

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E INDUSTRIAL/CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

Tema: Optimización de los indicadores de productividad de los procesos de manufactura de una empresa láctea mediante la simulación con Flexsim integrando la filosofía Lean Manufacturing.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de Magister en
Matemática Aplicada

Modalidad de titulación Proyecto de Desarrollo

Autor: Ing. Cristian Andrés Flores Cadena, Mg.

Director: Ing. Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D.

Ambato-Ecuador

2021

APROBACIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

A la Unidad de Titulación de la Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica E Industrial.

El Tribunal receptor de la Defensa del Trabajo de Titulación presidido por la Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg., e integrado por los señores: Ing. Cristina Isabel Reinoso Astudillo Ph.D. e Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte Mg., designados por la Unidad de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “Optimización de los indicadores de productividad de los procesos de manufactura de una empresa láctea mediante la simulación con Flexsim integrando la filosofía Lean Manufacturing”, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Cristian Andrés Flores Cadena Magister, para optar por el Grado Académico de Magister en Matemática Aplicada; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la Universidad Técnica de Ambato

Ing. Elsa Pilar Urrutia Urrutia Mg.
Presidente y Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Cristina Isabel Reinoso Astudillo Ph.D.
Miembro del Tribunal de Defensa

Ing. Víctor Santiago Manzano Villafuerte Mg.
Miembro del Tribunal de Defensa

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: “Optimización de los indicadores de productividad de los procesos de manufactura de una empresa láctea mediante la simulación con Flexsim integrando la filosofía lean Manufacturing”, le corresponde exclusivamente al Ingeniero Cristian Andrés Flores Cadena Magister, Autor bajo la Dirección de Ingeniero Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D., Director del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Cristian Andrés Flores Cadena Mg.

AUTOR

Ing. Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D.

DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi Trabajo de Titulación, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad Técnica de Ambato.

Ing. Cristian Andrés Flores Cadena Mg.

C.C. 1718478231

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
AGRADECIMIENTOS	x
DEDICATORIA	xi
RESUMEN EJECUTIVO	xii
EXECUTIVE SUMMARY	xiv
CAPITULO I.....	1
EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1. Introducción	1
1.2. Justificación	2
1.3. Objetivos	2
1.3.1. General.....	2
1.3.2. Específicos	2
CAPITULO II	4
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	4
CAPITULO III.....	17
MARCO METODOLÓGICO	17
3.1. Ubicación	17
3.2. Equipos y materiales	18
3.3. Tipo de investigación	18
3.3.1. Investigación bibliográfica	18
3.3.2. Investigación de campo	19
3.3.3. Investigación descriptiva.....	19
3.4. Prueba de hipótesis.....	19
3.5. Población o muestra	19
3.6. Recolección de información	20
3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico	21
3.8. Variables respuesta o resultados alcanzados.....	22
CAPITULO IV	23
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Recolectar los datos de los procesos de manufactura de la empresa mediante una visita in situ de la planta de producción	23

4.2. Simulación de los procesos de manufactura mediante el programa Flexsim para medir y analizar los indicadores de productividad inicial	29
4.3. Simulación del proceso de manufactura mediante la integración de la filosofía Lean Manufacturing para medir y analizar los indicadores de productividad final.	42
4.4. Comparación los resultados de los indicadores obtenidos de las simulaciones mediante un análisis de varianza ANOVA para determinar diferencias estadísticamente significativas.....	45
4.5 Verificación de hipótesis	47
CAPITULO V	52
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS	52
5.1. Conclusiones	52
5.2. Recomendaciones.....	54
5.3. BIBLIOGRAFÍA.....	55
5.4. ANEXOS	60

