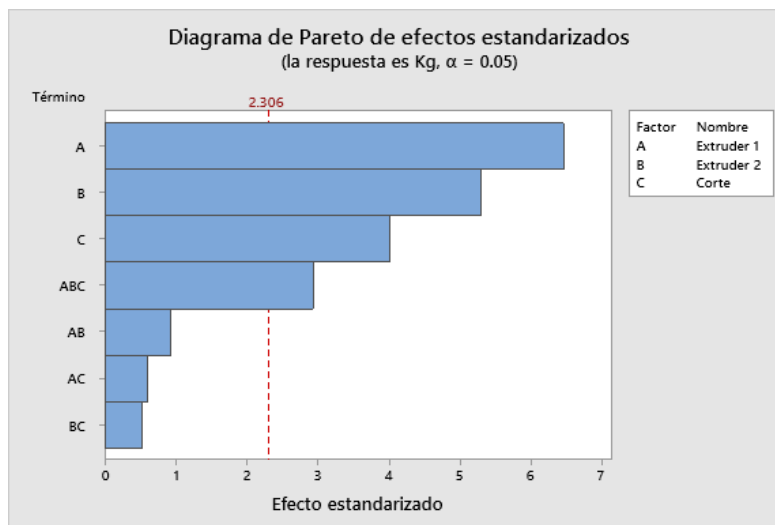


Figura 15. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 4.

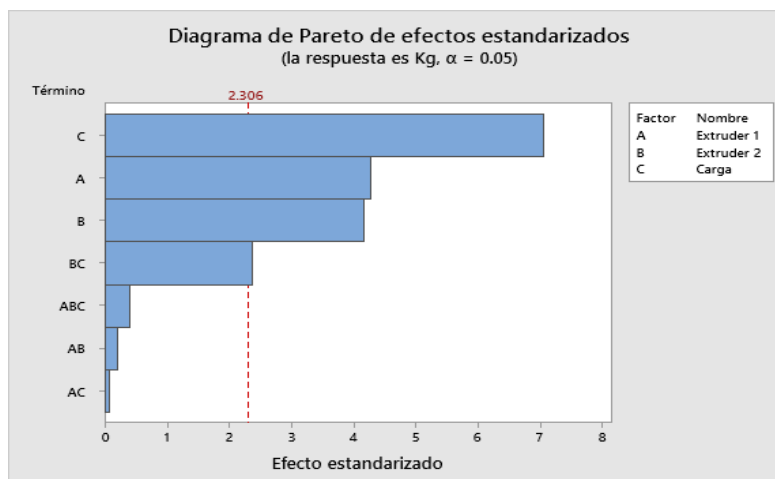


Figura 16. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 6.

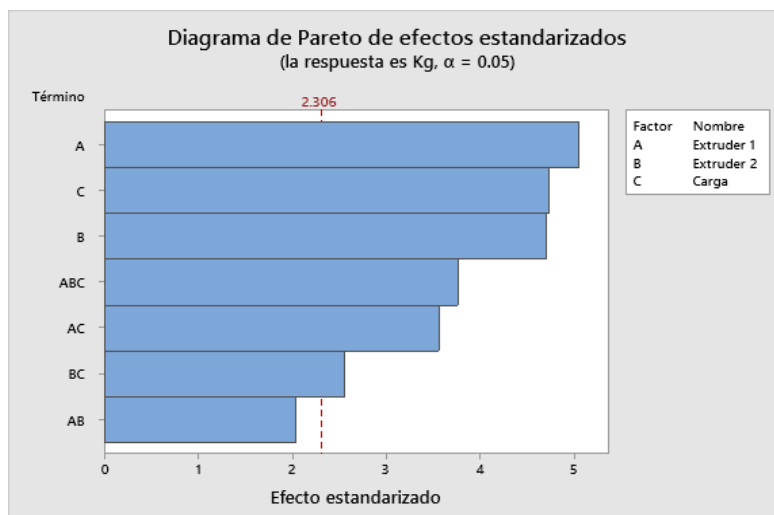


Figura 17. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 7.

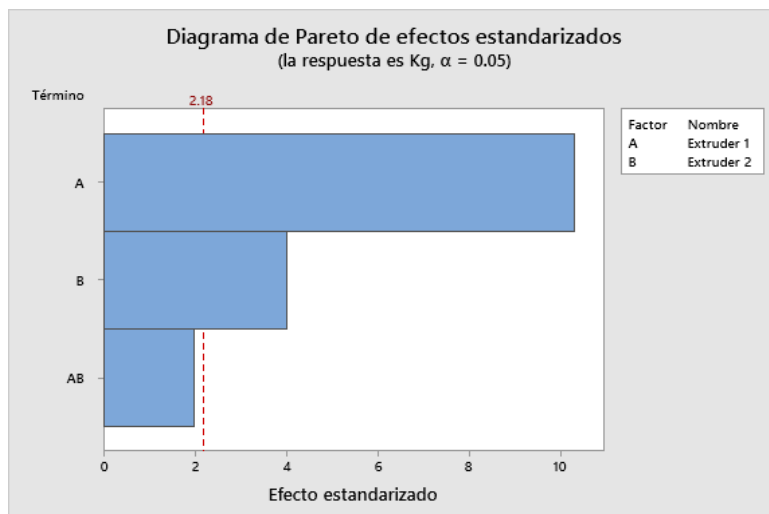


Figura 18. Diagrama de Pareto de efectos estandarizados. Máquina 9.

Lo primero que se obtiene del análisis, es un modelo que nos relaciona todas la variables que se incluyeron dentro del experimento, la interpretación de los resultados obtenidos es un poco compleja, ya que existen varias interacciones significativas dentro del experimento. Para ello, se utilizaron las gráficas de interacción que nos ayudan a interpretar los resultados de cada una de los equipos. (Ver Figuras de graficas de interacción).

