

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

**MEJORA DE LA PRODUCTIVIDAD DE UNA EMPRESA DE
MANUFACTURA POR MEDIO DE LA OPTIMIZACIÓN DE
PROCESOS PRODUCTIVOS CON MODELADO MATEMÁTICO Y
SIMULACIÓN ASISTIDA POR COMPUTADORA. CASO PRÁCTICO
APLICADO A UNA EMPRESA ECUATORIANA PRODUCTORA DE
PAN DE MOLDE**

OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS PRODUCTIVOS EN PLANTA

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA DE LA
PRODUCCIÓN**

ANDREA SALOMÉ GUACHO CHÁVEZ

andrea.guacho@epn.edu.ec

DIRECTOR: MATEMÁTICO NELSON RAUL ALOMOTO BANSUI

nelson.alomoto@epn.edu.ec

DMQ, marzo 2024

CERTIFICACIONES

Yo, ANDREA SALOMÉ GUACHO CHÁVEZ declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ANDREA SALOMÉ GUACHO CHÁVEZ

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ANDREA SALOMÉ GUACHO CHÁVEZ, bajo mi supervisión.

NELSON RAUL ALOMOTO BANSUI

Certificamos que revisamos el presente trabajo de integración curricular.

ISRAEL DAVID HERRERA GRANDA

AEX VICENTE DAVILA FRIAS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ANDREA SALOMÉ GUACHO CHÁVEZ

NELSON RAUL ALOMOTO BANSUI

DEDICATORIA

A mí, que, aunque no pinten del todo bien las cosas, siempre tengo ganas de cumplir mis metas y sueños.

A mis padres que han estado siempre e incondicionalmente. Que me han acompañado a descubrir lo gigante que puedo ser. A ellos que desde su lado han intentado ayudarme y esta para mí en cada paso que he dado. Son parte clave.

A mis hermanos y las personas que durante este camino me agarraron de la mano y no me soltaron nunca.

A los amigos que hacen que toda travesía sea más amena, que cada momento se más increíble y que cada lamento pese menos.

Y a aquellos que han llegado a mi vida a agregar un color nuevo a mi paleta de colores y me han brindado un lugar seguro para ser y estar.

Andrea Guacho

AGRADECIMIENTO

Mi profundo agradecimiento a mis padres, quienes me han acompañado en cada paso y han estado ahí para cualquier cosa que necesitara, desde lo más simple hasta lo más complejo, gracias por permitirme descubrir.

A mi familia que siempre ha estado pendiente de mí, de mi bienestar y de mis progresos. Por sus palabras y energía, que han sido motor.

Un agradecimiento especial a los directivos, supervisores y trabajadores que forman parte de la planta de producción que depositó su confianza en mí y me permitió realizar este trabajo de investigación en su organización, además de mostrarse colaborativos, abiertos y comprensivos ante cualquier duda o solicitud.

A esos amigos y las personas especiales que me han hecho de este camino un recorrido más llevadero. Gracias por ser como un rayito de sol cuando hace frío. Están siempre en mi corazón.

Al Matemático Alomoto por su dirección en la elaboración de este proyecto.

Y gracias estrellita, porque cuando intentas ya estás haciendo y en hacer está la magia.

Andrea Guacho

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VI
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	9
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Marco teórico	3
1.4.1. Productividad.....	3
1.4.1.1. Productividad.....	3
1.4.1.2. Medición de productividad	4
1.4.1.2.1. Productividad parcial	6
1.4.1.2.2. Productividad total	6
1.4.1.2.3. Productividad mediante el uso de una función de producción.....	6
1.4.2. Optimización	6
1.4.2.1. Optimización.....	6
1.4.2.2. Programación	8
1.4.2.2.1. Programación lineal	8
1.4.2.2.2. Programación entera mixta	8
1.4.3. Modelamiento matemático	9
1.4.3.1. Modelos computacionales	10
1.4.3.1.1. Simulación.....	10
1.4.3.1.2. Software de simulación.....	11
• Simul8.....	11
• Risk Simulator	11
• POM QM.....	11
1.4.4. Pan.....	12

1.4.4.1.	Pan de molde	12
1.4.4.2.	Proceso de elaboración industrial de pan de molde	12
1.4.4.2.1.	Pesaje	13
1.4.4.2.2.	Amasado	13
2.1	Diagnóstico de la empresa	14
2.2	Descripción del problema	14
2.2.1.	Diagnóstico y formulación de problemas.....	14
2.2.2.	Análisis causa efecto.....	15
2.3	Formulación del problema	17
2.4	Estrategia de solución.....	17
2.5	Enfoque	18
2.6	Tipo de trabajo de investigación.....	18
2.7	Técnicas de recolección de información	19
2.8	Diseño de investigación.....	19
2.8.1.	Experimental.....	19
2.9	Modelo matemático.....	20
2.10	Desarrollo de la estrategia de solución fase 1.....	22
2.10.1.	Planteamiento de la optimización	26
2.10.2.	Planteamiento de la optimización con POM QM.....	27
2.10.3.	Simulación del estado actual	28
2.10.3.1.	Verificación de la situación actual	29
2.10.3.2.	Simulación del proceso actual considerando el tiempo de operación más largo	29
2.10.4.	Propuesta de mejora.....	31
2.10.4.1.	Simulación en base al escenario alternativo fase 1	32
2.11	Desarrollo de la estrategia de solución fase 2.....	32
2.11.1.	Situación actual	33
2.11.2.	Propuesta de mejora.....	36
2.11.2.1.	Simulación en base al escenario 1	36
3.1	Resultados	37
3.2	Pruebas	46
3.2.1.	Pruebas de productividad.....	46
3.3	Conclusiones.....	47
3.4	Recomendaciones	49

RESUMEN

A nivel global, las industrias manufactureras buscan optimizar su productividad a fin de ser más eficientes al momento de satisfacer la demanda del mercado. Este proyecto se enfoca en diseñar una propuesta para mejorar los procesos productivos de la empresa ecuatoriana "XYZ", que se dedica a la elaboración de pan de molde. Se propuso un modelo matemático resuelto mediante programación lineal y programación lineal entera mixta, utilizando Solver y POM QM. Por otro lado, se utilizó SIMUL8 para visualizar los escenarios a optimizar en los procesos de pesaje de micro ingredientes y amasado, proponiendo la optimización de recursos humanos. Los resultados muestran que el uso del modelo de programación lineal entera mixta es el más efectivo para maximizar el tiempo disponible y satisfacer la demanda, mientras que la reasignación de actividades puede minimizar costos y maximizar el tiempo operativo.

PALABRAS CLAVE: Producción, Modelo matemático, Optimización, Minimización de costos, Maximización del tiempo operativo, simulación.

ABSTRACT

At a global level, manufacturing industries are seeking to optimize their productivity in order to be more efficient in meeting market demand. This project focuses on designing a proposal to improve the production processes of the Ecuadorian company "XYZ," which is dedicated to the production of sandwich bread. A mathematical model was proposed, solved using linear programming and mixed integer linear programming, using Solver and POM QM. Additionally, SIMUL8 was used to visualize scenarios for optimizing the weighing of micro-ingredients and kneading processes, proposing the optimization of human resources. The results show that the use of the mixed integer linear programming model is the most effective for maximizing available time and meeting demand, while activity reallocation can minimize costs and maximize operational time.

KEYWORDS: Production, Mathematical model, Optimization, Cost minimization, Maximization of operational time, simulation.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

La productividad es un eje de interés constante en las organizaciones, ya que está directamente relacionada con la gestión de recursos humanos y materiales empleados en sus procesos, los cuales a su vez influyen en la rentabilidad de la organización.

El componente "Optimización de Procesos Productivos en Planta" desarrollado en este proyecto busca proponer opciones para mejorar la productividad de la empresa "XYZ", denominada así por razones de confidencialidad de la organización. El giro de negocio es la fabricación de pan de molde, y la propuesta se centra en optimizar sus procesos productivos, especialmente en dos áreas de interés clave para la dirección de la planta. Dado que el pan de molde es un producto de consumo masivo y con alta rotación, cualquier cambio que se plantee llevar a cabo debe tener en cuenta que es fundamental mantener altos estándares de calidad e inocuidad.

Aunque la planta de producción es semi automática, es decir, ha automatizado gran parte de sus procesos, aún cuenta con procesos manuales. Para mejorar la productividad de la empresa, la propuesta se enfoca en maximizar la utilización del tiempo disponible de los operarios en el área de pesaje de micro ingredientes, y en optimizar el número de operarios que trabajan en el área de amasado. Esta propuesta se realizará por medio del uso de un modelo matemático y simulación asistida por computadora.

En la actualidad, las organizaciones deben operar bajo principios de flexibilidad que les permitan adaptarse a las necesidades que demanda el mercado. Por lo tanto, la toma de decisiones es constante en la alta dirección de una empresa, con el objetivo de conseguir y mantener la sinergia entre los diferentes procesos y departamentos de la organización, manteniendo los estándares y buscando aumentar la rentabilidad.

1.1 Objetivo general

Generar una propuesta de mejora que permita optimizar el proceso productivo en la empresa "XYZ", relacionado con el pesaje y amasado en la producción de pan de molde, por medio del uso de un modelo matemático y simulación asistida por computadora.

1.2 Objetivos específicos

1. Analizar la situación actual del proceso productivo para elaboración de pan, referente a las actividades iniciales del flujo del proceso, que involucra el pesaje de micro ingredientes y rellenos, además del amasado.
2. Identificar elementos requeridos para la elaboración del modelo matemático y computacional que permitan la propuesta de mejora.
3. Diseñar el modelo matemático de la propuesta y el modelo de simulación de la implementación.
4. Diseñar una propuesta de mejora de los procesos productivos referente a las actividades de pesaje de micro ingredientes, rellenos y decorados, además del proceso de amasado de la empresa "XYZ". en su planta de elaboración de pan.

1.3 Alcance

La empresa "XYZ" es una organización con plantas de producción distribuidas en 4 ciudades del país. En el sector Sierra centro, cuenta con la presencia de 3 plantas, mientras que en el sector de la Costa tiene una sola.

El alcance del proyecto que se desarrolla se enfoca en la elaboración de una propuesta de un plan de mejora para la optimización del proceso productivo en la planta de elaboración de pan de molde de la empresa "XYZ" ubicada en una de las ciudades de la región sierra. Esto se llevará a cabo mediante modelamiento matemático y computacional que permitirá simular posibles escenarios en el área de pesaje de ingredientes 1 y en el área de amasado. El objetivo es mostrar los beneficios potenciales que la implementación de estas

mejoras podría traer a la organización.

Dado que la empresa cuenta con un catálogo de productos amplio, la primera fase del proyecto se enfocará en considerar aquellos que pertenecen a la categoría de "gusto delicado". Estos productos incluyen diferentes rellenos, como frutos, frutos secos y cereales, así como coberturas de cereales. Para la siguiente fase del proyecto, se analizará el área de amasado en sus diferentes líneas de producción enfocándose en el personal que labora en esta etapa del proceso.

Es importante señalar que la implementación de mejoras en la planta de producción dependerá de las decisiones a tomar por la alta dirección de la empresa y, por lo tanto, no está incluida dentro del alcance de este proyecto.

1.4 Marco teórico

1.4.1. Productividad

1.4.1.1. Productividad

Para comenzar, es necesario asentar las bases conceptuales y teóricas que permitirán el desarrollo de esta investigación.

Según Sink, Tuttle, & DeVries (1984) "la productividad es una medida de retorno de la inversión de la organización y es el indicador de cuán eficientemente la organización puede convertir entradas en salidas" (pág. 277). Los autores sugieren que, al evaluar y tomar decisiones estratégicas, es esencial tener en cuenta todos los elementos que abarca el concepto de productividad. Esta perspectiva busca ampliar la comprensión de la productividad más allá de medidas simples y enfatiza la necesidad de considerar diversos factores al analizar el rendimiento organizacional.

Para Estavillo y Zamora (2002) la eficiencia y el desempeño de los sectores económicos puede evaluarse mediante una variable crucial como lo es la productividad. Esto debido a que sus mejoras pueden elevar al nivel de vida de las sociedades. Desde el punto de vista macro, es uno de los aspectos determinantes de la rentabilidad en una empresa.

En esta misma línea, según Colmenares (2007) la productividad se describe como un indicador que muestra el grado de eficiencia en la utilización de recursos de una economía para la generación de bienes y servicios. En adición, Pekuri, Haapasalo, & Maila (2011) mencionan que "la productividad suele definirse como una relación entre las salidas

producidas por un sistema y las cantidades de factores de entrada utilizados para producir esas salidas” (pág 247). Así mismo, para Medina (2010), la productividad se define como la manera en que se emplean los elementos de producción para generar bienes y servicios.

Para Ojha (2014) la “productividad es la principal preocupación de todas las organizaciones modernas independientemente del tipo de organización. Toda organización se esfuerza por aumentar la productividad”. Los recursos humanos, el capital financiero y demás recursos llegan a ser escasos, es así como las organizaciones requieren maximizar el impacto de la productividad convirtiéndolo en una tarea esencial para quienes la componen y gestionan.

La productividad se mide por la utilización eficiente de recursos para la generación de productos o servicios, evaluando la relación entre salidas y entradas. A su vez, se busca que los ingresos generados sean mayores que los gastos, considerando como ingresos a lo que podamos obtener de la producción y a gastos a los insumos que han sido utilizados durante el proceso. Así que, se convierte en una meta estratégica para las empresas que los productos o servicios logren niveles de competitividad esenciales.

En síntesis, la productividad opera como un indicador del rendimiento de los recursos en relación con los bienes o servicios obtenidos al final de un proceso productivo. Se convierte en una variable crucial que proporciona a la alta dirección una visión integral del funcionamiento de la organización, facilitando la identificación de áreas de mejora. Este enfoque busca minimizar el consumo de recursos mientras se maximizan los resultados obtenidos. En consecuencia, las empresas no solo mejoran su competitividad, sino que también se destacan como elementos diferenciadores respecto a sus competidores.

1.4.1.2. Medición de productividad

Para Colmenares (2007) la revisión de la productividad tiene como objetivo estudiar diversos aspectos como asignación de recursos, eficiencia productiva, distribución de salarios, mejoras en la competitividad

“La medición de la productividad a nivel de las empresas, así como de las cadenas productivas, resulta ser una condición necesaria para la evaluación de su desempeño, la innovación y la definición de sus estrategias empresariales” (Morales & Masis, 2014, pág. 42)

Es esencial conceder importancia a la productividad como una métrica, ya que aquello que es susceptible de cuantificación posee la oportunidad de mejora, que constituye el principio fundamental de la propuesta que se explorará en este documento.

Morales y Masis (2014) establece en la figura 1 el ciclo de mejoramiento de la productividad. Para la propuesta de este proyecto se abordará desde la medición de la productividad hasta la planeación.

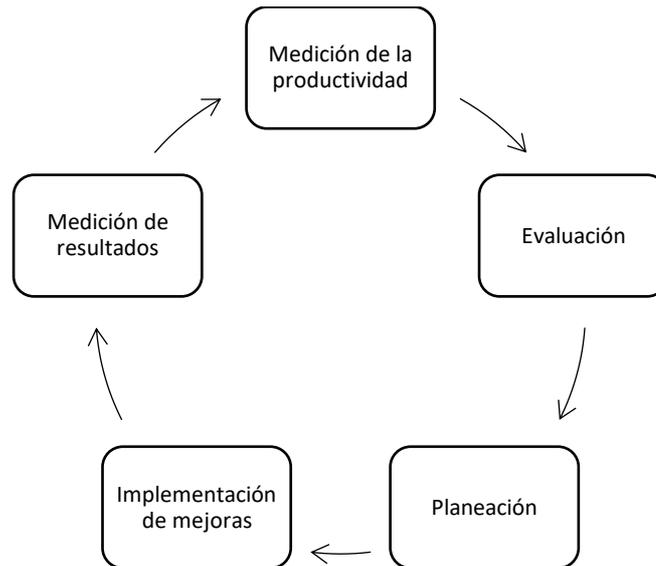


Figura 1 Ciclo de mejoramiento de la productividad (CMP)

Fuente: (Morales & Masis, 2014)

Las fases del ciclo de mejoramiento de la productividad se componen de diversos pasos, mismos que han sido definidos por Morales y Masis, sin embargo, para la aplicación de este proyecto el enfoque se verá sintetizado en la tabla 1

Tabla 1 Pasos de las fases de CMP considerados para este proyecto

Fases del ciclo de mejoramiento de la productividad	Pasos dentro de fases del CMP
Medición de la productividad	Paso 1: examinar la productividad laboral
	Paso 2: calcular los índices de productividad
	Paso 3: analizar los índices de productividad
Evaluación	Paso 7: reexaminar y comprobar la situación actual
Planeación	Paso 8: preparar alternativas
	Paso 9: examinar alternativas
	Paso 10: comparar alternativas

Fuente: Elaboración propia basada en información de (Morales & Masis, 2014)

1.4.1.2.1. Productividad parcial

Según Colmenares (2017) para la medición de productividad se toma en consideración la productividad parcial que se traduce a:

$$Productividad\ parcial = \frac{producto\ generado}{insumo\ parcial} \quad (1)$$

Esta relación parcial refleja el uso que se le da a los insumos dentro del proceso productivo y posibilita ver las variaciones que se pueden dar a lo largo del proceso.

1.4.1.2.2. Productividad total

Por otro lado, en medición también se toma en consideración la productividad total de los factores, misma que tiene que ver con la eficiencia con la que se están usando los recursos en conjunto, que se puede ver reflejada en:

$$Productividad\ total = \frac{producto\ generado}{insumo\ total} \quad (2)$$

1.4.1.2.3. Productividad mediante el uso de una función de producción

La productividad también puede ser cuantificado mediante el uso de una función de producción tal como

$$Productividad = \frac{total\ de\ salidas}{salidas\ esperadas} \quad (3)$$

Con esta ecuación se busca dar una vista de qué tanto se está produciendo y la variante que se tiene respecto a lo que se estimó que se podía producir (Colmenares, 2007).

En la línea de interés del proyecto, la definición de ecuaciones que permitan la cuantificación y medición de la productividad destaca lo que es relevante para las organizaciones. La identificación de las condiciones en las que se encuentra la empresa y con estas herramientas identificar las oportunidades de mejora que se pueden generar a fin de obtener beneficios.

1.4.2. Optimización

1.4.2.1. Optimización

Según Adbby (2013), los métodos de optimización se usan para explorar la región local de la operación y predecir la manera en la que los parámetros definidos del sistema pueden ajustarse para optimizarlo. Así mismo, Guerra (2020) menciona que optimizar es buscar la mejor forma de hacer algo, es decir, buscar mejores resultados en el desempeño de algún recurso.