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Descripción de los procesos de producción en la elaboración de yogurt....	23
Tabla 2.- Descripción de los procesos de producción en la elaboración del queso mozzarella	26
Tabla 3.- Representación de los equipos de la línea de elaboración de yogurt mediante librerías de Flexsim	29
Tabla 4.- Distribución de probabilidad para los procesos de la elaboración de yogurt	32
Tabla 5. Indicadores de productividad inicial del modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt	35
Tabla 6.- Representación de los equipos de la línea de elaboración de yogurt mediante librerías de Flexsim	35
Tabla 7. Distribución de probabilidad para los procesos de la elaboración del queso mozzarella	39
Tabla 8.- Indicadores de productividad inicial del modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella.....	42
Tabla 9. Propuesta de mejora de la línea de elaboración de yogurt	42
Tabla 10. Media de los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt.....	44
Tabla 11. Propuesta de mejora de la línea de elaboración del queso mozzarella	45
Tabla 12. Media de los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella	46
Tabla 13.- Prueba de rangos múltiples en el tiempo de ciclo de los distintos escenarios en el proceso de yogurt.....	47
Tabla 14.- Prueba de rangos múltiples en la productividad de los distintos escenarios de la línea de yogurt	48
Tabla 15.- Prueba de rangos múltiples en el tiempo de ciclo de los distintos escenarios colocar el nombre del escenario	49
Tabla 16.- Prueba de rangos múltiples en la productividad de los distintos escenarios de la línea del queso mozzarella	50
Tabla 17. Tiempos de ejecución en minutos de las operaciones en la línea de producción de yogurt.....	68

Tabla 18.- Tiempos de ejecución en minutos de las operaciones en la línea de producción del queso Mozzarella.....	71
Tabla 19.- Tiempo de ciclo en minutos del proceso real vs el proceso simulado en el programa Flexsim de yogurt	78
Tabla 20.- Tiempo de ciclo en minutos del proceso real vs el proceso simulado en el programa Flexsim del queso mozzarella.....	80
Tabla 21.- Tiempo de ciclo en minutos de los distintos escenarios de mejora	82
Tabla 22.- Productividad en unidades/min de los distintos escenarios de mejora de la línea de elaboración de yogurt	83
Tabla 23.- Tiempo de ciclo en minutos de los distintos escenarios de mejora de la línea del queso mozzarella	85
Tabla 24.- Productividad en unidades/min de los distintos escenarios de mejora de la línea de elaboración del queso mozzarella.....	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Ubicación geográfica de la planta industrial SOPRAB	17
Figura 2.- Metodología para la simulación de procesos industriales.....	20
Figura 3. Modelo de simulación base del proceso de elaboración de yogurt	33
Figura 4. Modelo de simulación base del proceso de elaboración del queso mozzarella	40
Figura 5. Modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt con integración del Lean Manufacturing	43
Figura 6.- Modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt con integración del Lean Manufacturing	46
Figura 7.- Ejemplo de los resultados de ajuste de distribución de probabilidad de los tiempos de ejecución de los procesos.....	77

AGRADECIMIENTOS

Ing. Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D

Ing. Sonia Guadalupe Abril M.Sc.

Lic. Karina Patricia Llerena Oñate M.Sc

DEDICATORIA

A mi madre y padre

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL/CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

TEMA:

Optimización de los indicadores de productividad de los procesos de manufactura de una empresa láctea mediante la simulación con Flexsim integrando la filosofía lean Manufacturing

AUTOR: Ing. Cristian Andrés Flores Cadena, Mg.

DIRECTOR: Ing. Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

- Diseño, materiales y producción

FECHA: 15 de noviembre de 2021

RESUMEN EJECUTIVO

El objetivo de la presente investigación es simular los procesos de manufactura de la empresa láctea Soprab con la integración de la Filosofía Lean Manufacturing. Una de las importantes ventajas de la simulación es generar cambios en el proceso sin la necesidad de hacer inversiones en las empresas. Para la simulación se recolectaron los datos de los procesos de manufactura de las líneas de elaboración de yogurt y queso mozzarella, mediante una visita in situ de la planta de producción. En esta visita se recolectaron datos de: número de operarios, tiempos de los procesos, equipos y maquinarias de las líneas de producción y lotes de producción. Se realizó la simulación en las líneas de elaboración de yogurt y queso mozzarella por su alta demanda con respecto a los otros productos de la empresa. Para la simulación se utilizó el programa Flexsim, donde se cargaron los datos recolectados en planta. Se validó el proceso de simulación, con lo cual se concluye que la simulación realizada refleja el funcionamiento del proceso real, donde los indicadores de productividad inicial