Como por otro parte, se analizó las gráficas de la normal. Lo cual se puede decir, que todos los datos siguen una distribución normal. De igual forma, se analizó la

optimización de respuesta. Por lo que esto nos permite determinar cuáles son los parámetros importantes y cuáles no. Donde se realiza el análisis de nuestro diseño de experimentos para poder optimizarlo, y así poder encontrar la configuración exacta de parámetros que nos garantizan poder tener un resultado favorable.

Los modelos obtenidos para cada experimento en cada una de las máquinas, se ajustan con un R^2 arriba del 90%, lo cual se puede decir que si es suficiente para realizar esta aplicación.

Luego de analizar los resultados de cada una de las máquinas de peletizado, se puede observar en las siguientes graficas de efectos principales:

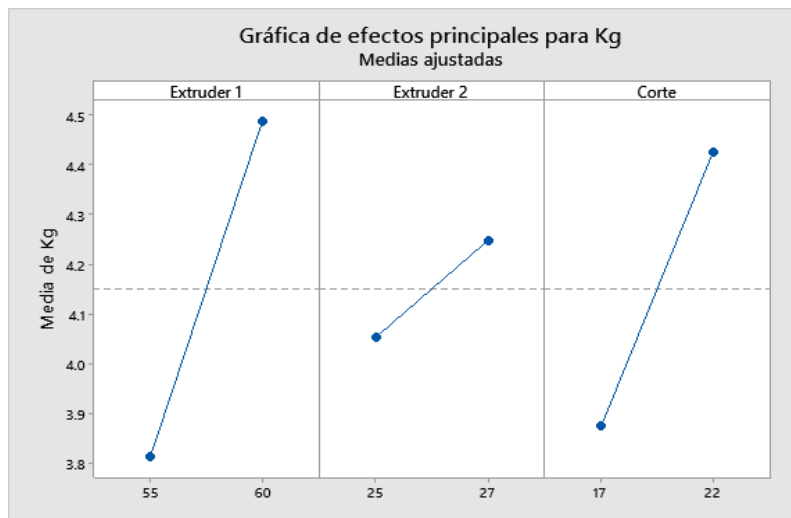


Figura 19. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.

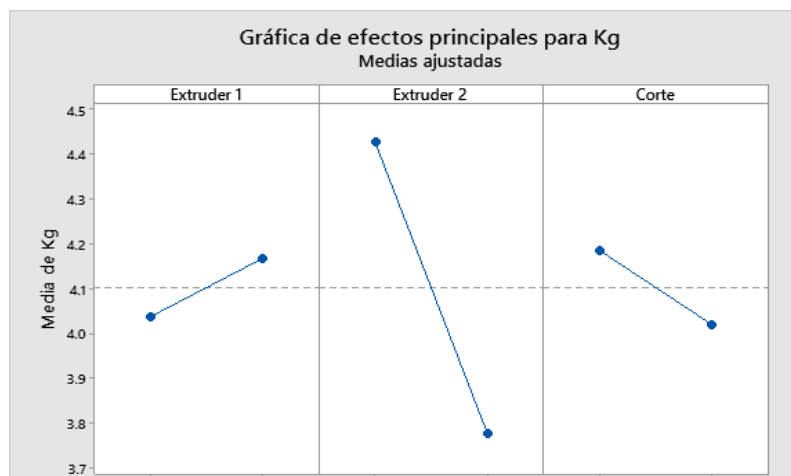


Figura 20. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.

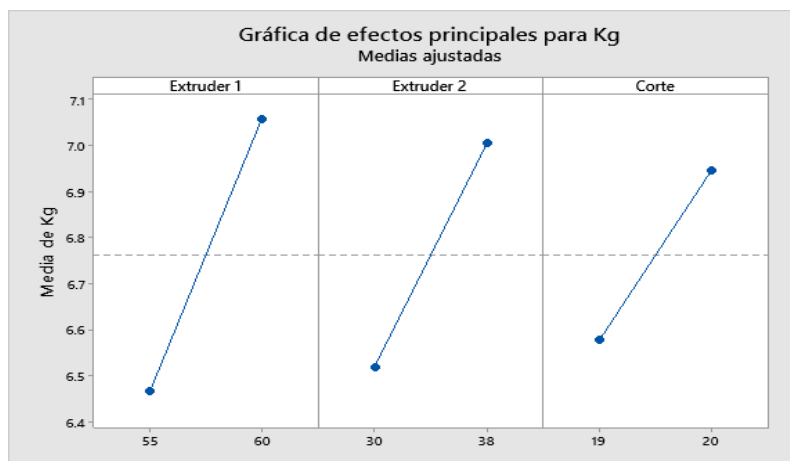


Figura 21. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación manual. Máquina 4.