En este sentido, “optimizar significa encontrar la mejor solución del conjunto de todas las posibles, de forma eficiente y sistemática. La optimización implica cambiar ciertas condiciones llamadas variables de decisión para maximizar o minimizar una función objetivo” (Banga, Balsa-Canto, Moles, & Alonso, 2003, pág. 3)

De las definiciones anteriores, en síntesis, el objetivo de optimización se traduce en la exploración de nuevas trayectorias o rutas con el propósito de acomodar y ajustar las variables que participan en una situación de análisis específica. El fin es lograr, mediante modificaciones, una mejora sustancial en los resultados obtenidos.

Para este proyecto, el enfoque de optimización será en los procesos. “La optimización de procesos es la disciplina que se encarga de adaptar los procesos para optimizar sus parámetros, pero sin infringir sus límites” (SYDLE, 2021).

La optimización está compuesta de más subramas, las mismas que se encuentran establecidas dentro de la figura 2 y dependerán del tipo de variable que se maneje, debido a que direccionarán a los diferentes tipos de problemas.

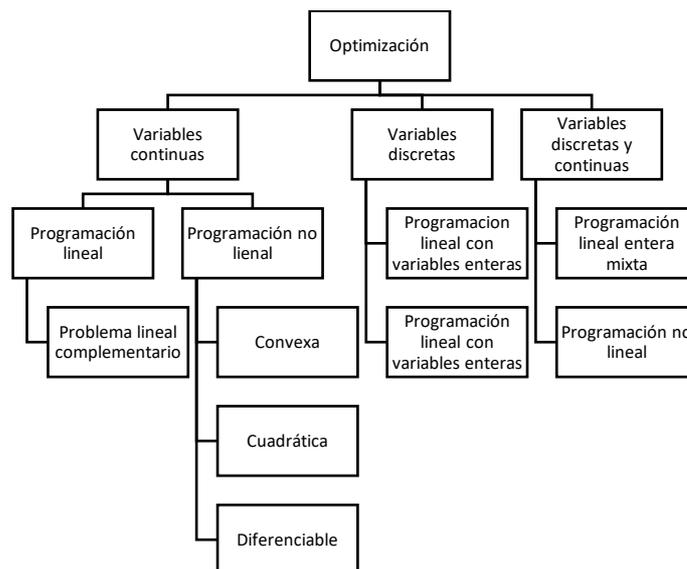


Figura 2 División de la optimización

Fuente: Elaboración propia basada en (Bermúdez, 2011)

“Los modelos de optimización basados en programación lineal, entera y mixta son ampliamente utilizados en problemas reales para formular modelos que contribuyen eficientemente en la toma de decisiones en todos los niveles organizacionales” (Bermúdez, 2011, pág. 88). Con esta división se abre una visual de los diferentes tipos caminos que se puede tomar y dependerá netamente de las condiciones en las que se encuentre la organización.

1.4.2.2. Programación

1.4.2.2.1. Programación lineal

Alvarado (2009), establece que programación lineal es un método matemático para resolución de problemas cuyo propósito es mejorar un resultado mediante la elección de valores para un conjunto de variables de decisión, respetando restricciones, especificaciones técnicas o condiciones que establecen límites en la libertad de decisión.

“La programación lineal es un procedimiento matemático para determinar la asignación óptima de recursos escasos” (Archam, 2015). El autor también indica que la programación lineal se ocupa de un tipo específico de problemas de programación. En este tipo de problemas, tanto la función objetivo que se pretende optimizar como todas las relaciones entre las variables relacionadas con los recursos son lineales.

Por medio de la programación lineal se puede a su vez representar a un sistema de producción mediante un modelo que incluya:

- Costos e ingresos generados por unidad de actividad.
- Aportes y requerimientos de insumos y productos por unidad de cada actividad considerada.
- Disponibilidad de recursos, especificaciones técnicas y empresariales para tener en cuenta.

Un modelo de programación lineal puede ser visto como un “medio para determinar la mejor manera de distribuir una cantidad de recursos limitados en pro de lograr un objetivo en maximizar o minimizar determinada cantidad” (Alvarado, 2009, pág. 91)

1.4.2.2.2. Programación entera mixta

La Programación Lineal Entera Mixta (PEM) es un enfoque de optimización matemática que busca maximizar o minimizar una función lineal sujeta a restricciones lineales, donde

algunas de las variables de decisión deben tomar valores enteros. Es decir, combina la estructura lineal de la Programación Lineal con la restricción adicional de que ciertas variables deben ser números enteros.

“Los programas lineales de enteros mixtos son programas lineales en los que se requiere que algunas variables tomen valores enteros y otras continuas” (IBM, 2021). El autor menciona que la Programación Entera Mixta, es una herramienta útil para planificar, que en este caso, nos ayudará a proponer un modelo matemático que con estos principios se adapte para poder brindar una propuesta de optimización

Para este tipo de programación, es importante poder contar con cuatro factores básicos como lo menciona Niño (2003):

- Recursos limitados
- Objetivo específico para alcanzar
- Relación lineal entre la función objetivo y las restricciones
- Variables que se pueden fraccionar y que son no negativas

1.4.3. Modelamiento matemático

Una definición simple de modelo es la propuesta por Lee (1973): “Un modelo es una representación de la realidad”, es la simplificación de un sistema en base a la abstracción de la realidad que puede usarse en la predicción, control u optimización

Pidd, (1997) propone la siguiente interesante definición: “Un modelo es una representación explícita y externa de parte de la realidad como la ven las personas que desean usar el modelo para entender, cambiar, gestionar y controlar dicha parte de la realidad”

“La modelización matemática es el proceso racional de la elaboración de modelos matemáticos para expresar fenómenos reales” (Cervantes, 2015, pág. 2). Para Salett y Hein (2004), La fase de modelado engloba una secuencia de pasos que comprenden: elección del tema; identificación y delimitación de la situación o problema; familiarización con el tema a modelar que implica la revisión teórica, formulación del problema y las hipótesis; creación de un modelo matemático y su desarrollo; resolución del problema a través del modelo; aplicación práctica; interpretación de la solución; validación del modelo y, finalmente, la evaluación del conjunto del proceso.

En resumen, el modelamiento matemático es una técnica para poder representar la realidad simplificada. Puede usarse para predicción, control u optimización porque sintetiza la complejidad de un problema.

1.4.3.1. Modelos computacionales

1.4.3.1.1. Simulación

“Para poder comprender la realidad y la complejidad que un sistema puede conllevar, ha sido necesario construir artificialmente objetos y experimentar con ellos dinámicamente antes de interactuar con el sistema real” (Marmolejo, Santana, Granillo, & Piedra, 2013, pág. 39). En este caso, la simulación puede ser un equivalente a lo que se menciona anteriormente, sin embargo, para esto, se necesita de modelos que como lo mencionan Marmolejo, Santana, Granillo, & Piedra (2013) sean una representación de la realidad y que a su vez puedan ser procesados por un ordenador. De una manera reduccionista, se puede usar métodos matemáticos para obtener información de sistemas poco complejos, sin embargo, en la realidad, los sistemas son complejos y es por ello que se vuelve necesario usar simulación para lograr comprenderlos y evaluarlos.

Para la toma de decisiones, es importante hacer un estudio de potenciales escenarios con el fin de prever el comportamiento y generar planes de acción que permitan reaccionar de la manera más acertada, reduciendo impactos que se puedan ocasionar y el camino a seguir en caso de que los eventos se desarrollen de alguna manera determinada.

En esta línea, “la simulación es un medio mediante el cual tanto nuevos procesos como procesos ya existentes pueden proyectarse, evaluarse y contemplarse sin correr el riesgo asociado a experiencias llevadas a cabo en un sistema real” (Fullana & Urquía, 2009). La implicación que tiene la simulación es que, con el uso de esta herramienta, se podrá valorar o medir una situación. Es así como, la simulación va a permitir con el planteamiento de diferentes caminos o escenarios, replantear una organización o dar visibilidad para la toma de decisiones estratégicas.

Así mismo, para Mourtizis, Doukas y Bernidaki (2014), la simulación constituye un conjunto de herramientas y métodos que posibilitan la experimentación y validación de diseños y configuraciones de productos, proceso y sistemas. Es decir, la simulación y su análisis se ejecutan con el propósito de adquirir información sobre los sistemas complejos. Se busca facilitar el desarrollo y la evaluación de nuevas políticas operativas o de asignación de recursos, conceptos o sistemas. Se debe destacar que, por medio de la simulación, el sistema real no se ve afectado durante la recopilación de información.

En entornos de fabricación dinámicos como en el que nos encontramos, influenciado por tendencias, globalización y la demanda creciente de una mayor adaptabilidad, la importancia y utilidad de la simulación resultan evidentes.

1.4.3.1.2. Software de simulación

- **Simul8**

SIMUL8 es una herramienta de software que permitirá experimentar y probar el resultado de cualquier tipo de decisión de forma rentable y sin riesgos. Es usado para modelar y analizar procesos, sistemas y operaciones. Permite crear modelos de simulación visualmente y experimentar con modelos que simulen el mundo real a fin de descubrir oportunidades y obtener resultados que serían de utilidad en la toma de decisiones libre de riesgos y que se encuentren basadas en evidencia. (Simul8 Corporation, s.f.)

Este software pone a disposición sus herramientas para la simulación de entornos de diferentes niveles de complejidad ofreciendo una interfaz fácil de usar con un enfoque orientado a objetos, que se simulan por bloques y conexiones. Permite modelar eventos discretos con consideraciones de comportamiento de personal o maquinaria y visualizar el impacto que puede tener en el proceso, así como también modelar objetos con movimiento con

En síntesis, Simul8 es una herramienta versátil que permite simular sistemas de diferente complejidad, con el objeto de comprender mejor su comportamiento, identificar puntos de mejora y tomar decisiones informadas basadas en hechos.

- **Risk Simulator**

“Risk Simulator es un software potente que funciona como un complemento de Microsoft Excel que se utiliza para simulación, previsión, análisis estadístico y optimización en sus modelos de hojas de cálculo de Excel existentes” (Real Options Valuation, 2021).

Por medio de esta herramienta, se puede generar un reporte que determine la distribución que sigue un grupo de datos determinados para darle un tratamiento adecuado.

Estos aspectos se vuelven importantes para la competitividad de las organizaciones pues su flexibilidad y capacidad de reacción puede terminarse convirtiendo en un eje diferenciador del resto de sus competidores.

- **POM QM**

“POM-QM es una aplicación versátil que permite la solución de una gran cantidad de problemas en el campo de la investigación operativa. Incluye 18 módulos para analizar problemas asociados con la programación lineal, la planeación agregada, entre otros” (Rosero, 2015).

Mediante esta herramienta, se puede realizar la optimización de modelos matemáticos a través de la programación lineal. En las secciones de programación lineal entera y entera mixta, es posible realizar un análisis exhaustivo con la cantidad necesaria de iteraciones para identificar los valores óptimos. Esto facilita la ejecución de pruebas que exploran diversos escenarios y combinaciones, ofreciendo múltiples opciones ejecutables. Este aspecto adquiere relevancia al buscar conocer escenarios adicionales que puedan estar mapeados para su posible utilización, proporcionando a las organizaciones un amplio abanico de oportunidades de elección.

1.4.4. Pan

Es un alimento básico que se elabora con harina de trigo, de centeno, de cebada, entre otras, levadura, sal, agua, grasa o aceite, gluten, leche y en ocasiones diferentes ingredientes como conservantes, vitaminas, entre otros, que le pueden añadir determinadas cualidades. Es un producto de consumo masivo y diario. Dada las variaciones constantes de demanda y necesidades de los consumidores, las organizaciones que se dedican a la producción de este alimento se han visto en la necesidad de manejar procesos flexibles y de rápida reacción por la vida útil del producto.

1.4.4.1. Pan de molde

El pan de molde es una de las tantas presentaciones que ha adaptado la industria de fabricación de pan a fin de jugar con la vida útil del producto, pues esta presentación de pan a pesar de seguir siendo perecible, en el mercado ecuatoriano, regulado por la Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria (ARCSA), las empresas encargadas de la producción establecen una vida útil de 21 días después haber sido procesado, mientras esté almacenado en condiciones recomendadas.

1.4.4.2. Proceso de elaboración industrial de pan de molde

Al ser un producto de consumo masivo, su elaboración toma una connotación industrial a fin de poder dar respuesta a la demanda del mercado. El proceso para la elaboración se ve reflejado en el flujograma de la figura 3

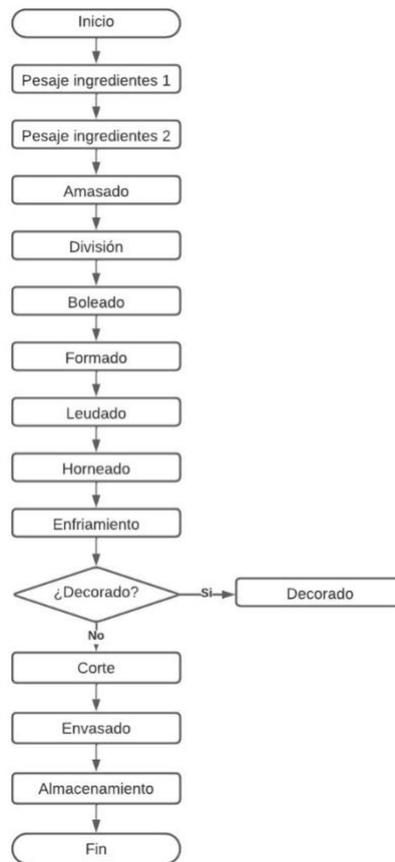


Figura 3 Proceso de elaboración industrial de pan de molde

Fuente: Elaboración propia

1.4.4.2.1. Pesaje

Según Cromek (2019) dentro de la fabricación de alimentos el pesaje es una actividad crucial del proceso. Esto debido a que con esta herramienta las organizaciones podrán estandarizar su producto de forma que cada lote cuente con el mismo aspecto, sabor, olor y características.

El pesaje es uno de los procesos que entran en el análisis de este proyecto. En esta organización, se divide en dos y la primera fase se encarga del pesaje de los micro ingredientes y será conocida como pesaje 1.

1.4.4.2.2. Amasado

El objetivo será “lograr la mezcla íntima de los distintos ingredientes conseguir, por medio del trabajo físico del amasado, las características plásticas de la masa, así como su perfecta oxigenación” (Mesas & Alegre, 2002).

Este proceso se lleva a cabo en máquinas llamadas amasadoras, mismas que se encargarán de integrar los ingredientes de una receta en un tiempo establecido para los productos considerados dentro del plan de producción diario.

2 METODOLOGIA

2.1 Diagnóstico de la empresa

La empresa “XYZ” pertenece a la industria alimenticia dedicada a la producción y comercialización de pan de molde. Cuenta con un amplio catálogo de productos, sin embargo, para el análisis de este proyecto la focalización de esfuerzos se realizará en determinados productos tipo A de la organización, mismos que como la totalidad de sus productos comercializados, cumplen con las normativas ecuatorianas reguladas por el ARCSA, por lo que pueden cumplir la demanda diaria y masiva de los ecuatorianos, ofertando un producto inocuo y con altos estándares de calidad.

La empresa “XYZ” a lo largo de su historia ha crecido considerablemente y a su vez ha ido tecnificando sus procesos por medio de maquinaria y técnicas adecuadas que les permitan mejorar sus procesos.

A medida que se desarrolló el proyecto se realizaron visitas periódicas a la planta, estas actividades sirvieron de base para identificar la situación actual de la organización, mediante:

- Análisis con stakeholders internos (reuniones con la jefatura de planta y analista de producción)
- Análisis con involucrados dentro del proceso (visitas, entrevistas y grabaciones)
- Diagnóstico de la empresa, identificación de ciertos problemas que experimenta la organización y análisis de sus problemáticas más importantes que impactan la productividad.
- Observación de procesos productivos.

2.2 Descripción del problema

2.2.1. Diagnóstico y formulación de problemas

Se realizó un diagnóstico interno a la organización para identificar los posibles problemas que podrían enfrentar. Los problemas identificados por la gerencia de planta, jefatura de planta, analista de producción y trabajadores fueron:

- Separación del área de pesaje 1 del resto del proceso.
- Variación de inventario (rellenos y decorados).
- Tiempos muertos.
- Desequilibrio en la asignación de ciertas tareas en las estaciones de trabajo.
- Variación de tiempo de leudo.
- Variación de peso después de la división.
- Modificaciones al plan de producción.
- Flujo de trabajo de la estación de pesado 1.
- Tiempo subutilizado en los turnos.
- Uso simultáneo de máquinas en procesos con cuellos de botella.
- Reducción de productividad

A partir de la información brindada por los actores directos e indirectos de las actividades en la organización, se logró identificar que algunos de los puntos mencionados son causas más no el origen. Por lo mencionado, se analizó con detenimiento cada ítem mencionado para identificar los problemas que experimenta en realidad la empresa. El problema central que se encontró fue la reducción de productividad. Sin embargo, para la gerencia, y jefatura de planta, así como para la analista de producción el problema central tiene dos partes que se detallan a continuación y representan los problemas a los que la organización como prioridad desea darles respuesta y son:

- Variación de inventario (rellenos y decorados).
- Variación de peso después de la división.

2.2.2. Análisis causa efecto

El objetivo de un diagrama de causa y efecto es representar gráficamente las causas que originan un problema.

Dentro de la empresa “XYZ”, se pudieron identificar varios problemas que en lo posterior podrían ser motivo de estudio. En este caso se abordará la reducción de productividad dividida en dos procesos de producción consecutivos.