fueron: tiempo de ciclo igual a 687 min y productividad de 0,88 unidades/min en la línea de elaboración de yogurt; mientras que en la línea de elaboración del queso mozzarella los valores iniciales fueron: tiempo de ciclo igual a 2339 min y productividad de 0,427 unidades/min. Luego se realizaron simulaciones de los escenarios de mejora, incorporando Lean Manufacturing en las líneas de producción como: TPM, Poka Yoke, 5 S, eliminación de mudas, kaizen y SMED. Se determinó que la incorporación de la filosofía de Lean Manufacturing sí tuvo diferencias estadísticas significativas en los indicadores de productividad entre el modelo simulado y los escenarios de mejora simulados de la línea de yogurt y queso mozzarella. De los escenarios de mejora planteados en la línea de elaboración de yogurt, la incorporación de 5 S es el mejor escenario porque reduce el tiempo de ciclo a 620,3 min y productividad de 0,966 unidades/min. Mientras que en la línea de elaboración del queso mozzarella el escenario con la estandarización de procesos fue el mejor con una reducción del tiempo de ciclo a 2185 min y una productividad de 0,450 unidades/min. En la línea de elaboración de yogurt se logró disminuir el tiempo de ciclo en 9,68 % y aumentar la productividad en 10,27 %. Mientras que en la línea de elaboración del queso se disminuyó el tiempo de ciclo en 6,58 % y aumento la productividad en 6,79 %. En la línea de elaboración del yogurt, la empresa obtiene de ingresos diariamente de \$ 2700 por la venta del yogurt de 2 L, mientras que con la propuesta de mejora podría aumentar la producción y generar ventas de \$ 2992, incrementando el ingreso en un 10,81 %. Mientras en la línea de elaboración del queso mozzarella, se obtienen ingresos diarios de alrededor de \$ 375 por la venta del queso mozzarella de 250 g, y con la propuesta de mejora podría aumentar el ingreso a \$ 478, incrementando el ingreso alrededor del 27,47 %.

Descriptor: Simulación de procesos, Indicadores de productividad, Lean Manufacturing, Flexim, procesos de manufactura, empresa láctea, optimización del procesos, herramientas estadísticas, yogurt y queso mozzarella.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA EN SISTEMAS, ELECTRÓNICA E
INDUSTRIAL/CENTRO DE POSGRADOS
MAESTRÍA EN MATEMÁTICA APLICADA

THEME:

Optimization of the productivity indicators of the manufacturing processes of a dairy company through simulation with Flexsim integrating the lean Manufacturing philosophy

AUTHOR: Ing. Cristian Andrés Flores Cadena, Mg.

DIRECTED BY: Ing. Marco Enrique Benalcázar Palacios, Ph.D.

LINE OF RESEARCH:

- Design, materials and production

DATE: November 15 th, 2021

EXECUTIVE SUMMARY

The objective of this research is to simulate the manufacturing processes of the dairy company Soprab with the integration of the Lean Manufacturing Philosophy. One of the important advantages of simulation is to generate changes in the process without the need to make investments in companies. For the simulation, the data of the manufacturing processes of the yogurt and mozzarella cheese production lines were collected, through an on-site visit of the production plant. During this visit, data was collected on: number of operators, process times, equipment and machinery of the production lines and production batches. The simulation was carried out in the yogurt and mozzarella cheese production lines due to their high demand compared to the other products of the company. For the simulation, the Flexsim program was used, where the data collected in the plant was loaded. The simulation process was validated, with which it is concluded that the simulation carried out reflects the operation of the real

process, where the initial productivity indicators were: cycle time equal to 687 min and productivity of 0.88 units / min in the line for making yogurt; while in the mozzarella cheese production line the initial values were: cycle time equal to 2339 min and productivity of 0.427 units / min. Then simulations of the improvement scenarios were carried out, incorporating Lean Manufacturing in the production lines such as: TPM, Poka Yoke, 5 S, elimination of mudas, kaizen and SMED. It was determined that the incorporation of the Lean Manufacturing philosophy did have significant statistical differences in the productivity indicators between the simulated model and the simulated improvement scenarios of the yogurt and mozzarella cheese line. Of the improvement scenarios proposed in the yogurt production line, the incorporation of 5 S is the best scenario because it reduces the cycle time to 620.3 min and productivity of 0.966 units / min. While in the mozzarella cheese production line, the scenario with the standardization of processes was the best with a reduction of the cycle time to 2185 min and a productivity of 0.450 units / min. In the yogurt production line, cycle time was reduced by 9.68% and productivity increased by 10.27%. While in the cheese making line, the cycle time was reduced by 6.58% and productivity increased by 6.79%. In the yogurt production line, the company obtains a daily income of \$ 2700 from the sale of 2L yogurt, while with the improvement proposal it could increase production and generate sales of \$ 2992, increasing income by 10, 81%. While in the mozzarella cheese production line, daily income of around \$ 375 is obtained from the sale of 250 g mozzarella cheese, and with the improvement proposal it could increase the income to \$ 478, increasing the income around 27, 47%.