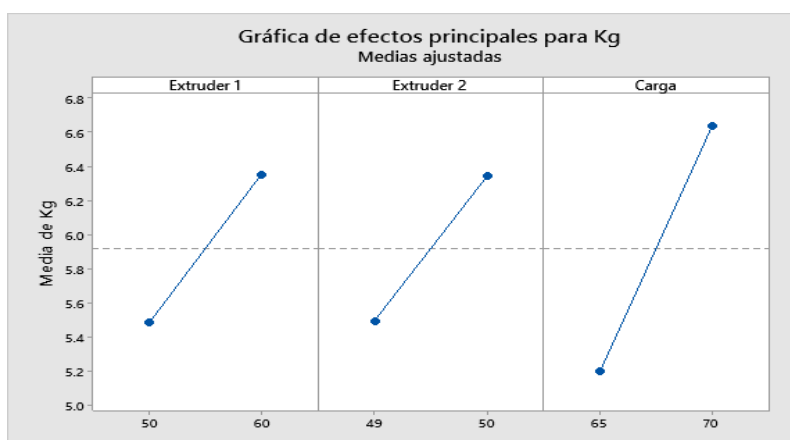


Figura 22. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

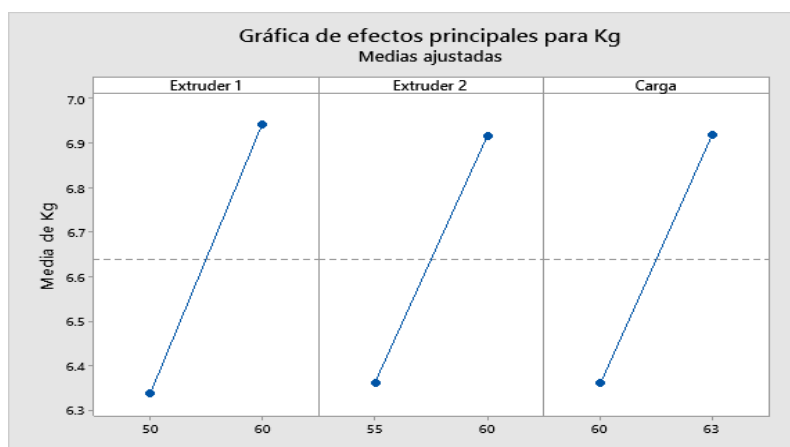


Figura 23. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.

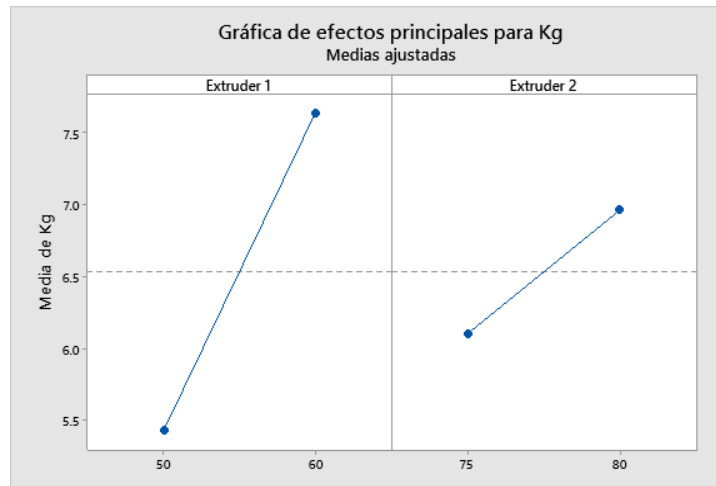


Figura 24. Gráfica de efectos principales. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.

Analizando las siguientes gráficas de interacción (véase figura 25 a figura 30), se puede interpretar los resultados más extensivos, de manera que se pueda cumplir con los objetivos de la experimentación. En las siguientes figuras, se puede mostrar las gráficas de interacción de cada una de las máquinas.

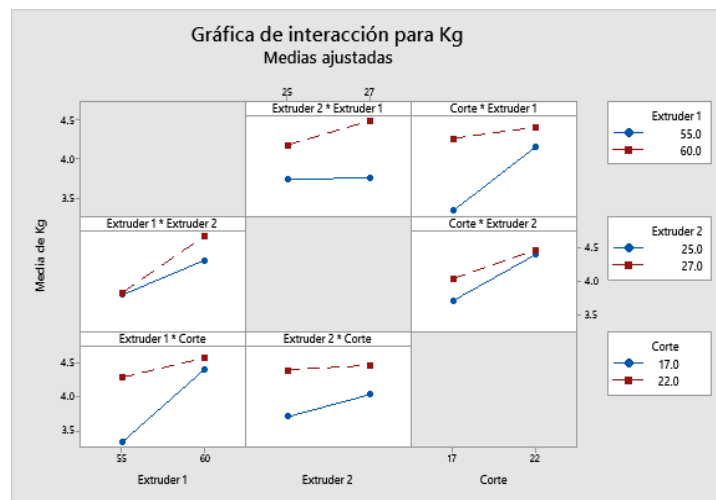


Figura 25. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.

Para la maquina 2. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A), en el extruder 2 (27 Hz), factor (B) y corte (17 Hz), factor (C). Con una productividad en promedio de 4.67 kg/min.

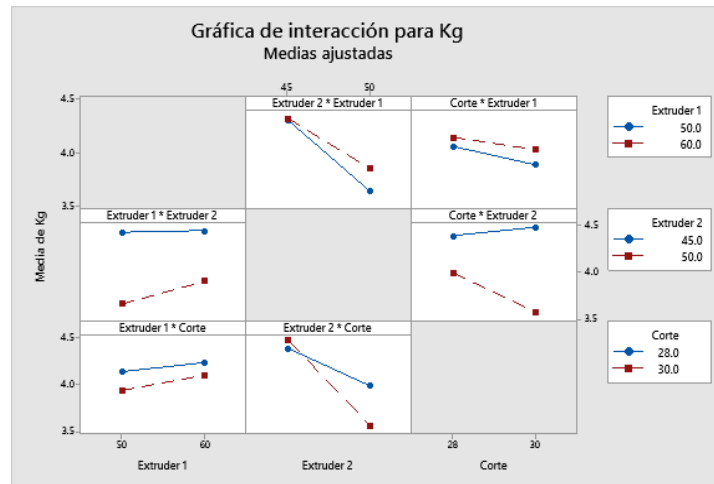


Figura 26. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual.
Máquina 3.