- **Parte 1:**

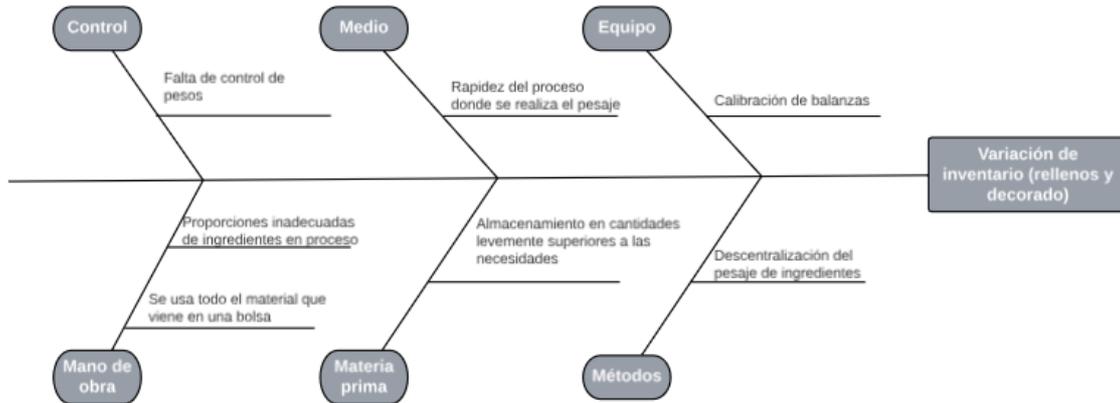


Figura 4 Diagrama causa efecto variación de inventario

Fuente: Elaboración propia

- **Parte 2:**

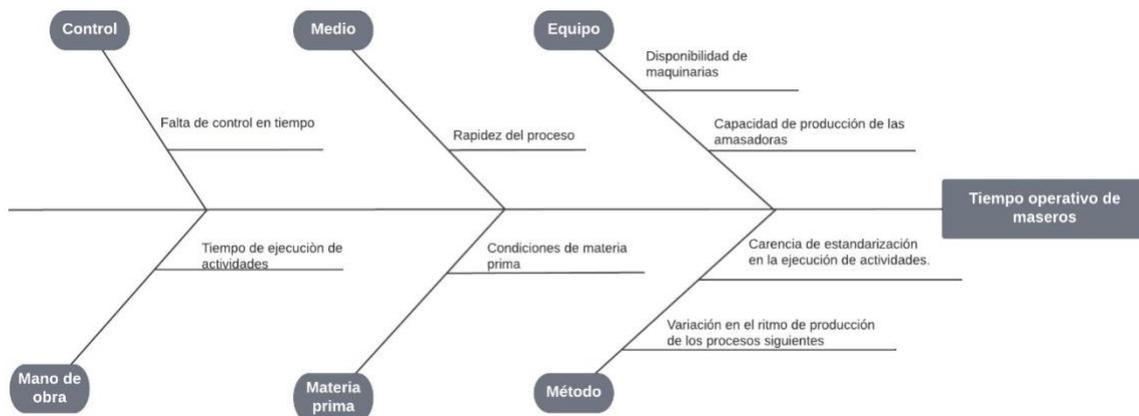


Figura 5 Tiempo operativo de maseros

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4, se muestra las diferentes causas que dan pie en una parte del problema de la baja productividad que es la variación de inventario en la empresa “XYZ”, se ha determinado como causas específicas el control, medio, equipo, mano de obra, materia prima y métodos. Sin embargo, para esta parte de la problemática, por pedido de la empresa, el enfoque será en la categoría de métodos.

Por otro lado, se encuentra la figura 5, esta muestra así mismo las causas a las cuales se les adjudica el problema de la baja productividad que es del tiempo operativo de los operarios encargados del proceso de amasado en la empresa "XYZ", las causas que se determinaron fueron: control, medio, equipo, mano de obra, materia prima y métodos. Igual que para la primera parte de la problemática, la organización ha solicitado que el enfoque se centre en el apartado de mano de obra.

2.3 Formulación del problema

La primera parte de la problemática radica en las diferencias entre las existencias físicas y los registros del ERP de la empresa "XYZ" en cuanto a ingredientes de rellenos y decorados. La descentralización del pesaje de ingredientes, combinada con las múltiples responsabilidades de los operarios que tienen a cargo esa actividad en otra estación y las limitaciones de tiempo, ha generado una variación significativa en el inventario. Para evitar la inversión de tiempo necesario en el área donde actualmente se están pesando esos ítems, no se está realizando un pesaje preciso de los ingredientes de relleno o decorado. El problema para el que se necesita hacer la propuesta de solución en el presente proyecto es la discrepancia en el inventario de ingredientes de relleno y decorado de la empresa "XYZ".

La segunda faceta de la problemática se manifiesta en la distribución de tareas entre los operarios encargados de los amasados, conocidos como "maseros". A pesar de que la organización dispone de tres líneas de producción, únicamente dos de ellas permanecen activas de manera regular, contando con operarios permanentes. La tercera línea se activa según la demanda. El desafío abordado por esta propuesta de solución consiste en optimizar el tiempo operativo de los dos "maseros" regulares, sin la necesidad de incorporar otro operario para abarcar las tres líneas de producción

2.4 Estrategia de solución

El presente proyecto como primera fase, se centró en identificar alternativas para mejorar la variación de inventario de rellenos y decorados optimizando la distribución de actividades en las estaciones de trabajo y el tiempo operativo de la estación de pesaje 1 con programación lineal. En la siguiente etapa, el enfoque se centra en simular la distribución del trabajo en el área de amasado, considerando la cantidad de operarios que desempeñarán sus funciones en dicha área buscando optimizar su tiempo operativo.

Se probaron los diferentes escenarios propuestos por medio de simulación por computadora de los procesos de pesaje y amasado de pan.

2.5 Enfoque

El proyecto de investigación se identifica con un enfoque de tipo mixto. Tiene esta caracterización ya que engloba una fusión del enfoque cualitativo como del cuantitativo que en conjunto se potencializan. “En la ruta mixta se utiliza evidencia de datos numéricos, verbales, textuales, visuales, simbólicos y de otras clases para entender problemas de las ciencias” (Hernández & Mendoza, 2018, pág. 10). Para estos autores, la combinación de enfoques permite tener una visual más amplia y completa de algún fenómeno. El enfoque mixto puede desarrollarse en secuencias o de manera paralela como es en este caso.

En el enfoque cualitativo “se efectúa una revisión de literatura, esta puede complementarse en cualquier etapa del estudio y aportar desde el planteamiento del problema hasta la elaboración del reporte de resultados” (Hernández & Mendoza, 2018, pág. 8) para el proyecto este tipo de enfoque da soporte buscando desmembrar el problema a través del análisis, evaluación e interpretación de la información recopilada.

Por otro lado, para Hernández (2018) el enfoque cuantitativo tiene que ver con conteos numéricos y métodos matemáticos. Se convierte de interés para poder probar hipótesis y estimar magnitudes u ocurrencia de fenómenos que dentro de este proyecto son bases fundamentales para el desarrollo.

2.6 Tipo de trabajo de investigación

La naturaleza de la presente investigación se caracteriza por ser de tipo descriptiva, explicativa y de campo. Desde la perspectiva descriptiva, “el objetivo principal es recopilar datos e informaciones sobre las características, propiedades, aspectos o dimensiones de las personas, agentes e instituciones de los procesos sociales” (Nieto, 2018, pág. 2). En esta investigación se seleccionarán las características que sean fundamentales y se irán detallando para sintetizar la información de flujos de producción y tiempos de operación.

Esta sección descriptiva del trabajo procura ofrecer una visión clara de la situación actual de los procesos relevantes.

Por otro lado, la investigación también cuenta con características pertenecientes a un enfoque explicativo que tiene como objetivo “la verificación de hipótesis causales” (Nieto, 2018, pág. 2) que en este estudio se busca desarrollar una comprensión más profunda de los fenómenos a través del diseño experimental en este caso. El objeto de usar este tipo de investigación es proporcionar un respaldo sólido para las propuestas que se plantearán en este proyecto.

Al mismo tiempo, dentro del trabajo se realiza investigación de campo, cuya investigación se caracteriza debido a que “se apoya en informaciones que provienen de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones” (Universidad Veracruzana, s.f.) sin embargo, para Grajales (2000) la información recaba es obtenida en el lugar y tiempo en el que se llevan a cabo los fenómenos que están siendo caso de estudio. Este tipo de investigación es necesaria para poder contar con el escenario real de lo que está ocurriendo dentro de la organización “XYZ”, por lo que fue necesario realizar varias visitas a la organización.

2.7 Técnicas de recolección de información

Entrevistas semiestructuradas: presentan más flexibilidad que las entrevistas estructuradas, sin desviarse de la línea de interés del investigador, pero con la posibilidad de adaptación a los diferentes miembros de la organización que serán entrevistados permitiendo mostrar una conversación que pueda apreciarse de manera casual pero que cuente con preguntas planeadas. Se realizó a la jefatura de planta y lo operario de los procesos.

Análisis documental: se hace con el propósito de respaldar la investigación. Para ello, por un lado, se usó a varios autores y su bibliografía y por otro, es necesario hacer un minucioso análisis de información con la que cuente la organización relacionada con los procesos existentes. Este análisis facilitará la identificación de patrones o un estado mantenido de la organización con respecto a los procesos de estudio.

Observación: son registros que se recolectan mientras los operarios se encuentran desenvolviéndose con normalidad en sus tareas y actividades cotidianas. Para lograr levantar esta información se realizaron varias visitas a la planta. Sin embargo, el factor de la presencia del observador influye directamente en el desempeño de los operarios, por ello fue necesario la colocación de una cámara que grabara de manera continua. Esto permitió obtener datos más fieles a la realidad de lo que se experimenta en el día a día de los procesos en cuestión.

2.8 Diseño de investigación

2.8.1. Experimental

El diseño de este proyecto es fundamentalmente experimental ya que se encargará de demostrar una hipótesis. Para ello, intencionalmente se manipularán variables que inciden directamente con el flujo de los procesos de interés, en este caso, los procesos de pesaje 1 y de amasado. La intención de encontrar la mejor alternativa que permita lograr el objetivo

planteado es elaborar una propuesta de mejora que se enfoque en el aumento de la productividad de los procesos productivos.

2.9 Modelo matemático

La primera fase del problema consiste en la diferencia de inventario físico con inventario dentro del sistema ERP de la empresa. En la misma línea de la premisa que se abordó en el marco teórico de este documento, para las organizaciones, la productividad se ha convertido en un factor de sumo interés, debido a que permite hacer más con menos, reduciendo y optimizando el uso de recursos dentro de las operaciones de una organización.

El modelo matemático desarrollado en esta investigación para la primera parte de la problemática tiene como objetivo optimizar el tiempo operativo de los trabajadores en el proceso de pesaje 1, reasignando de tareas de pesaje que se encontraban distribuidas en otras áreas, considerando el tiempo disponible con el que operan en el área de pesaje 1. Por medio de esta formulación se busca principalmente reducir el tiempo muerto que tiene los operarios del área en cuestión y por medio de la centralización de trabajo, la mitigación de diferencias de inventarios de rellenos y coberturas.

El modelo matemático que se propone se fundamenta como una herramienta estratégica para enfrentar los desafíos operacionales que anteriormente se ha mencionado que presenta la empresa "XYZ". Se aspira a que este modelo permita una mejor utilización del tiempo de los trabajadores en el área de pesaje 1, contribuyendo así a la mitigación de diferencias de inventario y la minimización de tiempo no productivo.

Notación utilizada

t_i : tiempo en el que se ejecuta la actividad i

T : tiempo disponible por día

$t_{set\ up}$: tiempo que se usa para el set up

$t_{fin\ de\ turno}$: tiempo empleado en el fin de turno

$t_{almuerzo}$: tiempo el el operario tiene disponible para almorzar

$t_{pausas\ activas}$: tiempo usado por el operario para pausas activas

$t_{transporte}$: tiempo empleado en el transporte de pallets desde pesaje 1 hasta amasado

$t_{abastecimiento}$: tiempo empleado en el llenado de tachos

$t_{nec\ op}$: tiempo empleado en las necesidades humanas del operario

t_{op} : tiempo operativo

$i \in \{1, 2, 3\}$ 1 = pesaje 1, 2 = pesaje de rellenos, 3 = pesaje de decorados

Variables de decisión

Y_i : número de veces que se ejecuta la actividad i

Formulación para la optimización con programación lineal

$$\text{Máximizarse } Z: \quad Z = \sum_{i=1}^{n=3} t_i * Y_i \quad (3)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^{n=3} t_i * Y_i \leq t_{op} \quad (4)$$

$$Y_i \geq \#masas\ planificadas \quad ; i = 1 \quad (5)$$

$$Y_i \geq \#rellenos\ por\ masas\ planificadas \quad ; i = 2 \quad (6)$$

$$Y_i \geq \#kg\ de\ cobertura\ de\ masas\ planificadas \quad ; i = 3 \quad (7)$$

$$Y_i \leq \#masas\ planificadas * 1.15 \quad ; i = 1 \quad (8)$$

$$Y_i \leq \#rellenos\ por\ masas\ planificadas * 1.15 \quad ; i = 2 \quad (9)$$

$$Y_i \leq \#kg\ de\ cobertura\ de\ masas\ planificadas * 1.15 \quad ; i = 3 \quad (10)$$

La función objetivo busca maximizar el uso del tiempo total disponible, considerando el tiempo empleado para cada actividad que se realizará en la estación de pesaje 1.

En relación con las restricciones, se han identificado siete condiciones que garanticen, al menos, el cumplimiento del plan de producción diario establecido por el planificador. La restricción (6) se vincula con la necesidad de que la cantidad de masas pesadas sea al menos igual a la cantidad especificada en el plan del día. La restricción (7) asegura que al menos se pese la cantidad de rellenos según lo estipulado en el plan de producción. La restricción (8) garantiza que los kilogramos de decorado que se estén pesando sean suficientes para satisfacer las necesidades de los panes con decorado demandados.

Por otro lado, se encuentra la segunda parte de restricciones que abarcan las cantidades máximas que se podrían llegar a tener. En este caso, cuenta con un límite superior debido a políticas empresariales; mismas que establecen que, en un día, solo se podrá avanzar hasta el 15% adicional de la totalidad del plan en curso. La empresa "XYZ" es una organización que, por su estabilidad en el mercado, cuenta con planes de producción similares en cantidades solicitadas a diario. Por lo tanto, la restricción (9) se refiere a que la cantidad de masas pesadas podrá ser, como máximo, un 15% superior al plan. La restricción (10) asegura que la cantidad de rellenos pesados sea hasta un 15% más de lo planificado. La restricción (11) garantizará que los kilogramos de decorado pesado sean, como máximo, un 15% más de lo estipulado en el plan.

El adicional de 15% que se pueda llegar a pesar será considerando que la cantidad referencial será la de la producción de masa del día en curso, pero los ingredientes de pesaje 1, rellenos y decorados, serán los establecidos en el plan del día siguiente.

Por último, la restricción (11) asegura que la sumatoria del producto entre la cantidad de pesajes de cada tipo multiplicadas por el tiempo empleado para cada tipo de pesaje será cuando mucho igual al tiempo operativo disponible que se tenga.

2.10 Desarrollo de la estrategia de solución fase 1

Para el análisis, en un problema experimental se ha decidido tomar una muestra significativa que se asemeje a la población, para, mediante el modelado matemático y la simulación hacer la propuesta de mejora para las diferentes problemáticas presentadas.

Con la finalidad de recopilar diversos datos, se han revisado datos históricos correspondientes a los planes de producción de la empresa. A partir de esta revisión, se ha concluido que los planes de producción exhiben similitudes en el comportamiento de cantidades diarias de producción, con excepción de aquellos días en los que, debido a circunstancias externas a la demanda, como limpiezas o mantenimientos se presentan

variaciones. Además, se observa una semejanza en las familias de productos que son procesadas diariamente.

Se utilizó la herramienta Risk Simulator para llevar a cabo una prueba de distribución que permitiera determinar la distribución seguida por un conjunto de datos. A partir de esta prueba, se concluyó que las observaciones recopiladas siguen una distribución normal. En consecuencia, se decidió emplear la siguiente fórmula para el cálculo de la muestra considerada en este trabajo (Torres, Paz, & Salazar, 2006, pág. 9):

$$n = \frac{N \times z^2 \times p \times q}{d^2 \times (N - 1) + z^2 \times p \times q} \quad (11)$$

Donde:

N: Tamaño de población

z: cantidad de desviaciones estándar para un nivel de confianza

p: probabilidad de éxito o nivel de confianza

q: probabilidad de fracaso

d: error máximo admisible

En este caso, para la recolección de la muestra, se ha tomado el período de 7 días de producción de 24 horas donde se refleja los patrones de producción de la empresa “XYZ”, que se determinan en 218 masas. La probabilidad de error se ha fijado en 5% y la cantidad de desviaciones estándar en 1.96, la que se ha determinado mediante una tabla de distribución normal considerando un nivel de confianza del 95%. Por otro lado, el error máximo admisible que se ha determinado es del 5%. Por lo tanto, al reemplazar los valores en (12), se ha determinado que el tamaño de muestra debe ser de 140 masas observadas.

Debido a la consistencia observada en la demanda a lo largo de los 7 días, se ha determinado que la toma de muestras se realizará de manera aleatoria. Para este propósito, se ha optado por emplear el muestreo probabilístico, específicamente el muestreo sistemático, en el cual “cada miembro de un grupo es seleccionado en periodos regulares para formar una muestra” (Ortega, 2018). Con esto, se ofrece la oportunidad para que cada intervalo de tiempo registrado en la población sea seleccionado y forme parte de la muestra de estudio.

Debido a la diversidad de productos en el catálogo de la empresa “XYZ” y a la periodicidad con la que se configuran los SKUs en los planes de producción, se ha recopilado una serie

de tiempos presentados en la tabla 2 para las actividades mencionadas en la notación del modelado matemático de la primera fase. Para el tiempo de pesaje de masas, se ha determinado como tiempo más largo como el que se va a utilizar para el estudio del modelo matemático. En el apartado de (ANEXO II) se presentarán los tiempos obtenidos en las observaciones realizadas.

Tabla 2 Estimación de tiempos

	Tiempo observado			Transformación
	Horas	Minutos	Segundos	Segundos
Inicio de turno	0	35	15	2115
Pesaje de masas	0	3	20	200
Fin de turno	0	31	6	1866
Pausas activas	1	5	0	3900
Abastecimiento	0	1	50	110
Transporte	0	4	55	295
Pesaje de rellenos	0	4	0	240
Pesaje de coberturas	0	0	23	23
Alimentación	0	45	0	2700
Necesidades biológicas	0	15	0	900

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

Para el análisis se ha establecido el escenario en el que se trabajará, mismo que se muestra a continuación, tabla 3

Tabla 3 Condiciones de escenario de trabajo actual

Nº masas pesadas	220
Nº relleno de tachos	20
Nº transportes	6

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

En el escenario presentado, se muestra una población de 220 masas destinadas a la producción que deben ser pesadas en el pesaje 1. Los ingredientes utilizados en el pesaje 1 se almacenan en tachos a rellenarse periódicamente durante el pesaje de la cantidad establecida de masas en el plan, lo que representa el 9% del total de masas a producir.

Por otro lado, debido a la disposición de la planta, el pesaje 1 se encuentra ubicado 2 pisos arriba del área de amasado, que es el proceso siguiente en esta línea de producción continua, lo que implica que el operario debe desplazarse. A partir estas observaciones, se determinó que los traslados se realizan una vez que se han pesado 40 masas.