Para la maquina 3. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A) y el extruder 2 (45 Hz), factor (B) y corte (30 Hz), factor (C). Con una productividad en promedio de 4.53 kg/min.

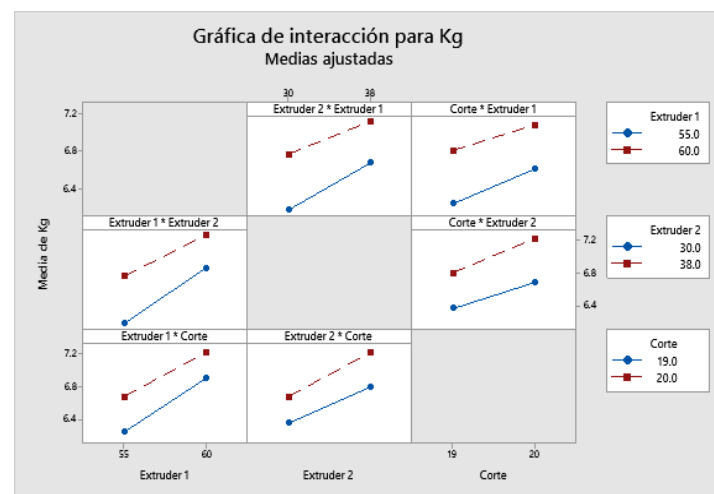


Figura 27. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación manual.
Máquina 4.

Para la maquina 4. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A) y el extruder 2 (38 Hz), factor (B) y corte (20 Hz), factor (C). Con una productividad en promedio de 7.57 kg/min.

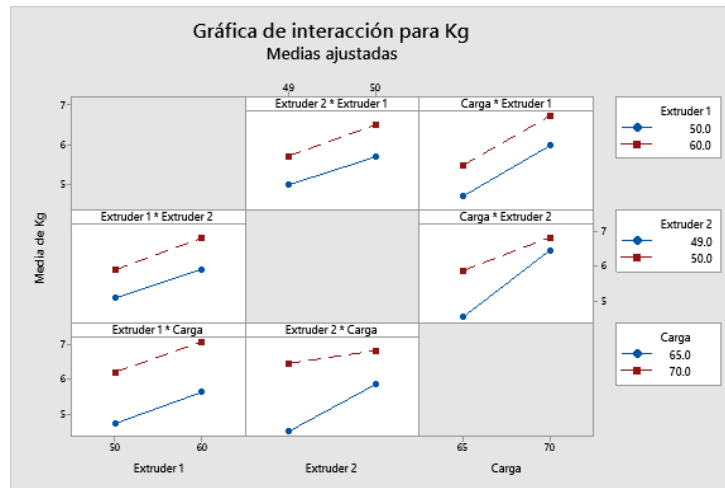


Figura 28. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

Para la maquina 6. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A) y el extruder 2 (50 Hz), factor (B) y compactador (70 Hz), factor (C). Con una productividad en promedio de 7.22 kg/min.

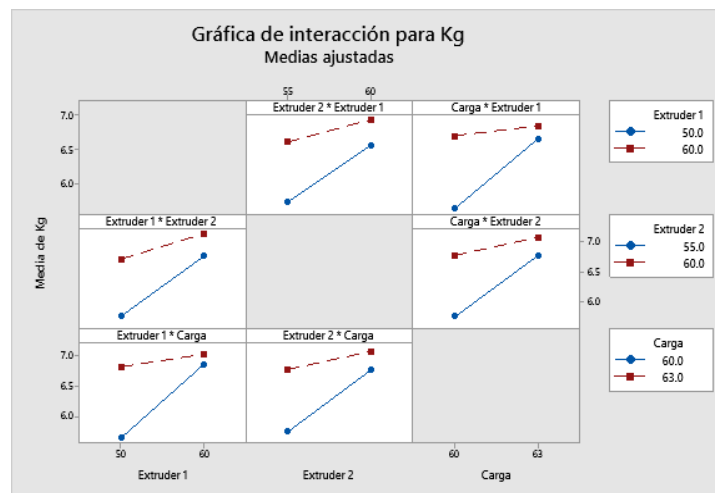


Figura 29. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.

Para la maquina 7. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A) y el extruder 2 (60 Hz) factor (B) y compactador (63 Hz), factor (C). Con una productividad en promedio de 7.29 kg/min.

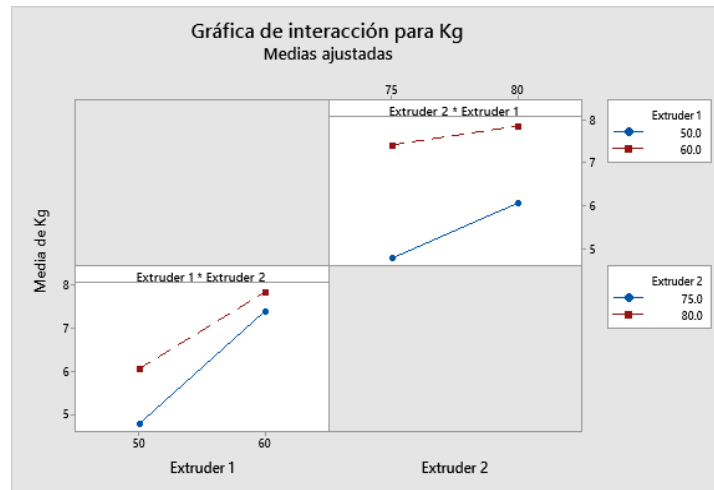


Figura 30. Gráfica de interacción. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.

Por último, para la maquina 9. La mejor interacción se da en el extruder 1 (60 Hz), factor (A) y el extruder 2 (80 Hz), factor (B). Con una productividad en promedio de 7.85 kg/min.

9. Interpretar los resultados.

Una vez calculado todos los efectos posibles, se deben estudiar cuáles de ellos son estadísticamente significativos. Lo cual significa que se puede asegurar con una baja probabilidad de error, lo que un factor influye realmente en la respuesta del experimento.

Por lo que, el método tradicional para poder realizar esta actividad se llama Análisis de varianza (ANOVA) para cada uno los experimentos de los equipos. Un análisis formal a través de ANOVA, mostraron valores significativos para los diferentes equipos que se están analizando. Por lo que en efecto principal si hay valores significativos y que influyen en la variable de respuesta. Y se da una interpretación que, entre más alto estén los Hz de las maquinas que se realizó el estudio, tiene un incremento en la variable de respuesta de kg.

Por consiguiente, al tener una unidad de frecuencia (Hz) baja para los dos extruders, en promedio arrojará un kg bajo, como por otro lado si se tiene un nivel alto de unidad de frecuencia (Hz), se tendrá una respuesta alta referente al kg.

De acuerdo a las figuras que se mostraran en el apartado anterior (graficas de Pareto, véase figura 13 a figura 18). Los análisis gráficos nos indican que los factores significativos son los siguientes: Máquina 2, extruder 1 (A), corte(C), extruder 1 y corte (AC). Máquina 3, extruder 2 (B), extruder 2 y corte (BC). Máquina 4, extruder 1 (A), extruder 2 (B), corte (C), extruder 1, 2 y corte (ABC). Máquina 6, compactador (C), extruder 1 (A), extruder 2 (B) extruder 2 y compactador (BC). Máquina 7, extruder 1 (A), compactador (C), extruder 2 (B), extruder 1, 2 y compactador (ABC), extruder 1 y compactador (AC), extruder 2 y compactador (BC). Máquina 9, extruder 1 (A), extruder 2 (B). De igual manera, existe el mismo efecto principal de significancia y la influencia en la variable de respuesta. Entre más alto estén los Hz de los extruders, mayor será el incremento de la variable de respuesta (kg).

Las gráficas de interacción (véase figura “25” a figura “30”) nos pueden indicar que variables son las más óptimas para poder lograr el objetivo. Es decir cuál será el mejor tratamiento, cuál será la mejor combinación. Si lo que se quiere es optimizar los kg/min de cada máquina. Lo cual nos indica que unidad de frecuencia (Hz), velocidad de corte y que tipo de carga poder utilizar para que nos pueda dar como resultado la mayor respuesta promedio referente a los kg que se está llevando a cabo el experimento.

Por consiguiente, las soluciones que se proponen para operar el proceso y así poder optimizar la productividad de cada una de las máquinas. Son las siguientes (véase tabla 36 a tabla 41):

MÁQUINA: 2		CÓDIGO: 9002 ALTA DENSIDAD VITABAG KRAFT IMPRESO			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Corte	Kg Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	60	27	17	4.6725	0.854467

Tabla 36. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 2.

MÁQUINA: 3		CÓDIGO: 4027 BAJA DENSIDAD NEGRO MERMA DE CASA			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Corte	Kg Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	60	45	30	4.5325	0.9063

Tabla 37. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 3.

MÁQUINA: 4		CÓDIGO: 1006 ALTA DENSIDAD CASA NEGRO			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Corte	Kg Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	60	38	20	7.5725	0.91875

Tabla 38. Solución. Sistema de alimentación manual. Máquina 4.

MÁQUINA: 6		CÓDIGO: 4002 BAJA DENSIDAD NATURAL B DE CASA			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Carga	Kg Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	60	50	70	7.225	0.98068

Tabla 39. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 6.

MÁQUINA: 7		CÓDIGO: 4009 BAJA DENSIDAD COLOR DEFINIDO			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Carga	Kg Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	60	60	63	7.295	0.970123

Tabla 40. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 7.

MÁQUINA: 9		CÓDIGO: 4001 BAJA DENSIDAD NEGRO DE CASA			
AREA: PELETIZADO		ANGUIPLAST S.A DE C.V			
DEPARTAMENTO: PRODUCCIÓN					
Solución	Extruder 1	Extruder 2	Kg Ajuste		Deseabilidad compuesta
1	60	80	7.8575		0.938761

Tabla 41. Solución. Sistema de alimentación por banda. Máquina 9.

De acuerdo al análisis de los resultados, las soluciones anteriores son los parámetros establecidos que se deberán de manejar para las máquinas de tipo de sistema de alimentación manual y de alimentación por banda. El software nos permitió dar las soluciones para poder tener una optimización de cada equipo y así tener una estandarización y mayor productividad de cada máquina para los tres turnos que trabajan en la planta.

10. Hacer corridas confirmatorias del proceso en el mejor tratamiento.

Debido a que las máquinas están teniendo fallas, no se podrá emplear suficientes repeticiones. Por lo que cuando se hizo la realización del experimento se pudo obtener el mejor tratamiento que se debe de ejecutar para cada máquina.

11. Cerrar y concluir el proyecto adecuadamente.

El llevar a cabo como aplicación de la herramienta DOE, se puede llevar un enfoque positivo para dirigir cada problema, ya que va poder permitir ordenar la experimentación para así tener conclusiones objetivas de análisis.

Con los resultados que se obtuvieron durante la experimentación, se pudo realizar esta actividad que concluye con las ideas de presentación para implementación en el área producción. En este proyecto se incluyeron algunos detalles que se pueden utilizar para poder corregir los parámetros correctos dentro del área de producción y así mejorar el proceso de peletizado, teniendo la mejor optimización de productividad de las máquinas, en la fábrica de Anguiplast S.A de C.V. para planta 1.