Para la propuesta de mejora, se plantea unificar el proceso de pesaje de rellenos y de decorados en la estación de pesaje 1. Por lo tanto, el escenario propuesto en las condiciones del área de pesaje 1 se detalla en la tabla 4.

Tabla 4 Condiciones de escenario de trabajo propuesto

Nº masas pesadas	220
Nº relleno de tachos	20
Nº transportes	7
Nº rellenos pesados	23
Nº kg de decorado	108

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

En este caso, al escenario de la tabla 3, se añade el número de rellenos pesados, que en porcentaje representa el 13% del total de masas planificadas, que, para el estudio, deberán ser pesadas en la estación pesaje 1.

Por último, en promedio, considerando las proporciones de kilogramos de decorado que lleva cada masa procesada, el resultado obtenido para el pesaje de decorado es de 102 kilogramos por plan.

Hay que recalcar que el tiempo disponible en total son las 24 horas del día, puesto que la planta trabaja 2 turnos de 12 horas cada turno, sin embargo, es necesario hacer la consideración que las 24 horas no son el total de tiempo operativo.

En la tabla 2 se detallan los tiempos que se han determinado como aquellos que tienen que ser descontados del tiempo disponible por día. Posterior a la determinación de tiempo se ha establecido el tiempo que se debe descontar entre tiempo fijo y tiempo variable.

Dentro de tiempo fijo se considera el inicio de turno con una frecuencia de 2, el fin de turno con frecuencia 2

Tabla 5 Frecuencia de actividades fijas

Actividades fijas	Frecuencia
Inicio de turno	2
Fin de turno	2
Tiempo total de pausas activas	2
Alimentación	2
Necesidades biológicas	4

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

Por otro lado, se encuentran actividades variables, que, aunque no agregan valor, son necesarias.

Tabla 6 Actividades variables que no agregan valor, pero son necesarias

Actividades variables	Frecuencia
Nº transportes	Nº masas pesadas /40
Nº kg de decorado	Nº masas pesadas /0.5

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

A partir de esto, se establece el tiempo operativo, mismo que se refiere únicamente al pesaje de ingredientes que se lleven a cabo en la estación pesaje 1.

$$t_{op} = T - t_{set\ up} * f_{set\ up} - t_{fin\ de\ turno} * f_{fin\ de\ turno} - t_{almuerzo} * f_{almuerzo} - t_{pausas\ activas} * f_{pausas\ activas} - t_{nec\ op} * f_{nec\ op} - t_{abastecimiento} * f_{abastecimiento} \quad (12)$$

Lo que en resumen establece un tiempo operativo, tomando como base los valores de tiempo y frecuencia detallados en las tablas 2, 4 y 6. A partir de lo mencionado, se obtienen los siguientes tiempos detallados en la tabla 7.

Tabla 7 Tiempos determinados

Tiempos	Tiempo en segundos
T. por día	86400
T. fijo	22962
T. Variable	4265
T. operativo	59173

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa “XYZ”

2.10.1. Planteamiento de la optimización

Para el planteamiento de la optimización se ha hecho uso de la herramienta Excel Solver, a fin de, formular la optimización que podría llegar a presentar.

Para ello, se han considerado lo siguiente:

- Se ha planteado las variables de decisión que, para este caso, comprenden el número de pesajes de ingredientes, de rellenos y de kilogramos de decorado y el tiempo en segundos empleado en cada una de estas actividades.
- A continuación, se ha definido la función objetivo que esa la sumatoria de los productos entre el número de pesajes realizados por el tiempo necesitado para poder llevarlos a cabo.

- El siguiente paso fue el desarrollo de las restricciones que se definieron previamente

Una vez que se ha planteado el modelo dentro de Excel se procede a hacer uso de Solver

- Dentro de la herramienta que se va a utilizar, se deben añadir los parámetros de restricción que fueron mencionados en el planteamiento de modelo matemático.

Al seguir todos los pasos mencionados e introducir los parámetros establecidos en Solver, la herramienta procederá a buscar una solución óptima utilizando el método de resolución. Esto implica cambiar los valores de las variables de decisión, que en este caso son las cantidades de pesaje, y ajustar la función objetivo para reflejar el tiempo total empleado en el cumplimiento de las actividades.

2.10.2. Planteamiento de la optimización con POM QM

Para el desarrollo del modelo en POM QM es necesario seguir los siguientes pasos

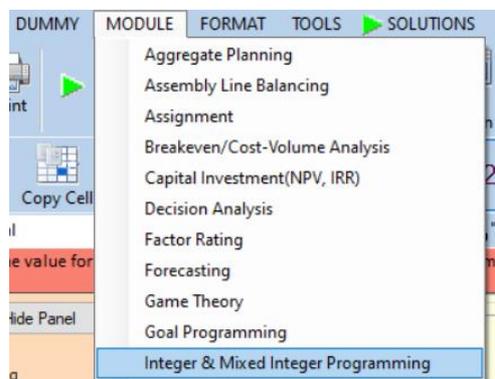


Figura 6 Elección de módulo POM QM

Fuente: Elaboración propia

Con la elección de programación lineal y programación lineal entera mixta, nos aseguramos de que las variables de decisión pesaje de masas y pesaje de rellenos tomen únicamente valores enteros, mientras que el pesaje de kilogramos de decorado pueda tomar valores reales.

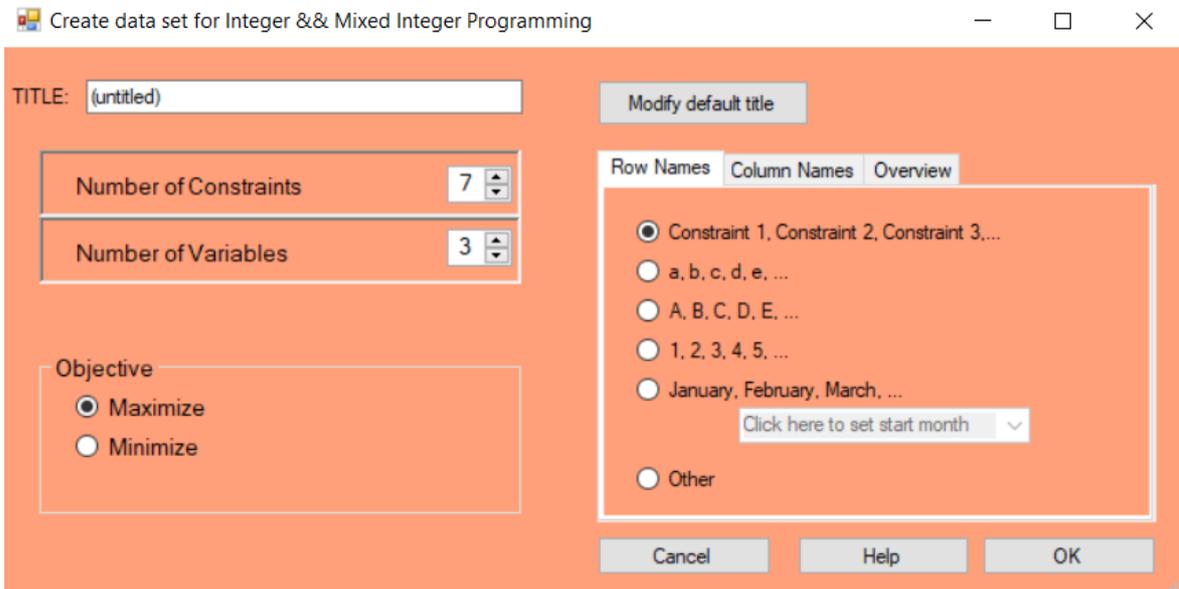


Figura 7 Creación del data set en POM QM

Fuente: Elaboración propia

Lo observado en la figura 16, se refiere a los campos a considerar, en esta sección, el aspecto diferente es el número de iteraciones, pues este valor es el número de veces que se va a repetir el proceso para conseguir la configuración óptima

Objective	Maximum number of iterations			Maximum level (depth) in procedure		
<input checked="" type="radio"/> Maximize <input type="radio"/> Minimize	1000			50		
(untitled)						
	X1	X2	X3		RHS	
Maximize	0	0	0			Max
Constraint 1	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 2	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 3	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 4	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 5	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 6	0	0	0	<=	0	<= 0
Constraint 7	0	0	0	<=	0	<= 0
Variable type (click to set)	Integer	Integer	Integer			

Figura 8 Datos y consideraciones para programación

Fuente: Elaboración propia

Se ha utilizado Solver y POM QM a fin de poder contrastar las soluciones cuando se hace más de una iteración y cuando la búsqueda asciende a más de una, como en este caso 1000.

2.10.3. Simulación del estado actual

2.10.3.1. Verificación de la situación actual

Esta fase llevó a cabo la validación de información brindada por los operarios respecto a las cantidades a producir en el área de pesaje 1. Para ello se consultó con la analista de producción y supervisores, donde se confirmó lo mencionado por los encargados del proceso denominados micreros. La información se detalla en la tabla 8

Tabla 8 Máximos de producción

Línea de producción	Cantidad máxima de masas producidas
Línea 1	160
Línea 2	65
Línea 3	15

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la empresa "XYZ"

Esta validación se lleva a cabo, debido a que, por propósitos de análisis, el escenario que se ha decidido tomar es que el maneja necesidades y tiempos más ajustados a fin de poder simular cuál sería la situación en caso de encontrarse en el "peor caso".

2.10.3.2. Simulación del proceso actual considerando el tiempo de operación más largo

Para la simulación del proceso se toma en cuenta que la jornada laboral son 2 turnos de 12 horas, de lunes a domingo con la consideración que los sábados se realizan limpiezas profundas por lo cual solo se trabaja de manera parcial. El horario que se maneja dentro de la empresa "XYZ" es de 07:00 a 19:00 y de 19:00 a 07:00.

Como se ha mencionado, por la periodicidad de los planes de producción de la organización, se simulará el período de una semana. Es importante recalcar que los planes de producción se manejan de manera diaria, sin mayor distinción de turno, por lo cual la simulación será desarrollada siguiendo el mismo principio. A fin de representar la realidad, se han hecho diferentes consideraciones en cuanto al tiempo disponible para la operación, cuyos resultados están representadas en la tabla 7.

El proceso de pesaje posee una lógica sencilla que se ha representado en la ilustración1

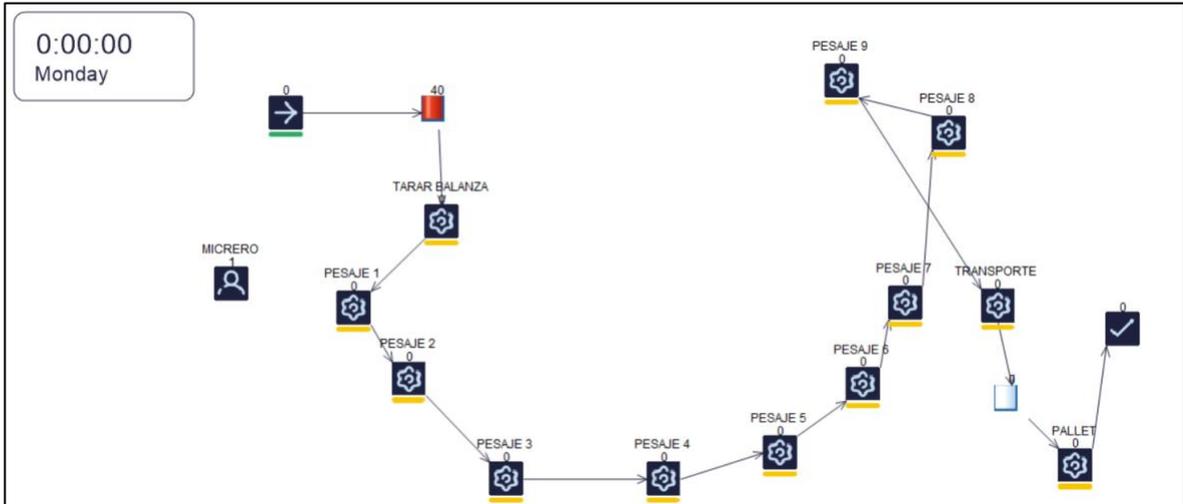


Ilustración 1 Modelo lógico del proceso de pesaje de micro ingredientes en SIMUL8

Fuente: Elaboración propia

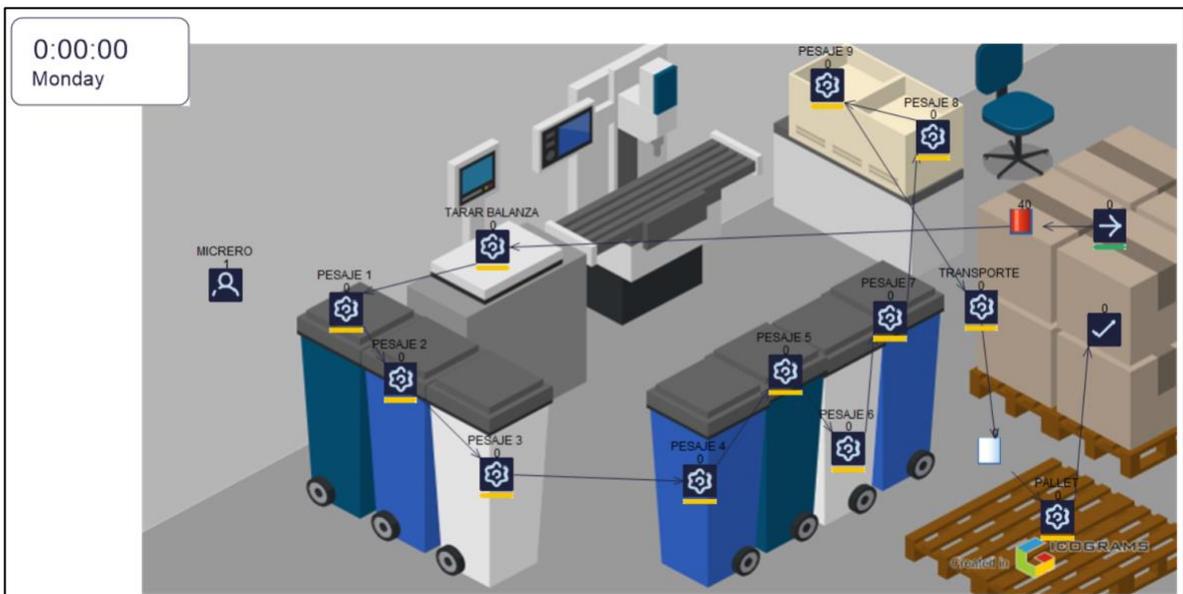


Ilustración 2 Modelo lógico con representación de maquinaria y distribución del proceso de pesaje de micro ingredientes en SIMUL8

Fuente: Elaboración propia

La distribución que siguen los tiempos en cada una de las actividades de este proceso productivo ha sido determinada por la prueba realizada con anterioridad como una distribución normal donde se ha determinado los datos recopilados en la tabla 9

Tabla 9 Parámetros de distribución de actividades

Actividad	Media	Desviación estándar
Tarar balanza	8,61	1,23

Pesaje ing1	14,3	2,04
Pesaje ing2	21,5	3,06
Pesaje ing3	14,3	2,04
Pesaje ing4	14,3	2,04
Pesaje ing5	14,3	2,04
Pesaje ing6	14,3	2,04
Pesaje ing7	14,3	2,04
Pesaje ing8	14,3	2,04
Pesaje ing9	6,45	0,92
Transporte	6,45	0,92

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 3, se muestra la asignación de distribución y del recurso necesario para llevar a cabo la operación, que, al ser de tipo manual, necesitará de la presencia del micrero para poder llevar a cabo cada etapa de la operación.

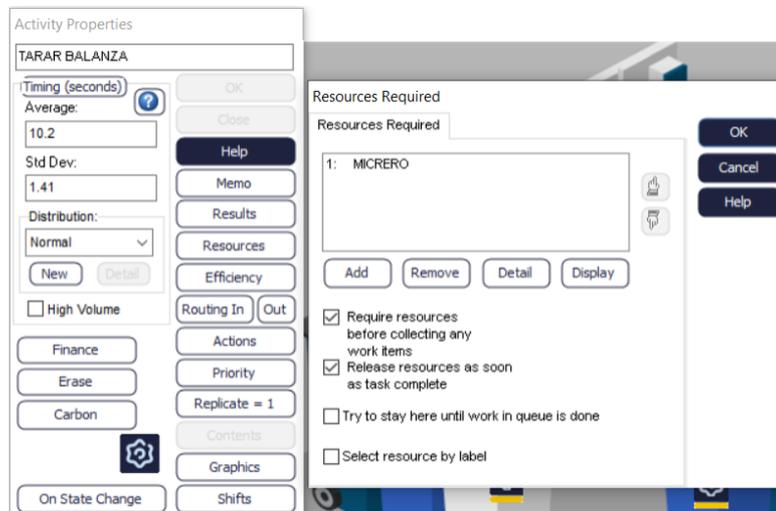


Ilustración 3 Propiedades de actividad y asignación de recursos

Fuente: Elaboración propia

2.10.4. Propuesta de mejora

Posterior a validación de la información del modelo de simulación actual y con las consideraciones adecuadas, se procedió a desarrollar la simulación de la propuesta de mejora realizando cambios al proceso actual a fin de visualizar el potencial escenario. La distribución de actividades actual, como se ha definido previamente pesaje 1 se encarga del pesaje de micro ingredientes, amasado del pesaje de rellenos y personal de formado del pesaje de decorado.

2.10.4.1. Simulación en base al escenario alternativo fase 1

El escenario alternativo que se ha planteado se enfoca en centralizar los procesos de pesaje, a fin de, conseguir la especialización de trabajo y con este principio, reducir el error humano y darle la trazabilidad adecuada al uso de materias primas; a la vez que se maximiza el tiempo de operación del personal del área de pesaje 1.

Para este apartado, se hará uso de los datos ya recopilados en la tabla 4, mostrando el siguiente modelo lógico, donde se plantea que el pesaje de micro ingredientes, rellenos y decorados, sea efectuado en el mismo espacio físico.