Una de las principales conclusiones del análisis de este proyecto, es que modificando los parámetros establecidos de cada máquina, es posible obtener una optimización significativa de los Hz. La influencia de los extruders es fundamental. Con la modificación de estos parámetros además, se puede conseguir una mayor estabilidad y tener una menor variabilidad dentro del proceso. Finalmente, el conocimiento adquirido sobre el proceso, hace que las actuaciones sean más efectivas.

Plan de capacitación

A continuación. Se desarrolló un plan de capacitación, para el uso de parámetros de maquinaria para los trabajadores (véase figura 31).

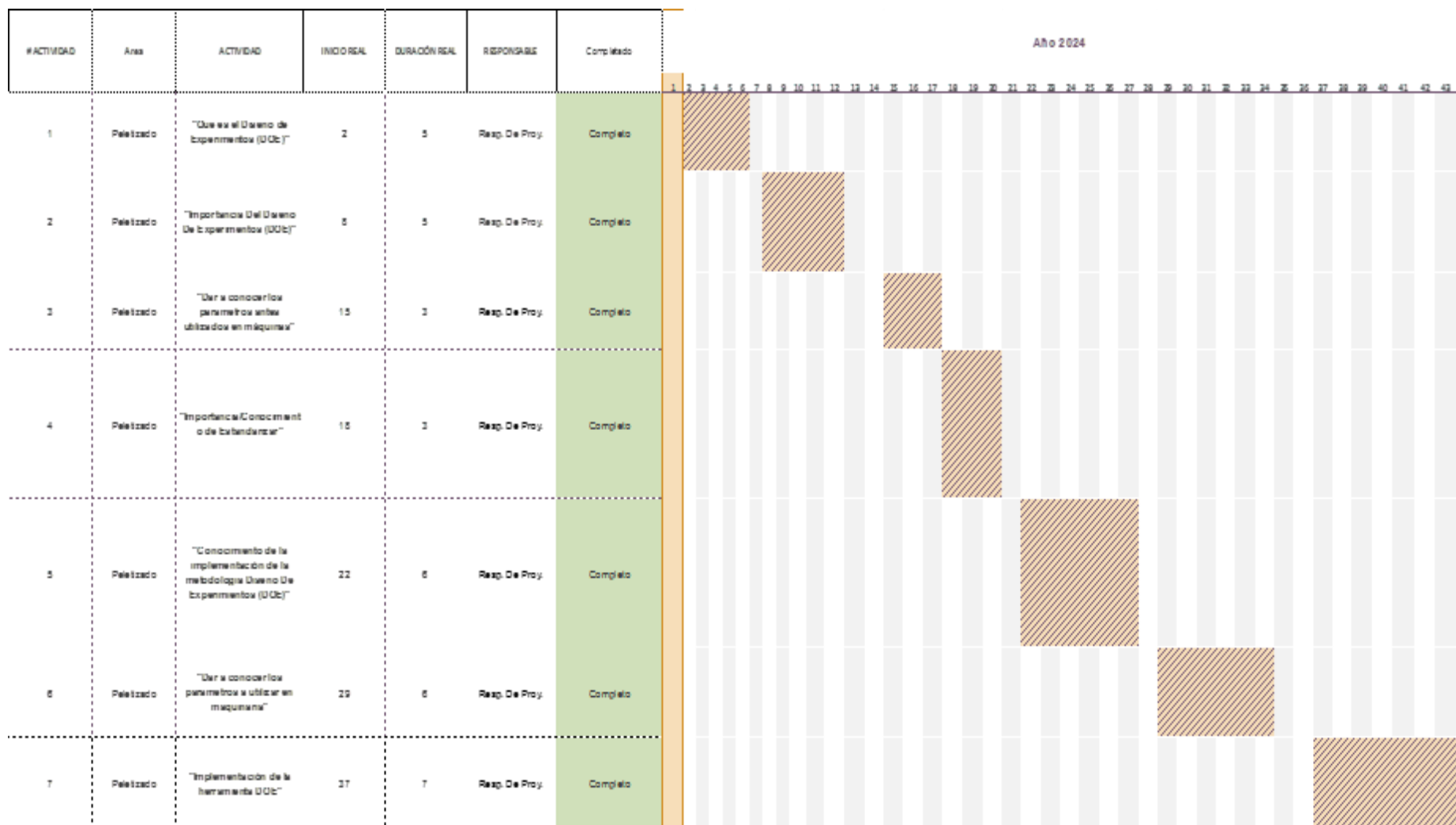


Figura 31. Plan de capacitación para los trabajadores. Elaboración propia.

Resultados y discusión.

Dado a la implementación del diseño de experimentos, se pudo reunir con el jefe de mantenimiento. Con la finalidad de poder plantear bien el proceso de implementación y poder tener la visión de los resultados que se pudieran obtener de acuerdo al objeto de estudio del DoE. Por lo que se estimó la cantidad a producir a un 21.22% con el diseño de experimentos. Por lo que se presentan los siguientes datos:

Eficiencia

	TIEMPO REAL (HRS)	TIEMPO DISPONIBLE (HRS)	EFICIENCIA
ANTES	176.64	192	92%
DESPUES	185.47	192	96.60%

$$Eficiencia\ proyectada = \frac{Tiempo\ real}{Tiempo\ disponible} \times 100$$

$$Eficiencia\ proyectada = \frac{185.47\ hrs}{192} \times 100$$

$$Eficiencia\ proyectada = 96.60\%$$

Variación de la eficiencia

$$V.de\ la\ eficiencia = Eficiencia\ proyectada - Eficiencia\ actual$$

$$V.de\ la\ eficiencia = 95.59\ \% - 92\ \%$$

$$V.de\ la\ eficiencia = 4.60\%$$

Eficacia

De acuerdo con el diseño de experimentos (DOE).