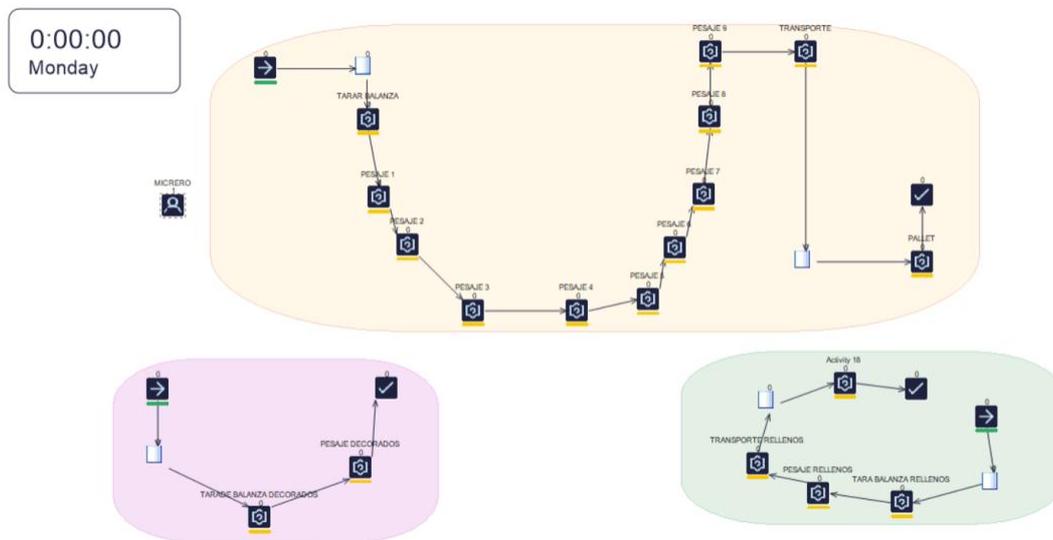


Ilustración 4 Modelo lógico de la mejora de proceso en el área de pesaje 1 en SIMUL8

Fuente: Elaboración propia

La información utilizada para la nueva asignación de actividades en el área de pesaje 1, ha sido extraída de la tabla 2 donde se detallan los tiempos de operación para efectuar las diferentes tareas.

2.11 Desarrollo de la estrategia de solución fase 2

Para la segunda fase del caso de análisis, al mantener la característica de ser un problema experimental se ha decidido tomar una muestra que se asemeje a la población, a fin de, por medio de simulación hacer una propuesta de mejora para la problemática presentada.

La consideración realizada para el desarrollo de la estrategia de solución fase 1 que establece la similitud de los planes de producción y la semejanza entre las familias de

productos que se producen diariamente, se usa también para la fase 2, donde se llegó a la conclusión

2.11.1. Situación actual

La situación actual de esta fase es que la planta de producción de pan cuenta con tres líneas que se encuentran activas simultáneamente por determinados periodos de tiempos, cada línea cuenta con sus maquinarias para cumplir sus determinados procesos. Sin embargo, el área de amasados es una misma estación para suplir a las tres líneas.

Para cada línea teóricamente se ha designado un masero, sin embargo, las líneas no producen la misma cantidad de masas, por lo cual un factor de interés para la organización ha sido comprobar si realmente se necesita un operario para cada línea, o sin sacrificar la respuesta a la demanda, se puede utilizar menos operarios para satisfacer las necesidades.

Se menciona lo anterior que es en teoría porque usualmente, solo las líneas 1 y 2 están constantemente activas y los operarios han determinado como distribución del trabajo repartirse las tareas que les han sido asignadas, con las que cumplen satisfactoriamente los planes de producción.

Para ello se ha hecho una recopilación de cuánto tiempo en promedio los operarios se demoran en las actividades que son manuales dentro del área de amasados. Estos tiempos están recopilados en la tabla 10

Tabla 10 *Tiempos de actividades en al área de amasados*

Actividad	Distribución (segundos)
Colocación de micro ingredientes	Promedio (20)
Colocación de macro ingredientes	Promedio (330)
Colocación de ingredientes 1	Promedio (21)
Colocación de ingredientes 2	Promedio (25)
Set up y arranque de amasadoras	Promedio (20)
Amasadoras	Triangular (420, 480, 720)
Transporte de cubas desde amasado a elevador de cubas	Promedio (10)
Elevador de cubas	Promedio (25)
Transporte de cubas desde elevadora amasados	Promedio (12)

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la ilustración 5 se presenta el modelo lógico de la situación que actualmente maneja la empresa donde existe un operario para cada línea

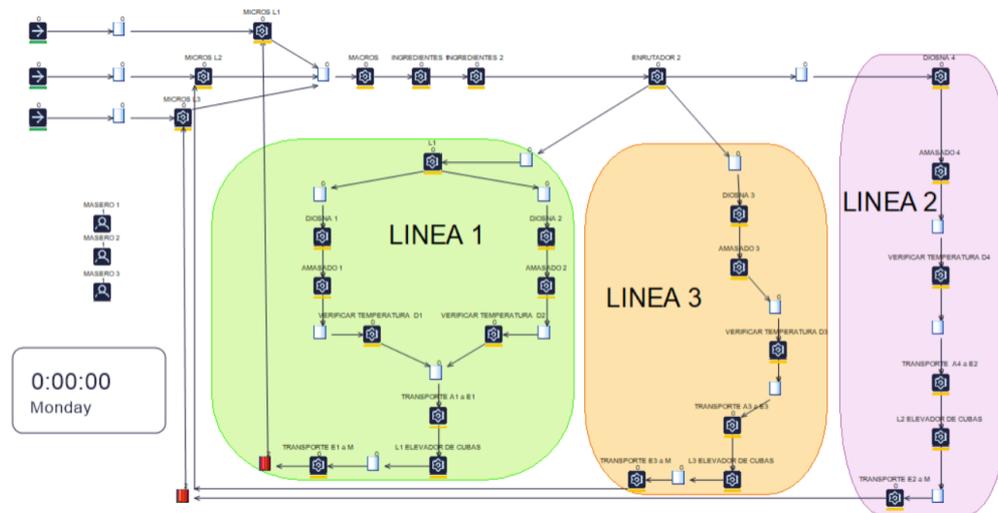


Ilustración 5 Modelo lógico proceso de producción en el área de amasados en SIMUL8

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 5 no se ha enmarcado para ninguna línea la colocación de micro ingredientes, macro ingredientes, ingrediente 1 e ingrediente 2 debido a que es un proceso que comparte las tres líneas, lo que implica que, para la realización de estas actividades, se usan las mismas máquinas.

En este diagrama se pueden ver algunos íconos que pueden llegar a representar una actividad dentro del simulador pero que no lo son, como es el caso del enrutador, enrutador 2 y L1, estas actividades son ficticias y sirven dentro del modelo para

- Se parte de 3 entradas, mismas que delimitan la cantidad máxima que el área puede recibir de su proceso anterior que es el pesaje 1. Para la línea 1, se pueden procesar un máximo de 160 gavetas, para la línea 2 65 gavetas y para la línea 3, 15 gavetas.
- Enrutador 2: sirve para la distribución de ítems de entrada acorde a la etiqueta colocada en el enrutador donde a las masas para línea 1 se les definió como 1, para línea 2 como 2 y para línea 3 como 3.
- L1: sirve para distribuir circularmente las masas que llegan a la línea 1, es decir, que a las 2 amasadoras que dispone la línea se le asignarán masas intercaladamente.

Para este análisis, las actividades a considerar son solo las realizadas manualmente y que necesitan la presencia y estancia el operario para poder realizarse.

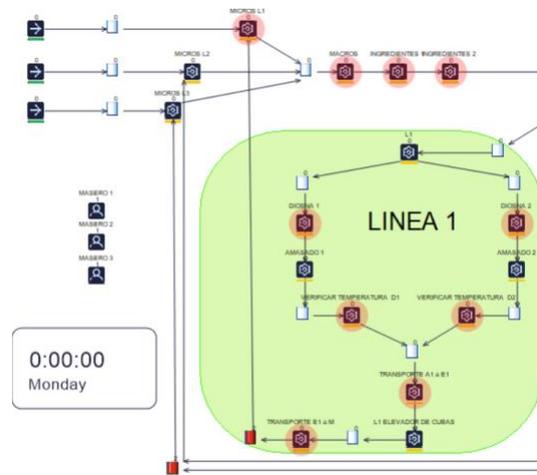


Ilustración 6 Actividades asignadas al masero 1

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 6, se pueden ver las actividades que han sido asignadas al masero 1, en este caso, debido a que línea 1 es la línea que más producción maneja cuenta con dos amasadoras y el operario en este caso tendrá que encargarse de las 2.

Por otro lado se encuentran las actividades del masero 2 que están detalladas en la ilustración 7,

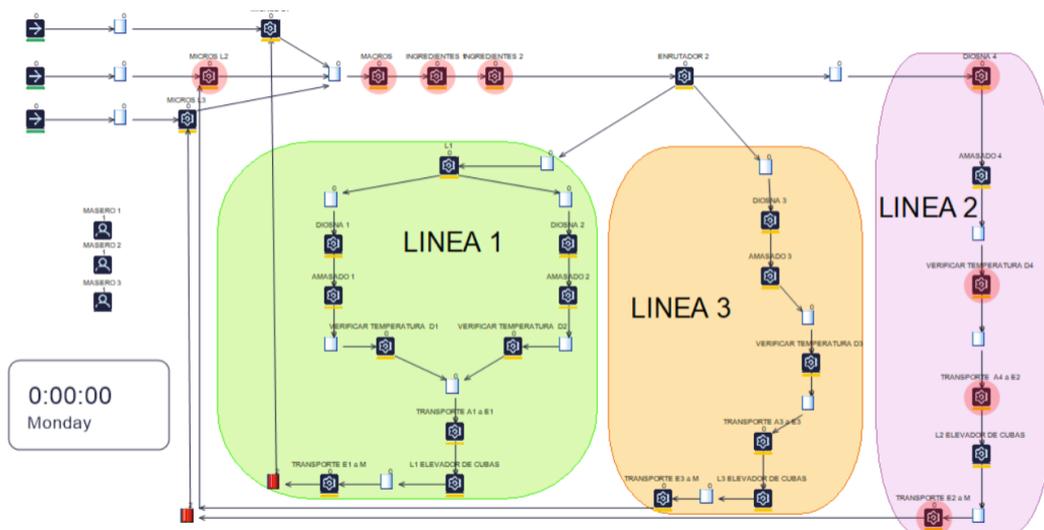


Ilustración 7 Actividades asignada al masero 2

Fuente: Elaboración propia

En esta línea, se cuenta con una consideración especial. Cuando línea 3 no se encuentra activa, línea 2 funciona con las 2 amasadoras, sin embargo, el análisis que se desea hacer

es en el caso que las tres líneas estén operativas, lo que deja una amasadora disponible para cada línea como se aprecia en la ilustración 7.

2.11.2. Propuesta de mejora

Para esta fase del proyecto la propuesta de mejora como se ha mencionado con anterioridad es optimizar la cantidad de operarios que trabajan en esta área para ello se ha probado la situación actual, y se probarán 2 escenarios alternativos.

2.11.2.1. Simulación en base al escenario 1

Este escenario probará una redistribución de actividades, mismas que se pudieron evidenciar algunas de las visitas a planta y que según las respuestas obtenidas a raíz de la entrevista semiestructurada con los operarios del área de amasados se definió como uno de los escenarios posibles.

Este escenario muestra cómo se distribuirían las tareas entre los operarios y si con esta distribución podrían suplir las necesidades de producción.

El modelo lógico se mantiene, sin embargo, la redistribución de actividades se plantearía como se puede visualizar en las ilustraciones 8 y 9.

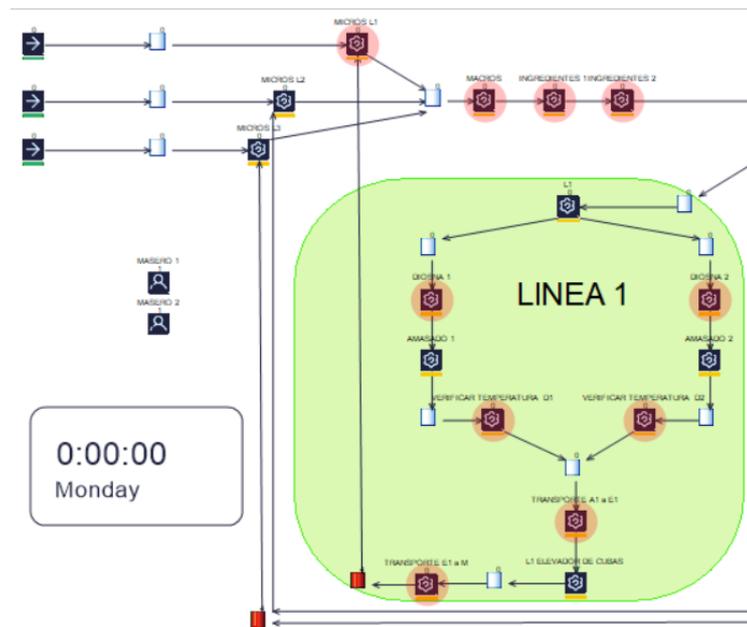


Ilustración 8 Actividades asignadas al masero 1

Fuente: Elaboración propia

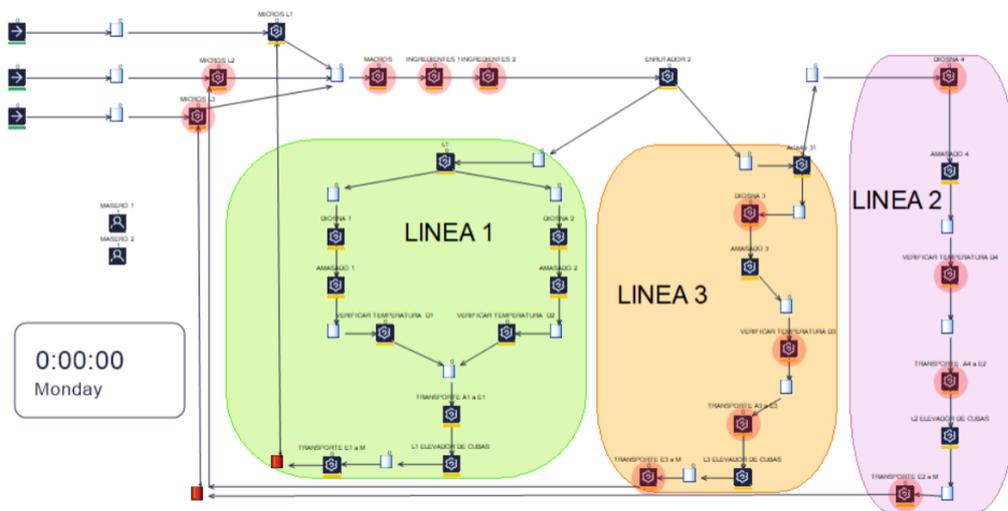


Ilustración 9 Actividades asignadas al masero 2

Fuente: Elaboración propia

3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1 Resultados

Para la propuesta de mejora de la fase 1, se presenta las dos resoluciones del modelo matemático propuesto.

Después de la optimización con programación lineal realizada con Solver en la Figura 9, se puede identificar los resultados obtenidos que serán detallados en la tabla 11

MODELO DE OPTIMIZACIÓN PESAJE 1

	Ingredientes X1	Relleno X2	Decorado X3		TIEMPO TOTAL
# Pesajes	235	33	106		57358
T. Empleado	200	240	23		

Restricciones						
R1	200	240	23	57358	≤	57373
R2	1	0	0	235	≤	253
R3	0	1	0	33	≤	33
R4	0	0	1	106	≤	117
R5	1	0	0	235	≥	220
R6	0	1	0	33	≥	30
R7	0	0	1	106	≥	102

Figura 9 Optimización programación línea

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Resultados de la optimización con programación lineal

Ingredientes	Relleno	Decorado
235	33	106

Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se tiene la resolución obtenida con el software POM QM que, mediante el uso de programación lineal entera simple, mostró los resultados detallados en la tabla 11. Sin embargo, debido a que el pesaje de decorado se da en kg, se toma la opción de utilizar programación línea entera mixta, a fin de evaluar posibles escenarios.

MICRERO V2 Solution					
	X1	X2	X3		RHS
Maximize	200	240	23		
Constraint 1	200	240	23	<=	57373
Constraint 2	1	0	0	<=	253
Constraint 3	0	1	0	<=	33
Constraint 4	0	0	1	<=	117
Constraint 5	1	0	0	>=	220
Constraint 6	0	1	0	>=	30
Constraint 7	0	0	1	>=	102
Variable type (click to set)	Integer	Integer	Real		
Solution->	235	33	106,65	Optimal Z->	57373

Figura 10 Optimización programación lineal entera mixta

Fuente: Elaboración propia

En Anexos III, se podrá encontrar la tabla que el software POM QM muestra posterior a la optimización considerando un número máximo de iteraciones de 100000 para la solución del problema la tabla mencionada en el ANEXO IV cuenta con las iteraciones que han dado soluciones enteras, no enteras y las que no son factibles. En la tabla 12 a continuación, visualizarán únicamente las soluciones que hayan sido identificadas como enteras, ya que son las que cumplen con las restricciones previamente establecidas.

Tabla 12 Soluciones posibles de la optimización con POM QM

Nº	Restricción agregada	Tipo de solución	Valor de solución	X1	X2	X3
2	X1 <= 235	INTEGER	57373	235	33	106,65
5	X1 <= 236	INTEGER	57373	236	32	108,39
8	X1 <= 237	INTEGER	57373	237	31	110,13

11	$X1 \leq 239$	INTEGER	57373	239	30	103,17
----	---------------	---------	-------	-----	----	--------

Fuente: Elaboración propia

Con esta información se elaboró la ilustración 10 que agrupa las posibles soluciones, a fin de poder visualizar cuales serían los resultados dependiendo de la configuración de pesajes que pueden ser utilizados. La ilustración 10 sostiene que el mayor tiempo de utilización es de 57372,99 segundos que corresponde a la iteración 8 de la tabla 12.

Sin embargo, el programa POM QM escoge como óptimo a la iteración 2 con una utilización de 57372,95 segundos, que presenta una mínima diferencia de 0.04s con la iteración 8 que la es que ocupa 57372,99 segundos. Si bien la iteración 8 usa 0.04s más para la operación, la iteración 2 maximiza las cantidades que se pueden asignar como límite superior para la restricción del pesaje máximo de rellenos y una nueva restricción que establece como máximo de pesaje de ingredientes (235 unidades).



Ilustración 10 Posibles soluciones de la optimización con POM QM

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13 Resultados de la optimización con programación lineal entera mixta

Ingredientes	Relleno	Decorado
235	33	106.65

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se han recopilado los resultados obtenidos de la optimización con programación lineal entera mixta. Con la información presentada en la tabla 13 y la

obtenida en la tabla 11, se presenta la tabla 14 que reflejará el totalizado de los tiempos y la diferencia de las configuraciones de pesaje que se han identificados como óptimas.