	CANTIDAD PRODUCIDA (TON)	CANTIDAD PROYECTADA (TON)	EFICACIA
ANTES	43,967	58,500	75.16%
DESPUES	56,383.20	58,500	96.38%

A continuación se presentan el cálculo de la eficacia estimada:

$$Eficacia\ proyectada = \frac{Cantidad\ producida\ estimada}{Cantidad\ proyectada} \times 100$$

$$Eficacia\ proyectada = \frac{56,383.20}{58,500} \times 100$$

$$Eficacia\ proyectada = 96.38\%$$

Se presenta la variación de la eficacia:

$$V.de\ la\ eficacia = Eficacia\ proyectada - Eficacia\ actal$$

$$V.de\ la\ eficacia = 96.38\% - 75.16\%$$

$$V.de\ la\ eficacia = 21.22\%$$

Calculo de la productividad

	EFICIENCIA	EFICACIA	PRODUTIVIDAD
ANTES	92%	75.16%	69.14%
DESPUES	96.60%	96.38%	93.10%

A continuación se presenta el cálculo de la productividad estimada.

$$Productividad\ proyectada = Eficiencia \times Eficacia$$

$$Productividad\ proyectada = (96.60\%) \times (96.38)$$

$$Productividad\ proyectada = 93.10\%$$

Calculo de la variación de la productividad:

$$V. de la productividad = productividad proyectada - productividad actual$$

$$V. de la productividad = 93.10\% - 69.14\%$$

$$V. de la productividad = 23.96\%$$

De acuerdo a los resultados presentados anteriormente, se tiene el estimado de productividad, teniendo en cuenta en poder utilizar los parámetros que ya se mencionaron para cada máquina y así poder tener un resultado estable.

Conclusiones y recomendaciones

Se concluye, que con la herramienta utilizada, diseño de experimentos (DOE). Y de acuerdo con los resultados proyectados que se mostraron anteriormente, y de poder evaluar la herramienta. Se puede obtener un aumento de productividad de 69.14% a 93.10%, lo que conlleva a tener una aumento de productividad del 23.96% del proceso bajo estudio.

Se concluye que, teniendo la utilización del diagrama de Pareto como una herramienta de diagnóstico, se pudo lograr e identificar cual era la principal causa dentro del proceso de peletizado y poder atacar dicho problema con la herramienta ya prevista.

Teniendo la problemática ya identificada y teniendo un análisis más a fondo, se pudieron obtener los parámetros controlables para cada una de las máquinas y/o equipos del proceso. Esto con la finalidad de tener una estandarización para cada una de ellas y contar con un proceso optimo dentro del proceso.

Con la propuesta de aplicación del diseño de experimentos (DOE), se determinó que, se tiene una optimización de un 21.22% más de cantidad a producir, esto referente a la cantidad producida que se tenía anteriormente. Esto muestra una mejora dentro de la eficacia, este resultado es muy referente a un número positivo para el proceso de peletizado.

Referente al mapeo del proceso de peletizado, nos dio un entendimiento del 95% de las actividades que se ocupan del proceso de peletizado. Se dio una gran apertura del funcionamiento de las actividades previas.

De acuerdo al trabajo estándar. Se realizó un estudio de tiempos. Donde nos permitió mejorar las actividades de cada operador para cada una de las máquinas. Para las operaciones de la máquina de sistema de alimentación de banda, se tenían anteriormente 17 actividades generalizadas. Proponiendo la herramienta de trabajo estándar se actualizaron las actividades que debería de cumplir los operadores, realizando la eliminación del 47% de todas aquellas actividades sin valor agregado. Dentro de las operaciones de alimentación manual, se contemplaban 19 actividades generalizadas. Proponiendo la herramienta de trabajo estándar se actualizaron las actividades que tiene que cumplir el operador, teniendo la eliminación del 42% de todas aquellas que no se genera ningún valor.

Se desarrolló un plan de capacitación para los trabajadores, esto con la finalidad de dar a conocer la implementación del Diseño De Experimentos (DOE). Teniendo el propósito de alinear el desarrollo del personal con los objetivos de dicha implementación, garantizando que los trabajadores cuenten con el conocimiento de los nuevos parámetros a utilizar en maquinaria. Por lo que se estima en tener un avance de un 50% referente a los conocimientos para los trabajadores en la estandarización de los parámetros a utilizar.

Recomendaciones

Se recomienda apoyarse con el equipo de mantenimiento para poder estandarizar los equipos de extruder o cualquier otro tipo de componente que se presentaron para que los trabajadores no los puedan manipular. Esto referente a un proyecto futuro que se pueda realizar y así poder estandarizar bien el proceso.

Se recomienda mejorar el proceso de materia prima, ya que esto influye dentro del proceso y de la calidad del producto. Ya que si la materia prima llega a planta con algún tipo de contaminación y/o humedad (lo cual, no se puede controlar) donde

esto conlleva a un reproceso y generar un costo extra, y uno de los cuales son barreras que no puedan llegar a la meta de producción.

Para poder tener un mejor seguimiento y orden dentro de todos los procesos de la empresa, se deben utilizar indicadores, que pueden ser utilizados para llevar un control estadístico y nos permita la identificación de fallas.

Teniendo el modelo propuesto, la empresa deberá asumir un rol de perseverancia y actitud positiva hacia la búsqueda de la mejora continua, donde se busque fomentar este modelo como una filosofía en la producción y no como un proyecto de momento.

Se recomienda que las maquinas estén en su máxima disponibilidad sin tener ningún problema de fallas, para que así puedan obtener una máxima eficiencia y poder alcanzar los resultados previos que se dieron dentro de la herramienta.

Se recomienda tener una capacitación mensual, teniendo un seguimiento previo para todos los operadores de las maquinas, para fomentar la cultura de mejora.

Implementar otras herramientas de Lean, para poder atacar otras problemáticas previstas al proceso o que conlleve a disminuir la eficiencia de este.

Se recomienda implementar la herramienta TPM (Mantenimiento Productivo Total) para poder maximizar la eficiencia de los equipos de maquinaria, para poder reducir los tiempos de inactividad, y así poder mejorar la productividad y fomentar la participación de todos los empleados. Al poder implementar esta herramienta de Lean, también será importante para poder tener resultados de eficiencia, que será de gran apoyo que aportaría a la herramienta del Diseño de Experimentos (DOE).

Referencias bibliográficas

- Anguiplast. (s.f.). *Anguiplast*. Obtenido de <https://anguiplast.com/>
- Bautista Tafur, A. R. (2015). Aplicación de Diseño de Experimentos (DoE) en el proceso de Clarificación para la reducción de mermas en la Empresa Agroindustrial Túman S.A.A. de 2015. *Tesis de licenciatura*. Facultad de Ingeniería, arquitectura y urbanismo.
- Fisher, S. R. (1935). *The Design of Experiments*. Universidad de California.
- Gallach, F. S. (2020). *Diagrama de pareto y lean manufacturing*. APLICADA 2020, 19.
- Garza Villegas, J. B. (2013). Aplicación de diseño de experimentos para el análisis de secado de un producto. *Innovaciones De Negocios*. Universidad de Monterrey.
- Group, S. C. (2020). *5 PASOS PARA DESARROLLAR UN DISEÑO DE EXPERIMENTOS DOE*. Monterrey, N.L. MEXICO.
- Humberto, G. P. (2008). *Análisis y diseño de experimentos*.
- James G., B. (1986). *DESIGN FOR MANUFACTURABILITY*.
- Leal Solano, A. (1987). *El diagrama de Pareto*.
- M. Tanco, L. I. (2008). Aplicación del Diseño de Experimentos (DoE) para la mejora de procesos. *Memoria investig. ing*. Facultad Ing., Univ. Montev.
- Manene, L. M. (2011). *Los diagramas de flujo: su definición, objetivo, ventajas, elaboración, fases, reglas y ejemplos de aplicaciones*. Recopilado el, 22, 09-18.
- Montgomery, D. (2017). *Diseño y Analisis de Experimentos*. John wiley & sons.
- Neto, F. M. (2013). *Lean manufacturing: exposición adaptada a la fabricación repetitiva de familias de productos mediante procesos discretos*. Bubok Publishing.
- Octavio, O. S. (2007). Aplicación del diseño de experimentos al proceso de moldeo por inyección de plástico de la pieza FCP 52" W 70. *Tesis de licenciatura*. Universidad Autónoma Del Estado De Hidalgo.
- Porfirio, G. G., Lizbeth, D. C., & Jesus, G. S. (2009). *Elementos de Diseño de Experimentos*.
- Socconini, L. (2019). *LEAN MANUFACTURING PASO A PASO*.

W. Niebel, B. &. (2009). *Métodos Estándares y Diseño del Trabajo*. México D.F.

Wilson, G. B. (1951). *metodología de superficie de respuesta*.

ANEXOS

ANEXO 1. Hoja de recolección de datos para máquinas de alimentación manual.

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1	Extruder 2	Corte	Kg
5	1	1	1	-1	-1	1	
2	2	1	1	1	-1	-1	
3	3	1	1	-1	1	-1	
14	4	1	1	1	-1	1	
8	5	1	1	1	1	1	
4	6	1	1	1	1	-1	
11	7	1	1	-1	1	-1	
7	8	1	1	-1	1	1	
15	9	1	1	-1	1	1	
13	10	1	1	-1	-1	1	
6	11	1	1	1	-1	1	
9	12	1	1	-1	-1	-1	
1	13	1	1	-1	-1	-1	
10	14	1	1	1	-1	-1	
12	15	1	1	1	1	-1	
16	16	1	1	1	1	1	

Anexo 2. Hoja de recolección de datos para máquinas de sistema de alimentación de banda.

OrdenEst	OrdenCorrida	PtCentral	Bloques	Extruder 1 Hz	Extruder 2 Hz	Compactador	Kg
8	1	1	1	1	1	1	
4	2	1	1	1	1	-1	
3	3	1	1	-1	1	-1	
11	4	1	1	-1	1	-1	
9	5	1	1	-1	-1	-1	
10	6	1	1	1	-1	-1	
13	7	1	1	-1	-1	1	
1	8	1	1	-1	-1	-1	
16	9	1	1	1	1	1	
2	10	1	1	1	-1	-1	
12	11	1	1	1	1	-1	
7	12	1	1	-1	1	1	
15	13	1	1	-1	1	1	
14	14	1	1	1	-1	1	
5	15	1	1	-1	-1	1	
6	16	1	1	1	-1	1	

Anexo 3. Hoja de estudio de tiempos.

[illegible]

Anexo 4. Hoja de preparación herramental

 ANGUIPLAST S.A DE C.V HOJA DE PREPARACION DE HERRAMENTAL			
AREA: PELETIZADO	MAQUINA: CHINA ALIMENTACION DE BANDA	CODIGO:	
		REVISION :	
		FECHA DE EMISION:	
HERRAMIENTAS	MATERIAL	EQUIPO	ACCESORIOS
No.	ACTIVIDADES		TIEMPO
TIEMPO TOTAL (sg)			
TIEMPO TOTAL (min.)			
FECHA DE EMISION	ELABORO Residente	REVISO	APROBO