Tabla 14 Tiempo disponible operativo con la optimización

T. a utilizar PLEM (s)	T. a utilizar PL (s)
57372.95	57358

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 14, se ha desarrollado la ilustración 11, en la que se hace una comparación para determinar la solución que se elegirá. Debido a que la configuración del mix de pesaje que muestra la solución obtenida con programación lineal entera mixta, se acerca más al tiempo disponible, ese camino será el tomado como óptimo

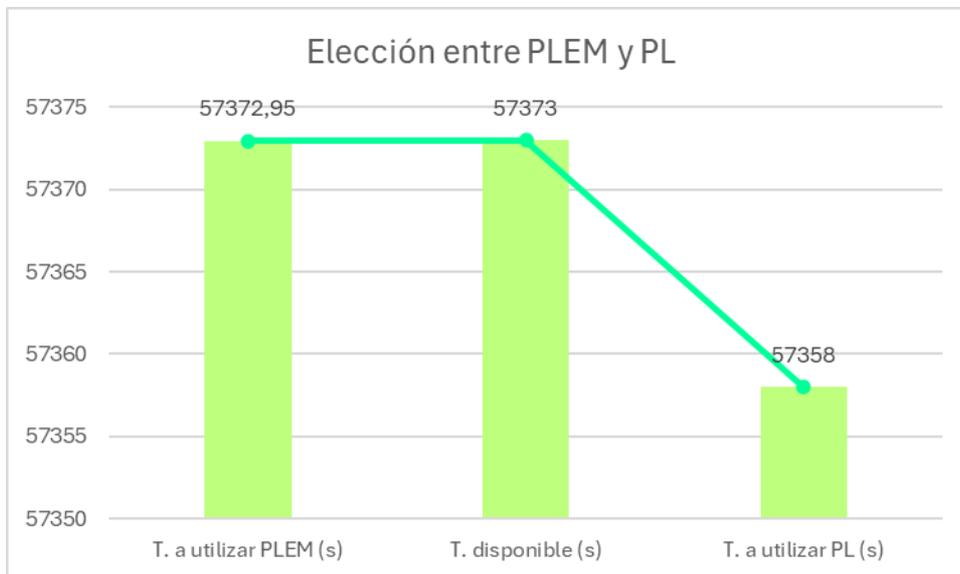


Ilustración 11 Elección de resolución

Fuente: Elaboración propia

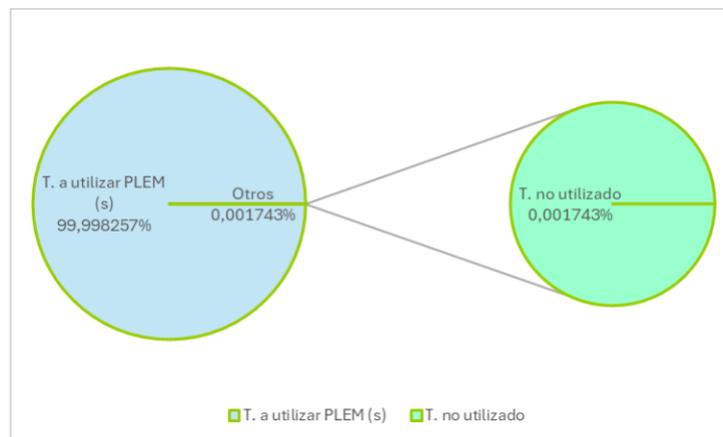


Ilustración 12 Porcentaje de tiempo disponible sin utilizar con resolución de PLEM

Fuente: Elaboración propia

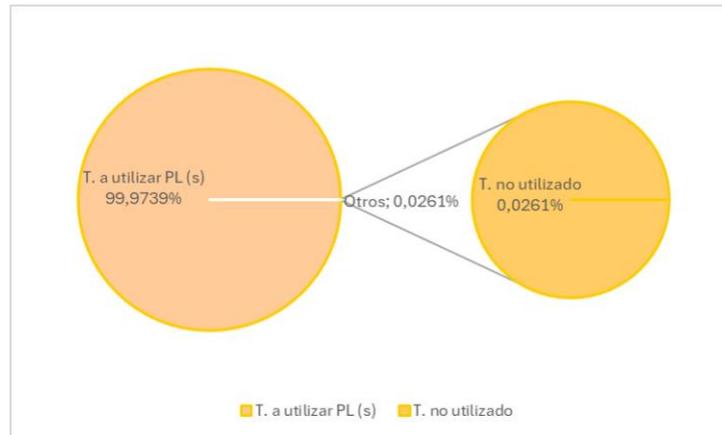


Ilustración 13 Porcentaje de tiempo disponible sin utilizar con resolución de PL

Fuente: Elaboración propia

A partir de la ilustración 12, se puede visualizar de manera más clara y en forma porcentual el tiempo que no se está utilizando posterior a la optimización con programación lineal entera mixta (PLEM). Este porcentaje del 0.001743% representa un valor considerablemente pequeño en relación con el tiempo que está siendo operativo. Por otro lado, de la ilustración 13, se puede evidenciar un porcentaje de tiempo no utilizado de 0.0261% con el uso de optimización con programación lineal (PL).

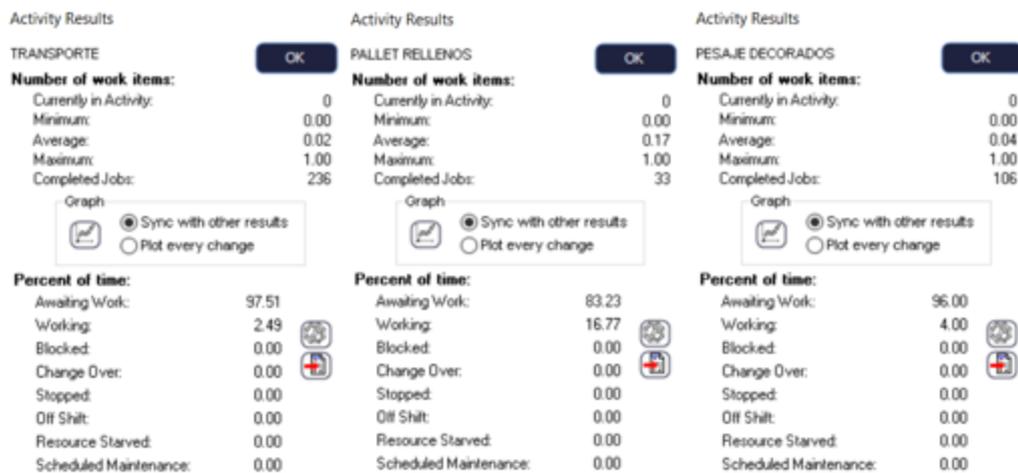


Ilustración 14 Resultados obtenidos con SIMUL8 de la propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, para la segunda fase de este proyecto, a raíz de la simulación, se pudo identificar el impacto de los diversos escenarios que podrían presentarse en cuanto a la configuración de personal que se maneje dentro del área de pesaje 1. Dentro de los resultados que se han obtenido es la tasa de utilización de los operarios. Los resultados se encuentran agrupados en la tabla 15

Tabla 15 Porcentaje de utilización del recurso

	Situación teórica	Propuesta
Masero 1	78.2%	83.6%
Masero 2	66.1%	86%
Masero 3	18.6%	-

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 15 se ha desarrollado el siguiente gráfico. En la ilustración 14 se visualiza el porcentaje de utilización del recurso a partir de la situación actual que es con el uso de 3 maseros y la situación propuesta que es el uso de 2 maseros para suplir las 3 líneas cuando estén activas.

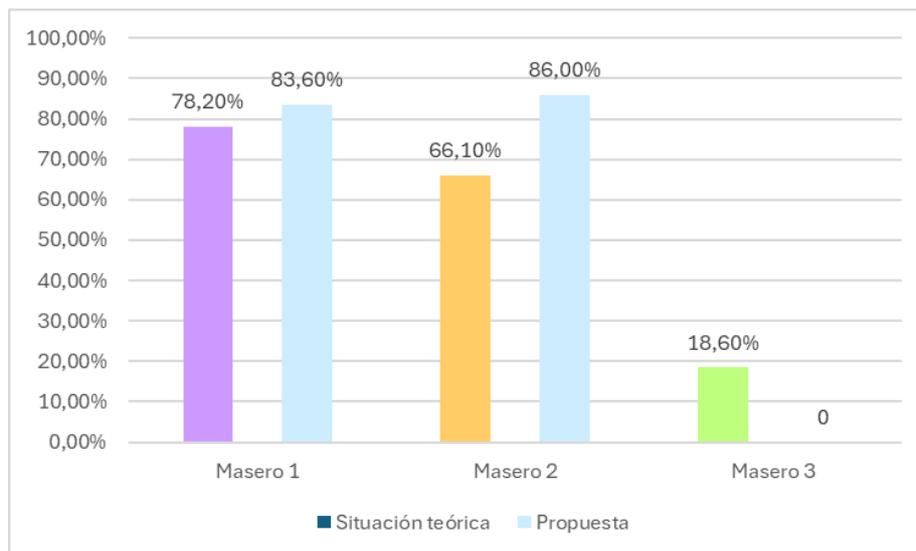


Ilustración 15 Utilización de maseros en las líneas

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 16 que se muestra a continuación, se visualiza los escenarios que están siendo estudiados, si el área de amasados trabaja con un operario por cada línea, a pesar de que al área entren todos los requerimientos que se necesiten para que las líneas

funcionen al tope de lo que puede suplir el área previa, se puede ver que, en la situación teórica, los maseros de línea 1 y de línea 2 no alcanzan a suplir las necesidades de sus líneas. Y tomando la información recopilada de la tabla 15, la utilización de estos operarios es menor al 80%.

Este es un aspecto que hay que recalcar viene dado por la distribución de actividad y que desde el inicio de este proceso existe un cuello de botella, es el que marca el ritmo de producción. Este cuello de botella se encuentra en Macros debido a que ese tiempo el operario debe permanecer vigilante a lo que sucede con el abastecimiento y encargarse de los registros pertinentes referentes a las masas que está produciendo.

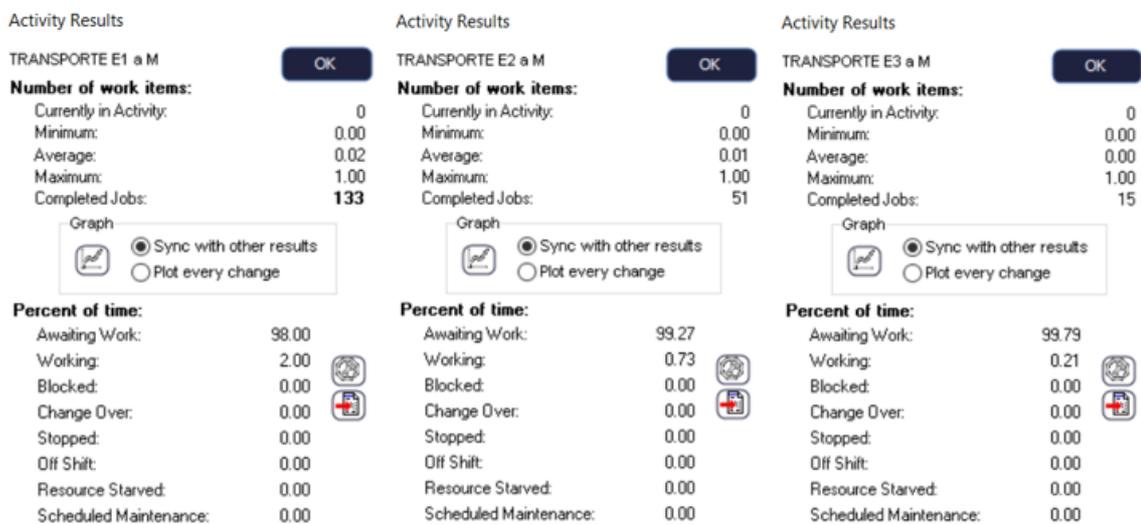


Ilustración 16 Resultados de actividad final en la situación actual de amasados

Fuente: Elaboración propia

En la ilustración 17 se toma el caso donde ya se ha hecho la redistribución del trabajo que se está proponiendo y se puede visualizar, que bajo las mismas condiciones del sistema en general, pero considerando 1 operario menos, los 2 maseros alcanzan a suplir las necesidades de las 3 líneas. Y en referencia a la tabla 15, los maseros aumentan su porcentaje de utilización de tiempo operativo.

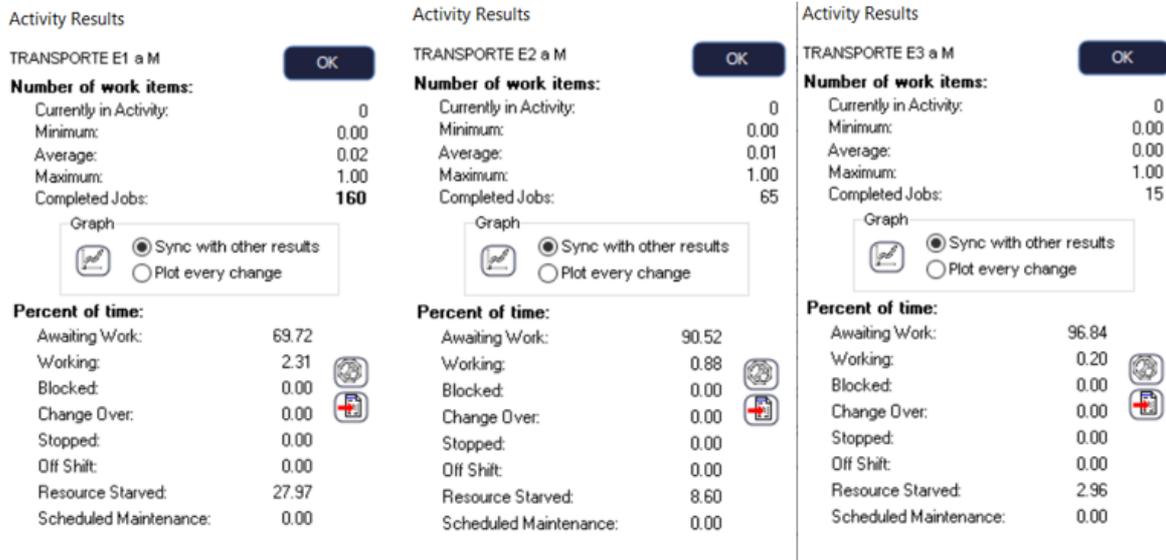


Ilustración 17 Resultados de actividad final en la redistribución de amasados

Fuente: Elaboración propia

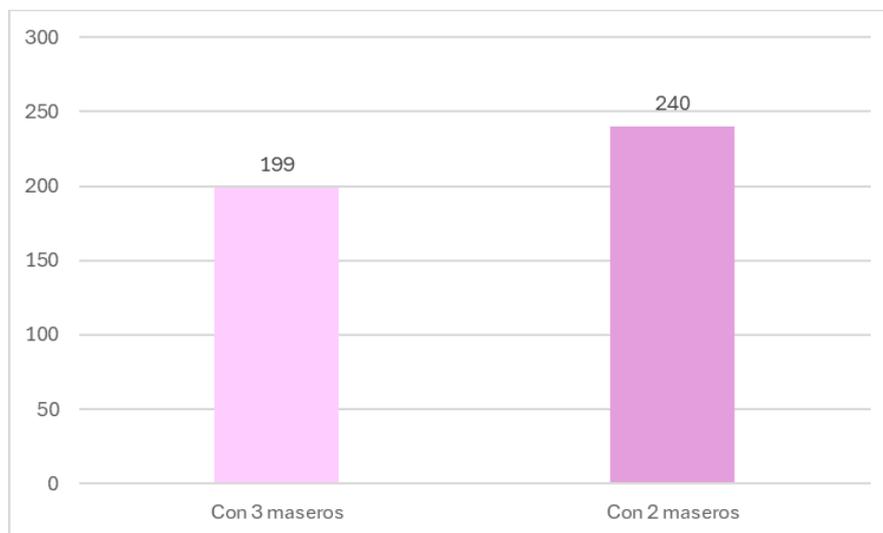


Ilustración 18 Cantidad de masas hechas con variación de operarios

Fuente: Elaboración propia

Los resultados mostrados en la ilustración 18 se refieren a la cantidad de masas que han podido ser elaboradas y con cuantos maseros se puede llevar a cabo. Estos dos escenarios son bajo la misma consideración de tiempo disponible. La diferencia que se puede evidenciar es de 41 masas.

En términos económicos, cada operario percibe en promedio un sueldo de 649 USD por lo que el sueldo en el área de amasados en función de los operarios que trabajen en dicho proceso se refleja en la ilustración 19

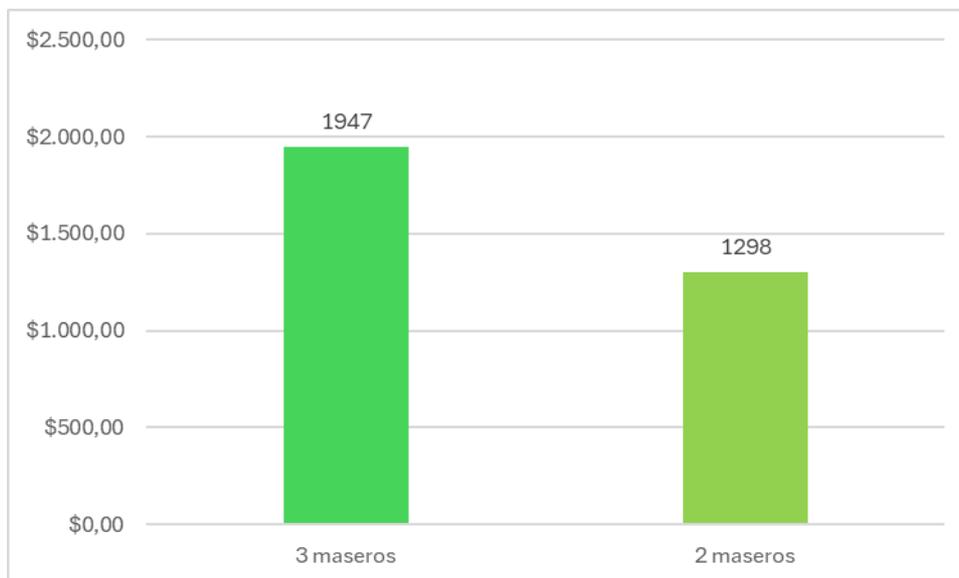


Ilustración 19 Sueldo mensual de uno de los equipos de turno

Fuente: Elaboración propia

La diferencia de montos a pagar a fin de mes a cada uno de los equipos que componen los turnos rotativos de trabajo es de \$649 por equipo, la planta cuenta con 3 equipos que rotan por turnos, por lo que esa diferencia se totaliza en 1947 USD al final de cada mes. La proyección anual de lo que deja de desembolsar la planta se refleja en la ilustración 20.

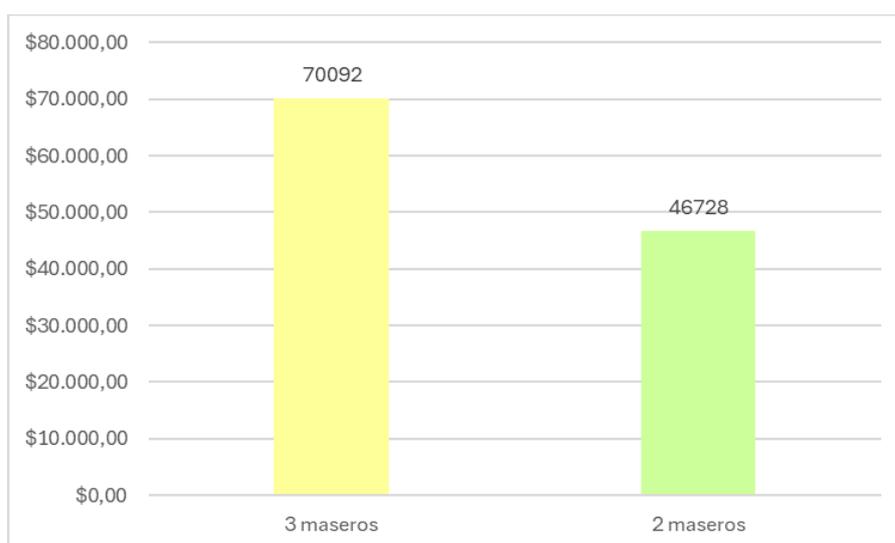


Ilustración 20 Proyección anual de desembolso de salarios para amasados

Fuente: Elaboración propia

A partir de la ilustración 20, se puede decir que lo que la planta dejaría de desembolsar en salarios para el área de amasados anualmente sería 23364 USD.

3.2 Pruebas

3.2.1. Pruebas de productividad

Para la primera fase del proyecto, es necesario mostrar los contrastes que se han obtenido a raíz de la propuesta de implementación de mejora

$$\text{Eficiencia entre propuestas de optimización} = \frac{T_{PLEM}}{T_{PL}} \quad (13)$$

De la ecuación (13) con la información recopilada en la tabla 14, se tiene que la eficiencia entre propuestas de optimización es de 0.6%, que posiciona a la programación lineal entera mixta como la elección para obtener la maximización que se espera

$$\text{eficicinecia de uso de tiempo de la propuesta} = \frac{\text{Tiempo de optimización}}{\text{Tiempo situación actual}} \quad (14)$$

De acuerdo con la ecuación 14 y los tiempos detallados previamente para esta fase de la propuesta de mejora que se pueden apreciar agrupados en la ilustración 21, se observa que el tiempo de operación actual es de 47,000 segundos y el tiempo de optimización de 57372.95 segundos. Por lo tanto, la eficiencia de la propuesta en este caso sería del 22.7%.

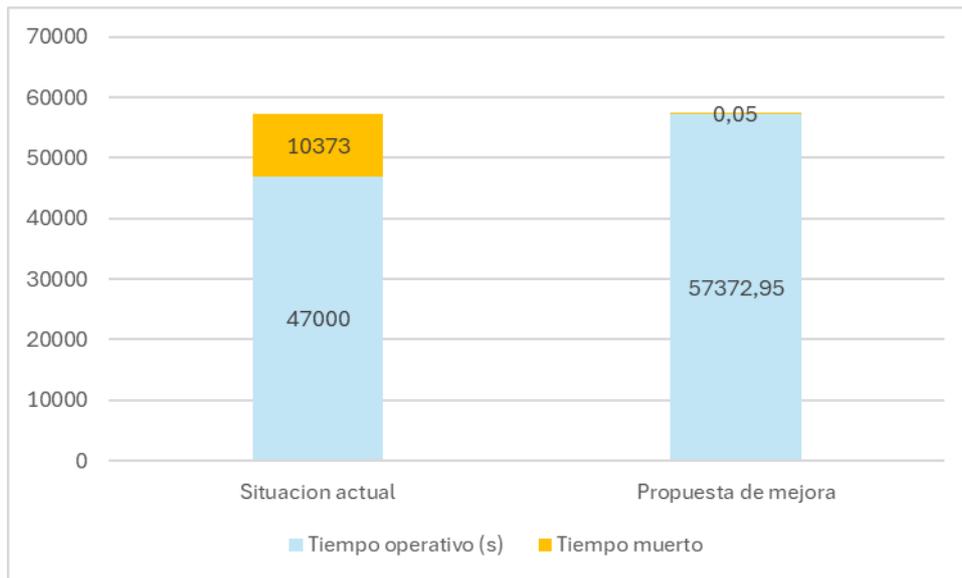


Ilustración 21 Comparación entre la situación actual y la propuesta de mejora

Fuente: Elaboración propia

Haciendo uso de la ecuación (2), en esta área la productividad venia dada de la siguiente forma,

$$productividad\ anterior = \frac{235\ pesajes}{47000s} * 3600s/h$$

$$productividad\ anterior = 18\ pesajes/h$$

$$productividad\ actual = 28.69\ pesajes/h$$

se producían alrededor de 18 pesajes por hora, sin embargo, actualmente se realizan 28.69 pesajes por hora lo que da un aumento de la productividad del 59.39%

Para la segunda fase, se visualiza la optimización con la ecuación 2, en el escenario actual, se utilizan 3 maseros y en la propuesta, para producir exactamente lo mismo o dada la posibilidad, más productos, se propone que se utilice dos maseros, lo que es una clara muestra de optimizar y producir más o lo mismo con menos recursos.

Tabla 16 Resultados obtenidos posterior a la simulación

	Situación actual	Implementación de mejora teórica
Línea 1	133	160
Línea 2	51	65
Línea 3	15	16
Total	199	240

Fuente: Elaboración propia

A partir de la tabla 16, se puede evidenciar que la producción de masas aumentó en 41 masas, lo que implica un aumento de un 26% en la producción considerando el mismo tiempo de producción.

De la ecuación (2) se obtiene que

$$productividad\ anterior = \frac{133 + 51 + 15\ masas}{3\ maseros}$$

$$productividad\ anterior = 66.33\ masas/masero$$

$$productividad\ actual = 120\ masas/masero$$

Donde se observa que por masero, la productividad anterior era de 66.33 masas por masero. Y con la optimización, será de 103 masas por maseros, lo cual se traduce a un 56.06% de aumento de productividad.

3.3 Conclusiones

- Inicialmente cuando existe un observador viendo el proceso, el pesaje de los ingredientes para las masas podía llevar entre 4 a 6 minutos. Sin embargo, se optó por colocar una cámara en el área para mitigar la influencia del observador y se llegó a la conclusión que los operarios en ausencia de observadores trabajan a un ritmo más rápido lo que les permite manejar una holgura considerable que fueron los tiempos utilizados para este trabajo.
- En cuanto al aumento de la productividad, se representa en la reasignación de tareas buscando una eficiencia operativa de alrededor del 59.39 % adicional, porque los operarios de la estación de pesaje 1 con el mismo tiempo disponible logran obtener más pesajes.
- La especialización del trabajo permite la minimización de errores de proceso. Por lo que, para ver el impacto que el cambio propuesto podría traer, en cuanto a la variación de inventario que existía en el proceso de pesaje, se necesita de otro estudio.
- Debido a la maximización del uso del tiempo operativo disponible, la propuesta de mejora que se plantea propone un aumento en la eficiencia del uso del tiempo del 22.07%.
- En la segunda fase del proyecto se puso en análisis la optimización de recursos humanos en el área de amasados y posterior a la simulación, se concluyó que favorablemente, el área puede operar con 2 maseros sin poner en riesgo la satisfacción de la demanda, esto se pudo evidenciar por parte de los resultados, que posicionaron un escenario antiguo con dos operadores funcionando por debajo del 80%
- La segunda fase de la propuesta menciona a su vez una redistribución de las actividades en el área de amasado, con esta propuesta, la producción de masas incrementaría en un 26% a la situación teórica actual, considerando el mismo tiempo de operación.
- En el aspecto económico, esta implementación de mejora de optimizar la cantidad de maseros en el área representaría que la organización anualmente debería dejar de desembolsar alrededor de 23364 USD en salarios. Considerando que por su característica de turnos rotativos la planta dispone de 3 grupos, cada grupo cuenta con su equipo de 3 maseros

- Con la redistribución de actividades, los operarios utilizan de manera eficiente su tiempo disponible, ya que con la propuesta que se plante, los maseros pasan de producir 66.33 masas por masero a alrededor de 103 masas por masero, lo que se traduce a un aumento de 56.06% en productividad.
- Como conclusión, es importante identificar que aún con la nueva distribución de trabajo, los maseros aún cuentan con tiempo disponible, ya que no trabajan al 100% lo que significa que podrían seguir produciendo, sin embargo, el dispensador de macros y los cuellos de botella (proofer y horno) más adelante en el proceso determina el ritmo de producción.

3.4 Recomendaciones

- Se recomienda que para un estudio de tiempos se limite la interacción del observador con el operario observado, debido a que distorsiona la información obtenida.
- Para la organización "XYZ" se recomienda un rediseño de sus estaciones de trabajo, esto debido a que cuenta con actividades innecesarias pero que tampoco agregan valor como los desplazamientos por temas de layout de la estación de trabajo.
- Se recomienda que las estaciones de pesaje funciones con un flujo tipo U que limite los desplazamientos del operador
- Se recomienda que en el área de pesaje 1, se implementen gavetas más pequeñas que permitan que los operarios no tenga que recurrir a los tachos grandes por cantidades reducidas cada vez que las necesiten
- Se recomienda que se analice la posibilidad de levantar el cuello de botella que representa el dispensador de macros o los cuellos de botella más adelante en el proceso a fin de que los operarios puedan aprovechar de manera eficiente su tiempo disponible.
- La organización necesita revisar la programación de sus planes de producción debido a que no están siendo emitidos siguiendo principios de agrupamiento por familia de productos que permita la agilidad operativa cada que tengan que hacer algún cambio.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adby, P. (2013). *Introduction to optimization methods*. Springer Science & Business Media.
- Alvarado, J. (2009). La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas. *Reflexiones*, 89-105.
- Archam, H. (2015). *Modelos Deterministas: Optimización Lineal*. Obtenido de University of Baltimore: <https://home.ubalt.edu/ntsbarsh/business-stat/opre/spanishd.htm#ropintroduction>
- Banga, J., Balsa-Canto, E., Moles, C., & Alonso, A. (2003). Improving food processing using modern optimization methods. *Trends in Food Science & Technology*, 131–144. doi:[https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(03\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(03)00048-7)
- Bermúdez, Y. (2011). Aplicaciones de programación lineal, entera y mixta. *Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias*, 85-104.
- Cervantes, L. (2015). *Modelización matemática: principios y aplicaciones*. Puebla: Direccion de Fomento Editorial .
- Colmenares, O. (2007). *Medición de la productividad empresarial*. Obtenido de Revista digital Gestipolis.: <https://www.gestipolis.com/medicion-de-la-productividad-empresarial>.
- Cromtek. (2019). *El pesaje en control de calidad en industria de alimentos*. Obtenido de Cromtek.cl.: <https://www.cromtek.cl/2023/04/10/el-pesaje-en-control-de-calidad-en-industria-de-alimentos/>
- Ekon. (8 de septiembre de 2021). *Métricas de los indicadores de productividad en la empresa*. Obtenido de Ekon: <https://www.ekon.es/blog/metricas-indicadores-de-productividad-empresa/>
- Estavillo, J., & Zamora, M. (2002). Un análisis sectorial-regional de la productividad del trabajo en España. *Cuadernos de Estudios Empresariales*, 27-48.
- Fullana, C., & Urquía, E. (2009). Los modelos de simulación: una herramienta multidisciplinar de investigación. *Encuentros multidisciplinares*, 37-48.
- Grajales, T. (27 de 03 de 2000). *Tipos de investigación*. Obtenido de On line: <https://cmapspublic2.ihmc.us/rid=1RM1F0L42-VZ46F4-319H/871.pdf>
- Guerra, J. (24 de Junio de 2020). *Optimización de recursos. Concepto y tipos*. Obtenido de Gestipolis: <https://www.gestipolis.com/concepto-de-optimizacion-de-recursos/>
- Hernández, R., & Mendoza, C. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Ciudad de México: McGraw-Hill interamericana editores, S.A. de C.V.
- IBM. (05 de 03 de 2021). *¿Qué es la programación lineal de enteros mixta?* Obtenido de IBM: <https://www.ibm.com/docs/es/icos/12.9.0?topic=programming-what-is-mixed-integer-linear>

- Lee, C. (1973). *Models in planning: an introduction to the use of quantitative models in planning*. doi:<https://doi.org/10.1016/C2013-0-05623-X>
- Marmolejo, S., Santana, F., Granillo, R., & Piedra, V. (2013). La simulación con FlexSim, una fuente alternativa para la toma de decisiones en las operaciones de un sistema híbrido. *Científica*, 39-49.
- Medina, J. (2010). Modelo integral de productividad, aspectos importantes para su implementación. *Revista EAN*, 110-119.
- Mesas, J., & Alegre, M. (2002). El pan y su proceso de elaboración. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 307-313.
- Morales, C., & Masis, A. (2014). La medición de la productividad del valor agregado: una aplicación empírica en una cooperativa agroalimentaria de Costa Rica. *Tec Empresarial*, 41-49.
- Mourtzis, D., Doukas, M., & Bernidaki, D. (2014). Simulation in manufacturing: Review and challenges. *Procedia CIRP*, 213–229.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.procir.2014.10.032>
- Mun, J. (2012). *Simulador de riesgo. Manual de usuario en español*. Obtenido de Real Options Valuation, Inc.: <https://rovdnloads.com/attachments/rsmanual-spanish.pdf>
- Nieto, E. (2018). *Tipos de investigación*. Obtenido de Universidad Santo Domingo: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>
- Niño, M. (2003). Modelamiento a través de la programación lineal entera mixta del problema de programación de operaciones en el taller de trabajo. *UIS Ingenierías*, 9-17.
- Ojha, S. K. (2014). Management of productivity: who is responsible for unproductiveness? *Journal of General Management Research*, 83-98.
- Ortega, C. (2018). *Muestro probabilístico: Qué es y cuándo utilizarlo*. Obtenido de QuestionPro: <https://www.questionpro.com/blog/es/como-realizar-un-muestreo-probabilistico/>
- Pekuri, A., Haapasalo, H., & Maila, H. (2011). Productivity and Performance Management – Managerial Practices in the Construction Industry. *International Journal of Performance Measurement*, 39-58.
- Petergas, S., & Pita, S. (2001). La distribución normal. *Cad Aten Primaria*, 268-274.
- Pidd, M. (1997). Tools for thinking—Modelling in management science. *Journal of the Operational Research Society*, 11-50.
- Real Options Valuation. (2021). *Risk Simulation*. Obtenido de Real Options Valuation: <https://www.realoptionsvaluation.com/risk-simulator/#ques1>
- Rodriguez, F., & Gomez, L. (1991). *Indicadores de calidad y productividad en la empresa*. Editorial Nuevos Tiempos.
- Rosero, C. (2015). *POM-QM 3 PARA WINDOWS*. Obtenido de Corporación Capisoft : <https://capisoftcorp.blogspot.com/p/pom-qm-3.html>

- Simul8 Corporation. (s.f.). *Simul8 Corporation*. Obtenido de Simul8:
<https://www.simul8.com/>
- Sink, D. S., Tuttle, T. C., & DeVries, S. J. (1984). Productivity measurement and evaluation: What is available. *National Productivity Review*, 265-287.
- SYDLE. (25 de Agosto de 2021). *Optimización de procesos: ¿Qué es y por qué es tan importante para tu negocio?* Obtenido de Blog SYDLE:
<https://www.sydle.com/es/blog/que-es-optimizacion-de-procesos-6126ac39b060f57604039a57>
- Torres, M., Paz, K., & Salazar, F. (2006). Tamaño de muestra para una investigación de mercado. *Boletín electrónico*, 1-13.
- Universidad Mariano Galvez. (11 de 2016). *Modelo de asignación*. Obtenido de Investigación de operaciones:
<https://proyectoinvestigacionoperaciones.wordpress.com/2016/11/09/primera-entrada-del-blog/>
- Universidad Veracruzana. (s.f.). *Introducción a la Investigación: guía interactiva*. Obtenido de Universidad Veracruzana:
<https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>

5 ANEXOS

5.1 ANEXO I

Prueba de normalidad

Prueba de Normalidad

La prueba de Normalidad es una prueba no paramétrica, la cual no hace supuestos sobre la forma específica de la población de la cual se deriva la muestra, permitiendo que se analicen muestras pequeñas del conjunto de datos a ser analizados. Esta prueba evalúa la hipótesis nula de cualquier muestra que haya sido tomada de una población con distribución normal, contra una hipótesis alternativa en la que el conjunto de datos no está normalmente distribuido. Si el valor p calculado es menor o igual al valor alfa de significancia, entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. De otra manera, si el valor p es mayor que el valor de significancia alfa, no se rechaza la hipótesis nula. Esta prueba consiste en dos frecuencias acumulativas: una derivada del conjunto de datos sencillos, la segunda de una distribución teórica basada en la media y la desviación estándar del conjunto de datos. Una alternativa a esta prueba es la Prueba Chi - Cuadrado para normalidad. La prueba Chi -Cuadrado requiere más datos para poder ser ejecutada comparada con la prueba de Normalidad utilizada aquí.

Resultados de la Prueba

		Datos	Frecuencia Relativa	Observado	Esperado	O-E					
Promedio de Datos	143,42										
Desviación Estándar	20,43	115,00	0,01	0,01	0,0821	-0,0677	147,00	0,01	0,62	0,5696	0,0491
Estadístico D	0,1104	116,00	0,01	0,03	0,0898	-0,0610	148,00	0,03	0,65	0,5887	0,0587
D - Crítico al 1%	0,1116	117,00	0,03	0,06	0,0980	-0,0405	149,00	0,02	0,67	0,6077	0,0614
D - Crítico al 5%	0,1201	118,00	0,02	0,08	0,1067	-0,0276	150,00	0,01	0,68	0,6263	0,0571
D - Crítico al 10%	0,1430	119,00	0,04	0,12	0,1160	-0,0009	151,00	0,01	0,70	0,6447	0,0531
Hipótesis Nula: Los datos se encuentran distribuidos normalmente.		120,00	0,01	0,12	0,1259	-0,0036	152,00	0,02	0,72	0,6628	0,0566
		121,00	0,04	0,17	0,1363	0,0292	153,00	0,02	0,74	0,6805	0,0605
Conclusión: El conjunto de datos es normalmente distribuido al 1% nivel alfa.		123,00	0,02	0,19	0,1588	0,0282	154,00	0,01	0,75	0,6978	0,0504
		124,00	0,01	0,19	0,1710	0,0233	155,00	0,04	0,78	0,7146	0,0696
		125,00	0,01	0,21	0,1837	0,0250	157,00	0,01	0,79	0,7469	0,0445
		127,00	0,04	0,24	0,2108	0,0338	158,00	0,01	0,81	0,7623	0,0434
		128,00	0,03	0,27	0,2252	0,0481	162,00	0,01	0,82	0,8185	0,0017
		129,00	0,02	0,29	0,2402	0,0548	163,00	0,01	0,83	0,8311	-0,0037
		130,00	0,02	0,32	0,2557	0,0609	164,00	0,01	0,84	0,8431	-0,0014
		131,00	0,02	0,34	0,2717	0,0665	165,00	0,01	0,85	0,8546	-0,0057
		132,00	0,03	0,37	0,2881	0,0788	166,00	0,01	0,86	0,8655	-0,0094
		133,00	0,01	0,38	0,3051	0,0762	172,00	0,01	0,87	0,9191	-0,0486
		134,00	0,02	0,40	0,3224	0,0805	174,00	0,01	0,88	0,9328	-0,0551
		136,00	0,02	0,42	0,3583	0,0662	175,00	0,01	0,88	0,9389	-0,0540
		137,00	0,02	0,45	0,3767	0,0693	179,00	0,02	0,91	0,9592	-0,0527
		139,00	0,04	0,49	0,4144	0,0748	180,00	0,01	0,92	0,9633	-0,0425
		140,00	0,04	0,53	0,4336	0,0988	183,00	0,04	0,96	0,9736	-0,0096
		141,00	0,03	0,56	0,4529	0,1082	185,00	0,01	0,98	0,9791	-0,0007

5.2 ANEXO II

Observaciones de muestra

	MINUTOS (min)	SEGUNDOS (s)	TOTAL (s)
1	2	59	179
2	1	58	118
3	2	7	127
4	2	3	123
5	2	42	162
6	2	29	149
7	2	28	148
8	2	11	131
9	2	54	174
10	2	45	165
11	2	17	137
12	2	14	134

13	1	56	116
14	2	33	153
15	2	5	125
16	2	46	166
17	2	25	145
18	2	30	150
19	2	59	179
20	2	29	149
21	2	19	139
21	2	19	139
23	2	52	172
24	2	28	148
25	2	20	140
26	2	20	140
27	2	26	146
28	1	59	119
29	1	55	115
30	2	5	125
31	1	55	115
32	2	30	150
33	3	7	187
34	2	22	142
35	2	22	142
36	2	0	120
37	2	19	139
38	2	37	157
39	2	28	148
40	2	17	137
41	2	10	130
42	1	56	116
43	2	9	129
44	3	5	185
45	3	0	180
46	2	20	140
47	2	14	134
48	2	38	158
49	3	3	183

50	3	3	183
51	2	35	155
52	2	16	136
53	2	8	128
54	2	21	141
55	2	10	130
56	2	27	147
57	2	13	133
58	2	19	139
59	2	8	128
60	2	9	129
61	2	17	137
62	3	11	191
63	2	7	127
64	2	9	129
65	2	3	123
66	2	43	163
67	2	55	175
68	2	35	155
69	1	57	117
70	1	57	117
71	2	32	152
72	1	58	118
73	2	34	154
74	2	21	141
75	2	1	121
76	2	33	153
77	2	44	164
78	2	12	132
79	1	57	117
80	2	32	152
81	2	12	132
82	2	4	124
83	2	35	155
84	1	59	119
85	2	31	151
86	2	11	131

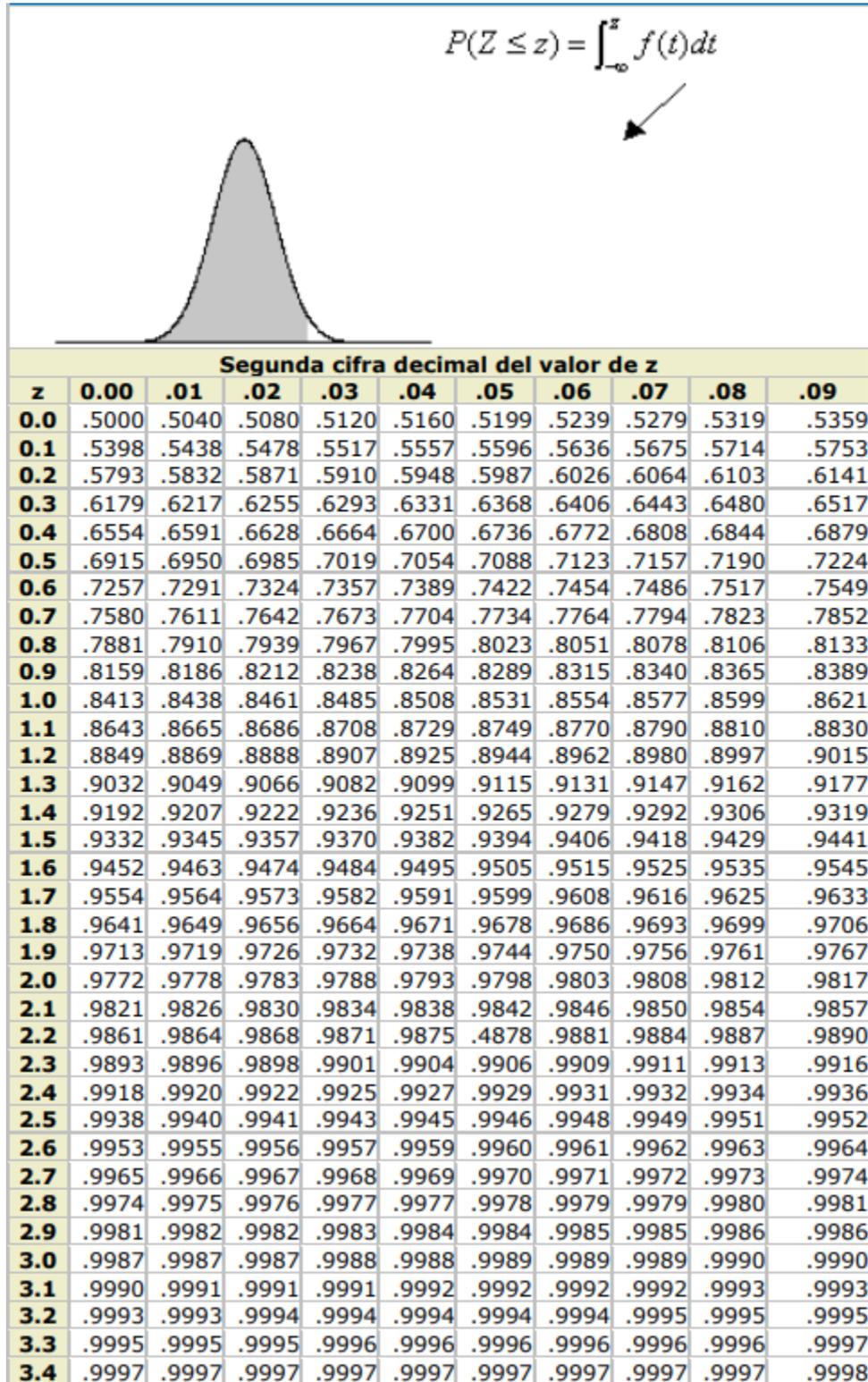
87	2	1	121
88	2	1	121
89	2	7	127
90	1	59	119
91	2	22	142
92	3	3	183
93	3	3	183
94	2	35	155
95	2	16	136
96	2	8	128
97	2	21	141
98	2	10	130
99	2	27	147
100	2	13	133
101	3	20	200
102	2	29	149
103	2	19	139
104	2	19	139
105	2	52	172
106	2	28	148
107	2	20	140
108	2	20	140
109	2	26	146
110	2	21	141
111	2	1	121
112	2	33	153
113	2	44	164
114	2	12	132
115	1	57	117
116	2	32	152
117	2	12	132
118	3	5	185
119	3	0	180
120	2	20	140
121	2	14	134
122	2	38	158
123	3	3	183

124	3	3	183
125	2	35	155
126	2	16	136
127	2	8	128
129	1	59	119
130	2	31	151
131	2	11	131
132	2	1	121
133	2	1	121
134	2	7	127
135	1	59	119
136	2	59	179
137	1	58	118
138	2	7	127
139	2	3	123
140	2	42	162

Fuente: Elaboración propia

5.3 ANEXO III

Tabla de distribución normal



Fuente: (Petergas & Pita, 2001, pág. 271)

5.4 ANEXO IV

Tabla de soluciones con POM QM

MICRERO V2 Solution							
Iteration	Level	Added constraint	Solution type	Solution Value	X1	X2	X3
			Optimal	57373	235	33	106,65
1	0		NONinteger	57373	235,54	33	102
2	1	X1 <= 235	INTEGER	57373	235	33	106,65
3	1	X1 >= 236	NONinteger	57373	236	32,61	102
4	2	X2 <= 32	NONinteger	57373	236,74	32	102
5	3	X1 <= 236	INTEGER	57373	236	32	108,39
6	3	X1 >= 237	NONinteger	57373	237	31,78	102
7	4	X2 <= 31	NONinteger	57373	237,94	31	102
8	5	X1 <= 237	INTEGER	57373	237	31	110,13
9	5	X1 >= 238	NONinteger	57373	238	30,95	102
10	6	X2 <= 30	NONinteger	57373	239,14	30	102
11	7	X1 <= 239	INTEGER	57373	239	30	103,17
12	7	X1 >= 240	Infeasible				
13	6	X2 >= 31	Infeasible				
14	4	X2 >= 32	Infeasible				
15	2	X2 >= 33	Infeasible				

Fuente: Elaboración propia

5.5 ANEXO IV

Tabla de iteraciones con POM QM

Nº	Restricción agregada	Tipo de solución	Valor de solución	X1	X2	X3
1		NONinteger	57373	235,54	33	102
2	X1 <= 235	INTEGER	57373	235	33	106,65
3	X1 >= 236	NONinteger	57373	236	32,61	102
4	X2 <= 32	NONinteger	57373	236,74	32	102
5	X1 <= 236	INTEGER	57373	236	32	108,39
6	X1 >= 237	NONinteger	57373	237	31,78	102
7	X2 <= 31	NONinteger	57373	237,94	31	102
8	X1 <= 237	INTEGER	57373	237	31	110,13

9	X1 >= 238	NONinteger	57373	238	30,95	102
10	X2 <= 30	NONinteger	57373	239,14	30	102
11	X1 <= 239	INTEGER	57373	239	30	103,17
12	X1 >= 240	Infeasible				
13	X2 >= 31	Infeasible				
14	X2 >= 32	Infeasible				
15	X2 >= 33	Infeasible				

Fuente: Elaboración propia

5.6 ANEXO IV

Tabla de observaciones desglosadas

	ACT 1	ACT 2	ACT 3	ACT 4	ACT 5	ACT 6	ACT 7	ACT 8	ACT 9	ACT 10	ACT 11
1	10,7	17,9	26,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	8,055	8,055
2	7,08	11,8	17,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	5,31	5,31
3	7,62	12,7	19,1	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	5,715	5,715
4	7,38	12,3	18,5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	5,535	5,535
5	9,72	16,2	24,3	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	7,29	7,29
6	8,94	14,9	22,4	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	6,705	6,705
7	8,88	14,8	22,2	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	6,66	6,66
8	7,86	13,1	19,7	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	5,895	5,895
9	10,4	17,4	26,1	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	17,4	7,83	7,83
10	9,9	16,5	24,8	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	16,5	7,425	7,425
11	8,22	13,7	20,6	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	6,165	6,165
12	8,04	13,4	20,1	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	6,03	6,03
13	6,96	11,6	17,4	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	5,22	5,22
14	9,18	15,3	23	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	6,885	6,885
15	7,5	12,5	18,8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	5,625	5,625
16	9,96	16,6	24,9	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	16,6	7,47	7,47
17	8,7	14,5	21,8	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	14,5	6,525	6,525
18	9	15	22,5	15	15	15	15	15	15	6,75	6,75
19	10,7	17,9	26,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	8,055	8,055
20	8,94	14,9	22,4	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	6,705	6,705
21	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
22	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
23	10,3	17,2	25,8	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	7,74	7,74

24	8,88	14,8	22,2	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	6,66	6,66
25	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
26	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
27	8,76	14,6	21,9	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	6,57	6,57
28	7,14	11,9	17,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	5,355	5,355
29	6,9	11,5	17,3	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	5,175	5,175
30	7,5	12,5	18,8	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	12,5	5,625	5,625
31	6,9	11,5	17,3	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	5,175	5,175
32	9	15	22,5	15	15	15	15	15	15	6,75	6,75
33	11,2	18,7	28,1	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	18,7	8,415	8,415
34	8,52	14,2	21,3	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	6,39	6,39
35	8,52	14,2	21,3	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	6,39	6,39
36	7,2	12	18	12	12	12	12	12	12	5,4	5,4
37	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
38	9,42	15,7	23,6	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	7,065	7,065
39	8,88	14,8	22,2	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	6,66	6,66
40	8,22	13,7	20,6	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	6,165	6,165
41	7,8	13	19,5	13	13	13	13	13	13	5,85	5,85
42	6,96	11,6	17,4	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	11,6	5,22	5,22
43	7,74	12,9	19,4	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	5,805	5,805
44	11,1	18,5	27,8	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	8,325	8,325
45	10,8	18	27	18	18	18	18	18	18	8,1	8,1
46	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
47	8,04	13,4	20,1	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	6,03	6,03
48	9,48	15,8	23,7	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	7,11	7,11
49	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
50	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
51	9,3	15,5	23,3	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	6,975	6,975
52	8,16	13,6	20,4	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	6,12	6,12
53	7,68	12,8	19,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	5,76	5,76
54	8,46	14,1	21,2	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	6,345	6,345
55	7,8	13	19,5	13	13	13	13	13	13	5,85	5,85
56	8,82	14,7	22,1	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	6,615	6,615
57	7,98	13,3	20	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	5,985	5,985
58	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
59	7,68	12,8	19,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	5,76	5,76
60	7,74	12,9	19,4	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	5,805	5,805
61	8,22	13,7	20,6	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	13,7	6,165	6,165
62	11,5	19,1	28,7	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	19,1	8,595	8,595
63	7,62	12,7	19,1	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	5,715	5,715
64	7,74	12,9	19,4	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	12,9	5,805	5,805
65	7,38	12,3	18,5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	5,535	5,535
66	9,78	16,3	24,5	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	16,3	7,335	7,335
67	10,5	17,5	26,3	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	7,875	7,875
68	9,3	15,5	23,3	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	6,975	6,975
69	7,02	11,7	17,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	5,265	5,265

70	7,02	11,7	17,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	5,265	5,265
71	9,12	15,2	22,8	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	6,84	6,84
72	7,08	11,8	17,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	5,31	5,31
73	9,24	15,4	23,1	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	15,4	6,93	6,93
74	8,46	14,1	21,2	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	6,345	6,345
75	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
76	9,18	15,3	23	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	6,885	6,885
77	9,84	16,4	24,6	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	7,38	7,38
78	7,92	13,2	19,8	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	5,94	5,94
79	7,02	11,7	17,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	5,265	5,265
80	9,12	15,2	22,8	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	6,84	6,84
81	7,92	13,2	19,8	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	5,94	5,94
82	7,44	12,4	18,6	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	12,4	5,58	5,58
83	9,3	15,5	23,3	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	6,975	6,975
84	7,14	11,9	17,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	5,355	5,355
85	9,06	15,1	22,7	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	6,795	6,795
86	7,86	13,1	19,7	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	5,895	5,895
87	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
88	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
89	7,62	12,7	19,1	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	5,715	5,715
90	7,14	11,9	17,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	5,355	5,355
91	8,52	14,2	21,3	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	6,39	6,39
92	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
93	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
94	9,3	15,5	23,3	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	6,975	6,975
95	8,16	13,6	20,4	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	6,12	6,12
96	7,68	12,8	19,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	5,76	5,76
97	8,46	14,1	21,2	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	6,345	6,345
98	7,8	13	19,5	13	13	13	13	13	13	5,85	5,85
99	8,82	14,7	22,1	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	14,7	6,615	6,615
100	7,98	13,3	20	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	13,3	5,985	5,985
101	12	20	30	20	20	20	20	20	20	9	9
102	8,94	14,9	22,4	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	14,9	6,705	6,705
103	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
104	8,34	13,9	20,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	13,9	6,255	6,255
105	10,3	17,2	25,8	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	17,2	7,74	7,74
106	8,88	14,8	22,2	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	14,8	6,66	6,66
107	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
108	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
109	8,76	14,6	21,9	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	14,6	6,57	6,57
110	8,46	14,1	21,2	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	14,1	6,345	6,345
111	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
112	9,18	15,3	23	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	15,3	6,885	6,885
113	9,84	16,4	24,6	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	16,4	7,38	7,38
114	7,92	13,2	19,8	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	5,94	5,94
115	7,02	11,7	17,6	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	11,7	5,265	5,265

116	9,12	15,2	22,8	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	15,2	6,84	6,84
117	7,92	13,2	19,8	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	13,2	5,94	5,94
118	11,1	18,5	27,8	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	18,5	8,325	8,325
119	10,8	18	27	18	18	18	18	18	18	8,1	8,1
120	8,4	14	21	14	14	14	14	14	14	6,3	6,3
121	8,04	13,4	20,1	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	13,4	6,03	6,03
122	9,48	15,8	23,7	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	15,8	7,11	7,11
123	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
124	11	18,3	27,5	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	18,3	8,235	8,235
125	9,3	15,5	23,3	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	6,975	6,975
126	8,16	13,6	20,4	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	13,6	6,12	6,12
127	7,68	12,8	19,2	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	12,8	5,76	5,76
128	7,14	11,9	17,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	5,355	5,355
129	9,06	15,1	22,7	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	15,1	6,795	6,795
130	7,86	13,1	19,7	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	13,1	5,895	5,895
131	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
132	7,26	12,1	18,2	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	12,1	5,445	5,445
133	7,62	12,7	19,1	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	5,715	5,715
134	7,14	11,9	17,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	5,355	5,355
135	10,7	17,9	26,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	17,9	8,055	8,055
136	7,08	11,8	17,7	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	11,8	5,31	5,31
137	7,62	12,7	19,1	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	12,7	5,715	5,715
138	7,38	12,3	18,5	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	12,3	5,535	5,535
139	9,72	16,2	24,3	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	7,29	7,29

Fuente: Elaboración propia