Keywords: Process simulation, Productivity indicators, Lean Manufacturing, Flexim, manufacturing processes, dairy company, process optimization, statistical tools, yogurt and mozzarella cheese.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

La simulación de sistemas industriales ha adquirido gran importancia en los procesos de toma de decisiones, toda vez que les permite a los administradores de empresas fundamentar sus decisiones de producción, reduciendo el tiempo de elaboración de un producto y sobre todo la reducción de costos de producción. En el presente proyecto se realizará la simulación de los procesos de manufactura de una empresa láctea y se realizará una comparación con un escenario de mejora aplicando la filosofía Lean manufacturing con el objetivo de determinar si existe un aumento en los indicadores de productividad de la planta, en base a herramientas estadísticas (Wayner, 2009).

Lean Manufacturing es una filosofía de un proceso continuo y sistemático de identificación y eliminación de actividades que no agregan valor en un proceso, pero que sí implican costo y esfuerzo a la organización. El principio en la que se sustenta la filosofía es que "todo puede hacerse mejor"; de tal manera que, en una organización debe existir una búsqueda continua de oportunidades de mejora. Las compañías implementan Lean Manufacturing para lograr una competitividad encima de sus competidores permitiendo a la organización minimizar inventarios, retrasos de producción, espacios de trabajo, costos totales, consumo energético y mejorar la calidad de los productos (Mohd y Mojib, 2015).

La incorporación de la filosofía Lean Manufacturing en las industrias es un caso de éxito a nivel mundial con el mejoramiento de los indicadores de productividad. Entre los principales beneficios están la disminución del 20 % en los costos de compra, el 40 % de decremento en los costos de producción, el 50 % de utilización más óptima del área de producción, 40 % disminución de inventarios y los costos de calidad respectivamente, se mejoramiento del Lead time de alrededor de 25 %.(Vargas-Hernández, Castillo, y Muratalla-Bautista, 2018).

1.2. Justificación

La motivación del presente proyecto radica en el interés de simular los procesos industriales de la empresa de lácteos Soprab para poder incrementar la productividad de la planta. Para esto, se diseñará un modelo del sistema real con la herramienta de simulación Flexsim para identificar los procesos responsables de atrasos y cuellos de botella, los cuales que permitirán plantear un escenario de mejora con la integración de la filosofía Lean Manufacturing.

Jahangirian, Eldabi, Naseer, Stergioulas, y Young, (2010) la simulación es una herramienta útil y valiosa a la hora de tomar decisiones. Es un instrumento que puede usarse en un ambiente industrial, permitiendo probar el comportamiento del sistema y creando un escenario para poder determinar cuál sería la óptima capacidad del equipo y como se comportaría todo el sistema si se realiza un cambio en los parámetros iniciales de la línea de producción, y si realmente tendría un impacto en la organización.

Incorporando la filosofía Lean Manufacturing se podría identificar las mejoras y tomar las decisiones para implementarlos en la planta de producción, la ventaja de esta filosofía es su baja inversión, pero tiene un impacto significativo en los indicadores de productividad. Este proyecto de aplicación presenta una alternativa para los administradores de industrias a la hora de tomar de decisiones, para identificar el proceso más lento y determinar el tiempo en las líneas de espera y poder simular escenarios de mejora y escoger el óptimo teniendo los indicadores de productividad.

1.3. Objetivos

1.3.1. General

- Simular los procesos de manufactura de la empresa láctea Soprab con la integración de la Filosofía Lean Manufacturing.

1.3.2. Específicos

- Recolectar los datos de los procesos de manufactura de la empresa mediante una visita in situ de la planta de producción.

- Simular los procesos de manufactura mediante el programa Flexsim versión 19.1.1. para medir y analizar los indicadores de productividad inicial.
- Realizar la simulación del proceso de manufactura mediante la integración de la filosofía Lean Manufacturing para medir y analizar los indicadores de productividad final.
- Comparar los resultados de los indicadores obtenidos de las simulaciones mediante un análisis de varianza ANOVA para determinar diferencias estadísticamente significativas.

CAPITULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

1. Villanueva et al (2021) en su investigación con título “Diseño de un sistema de surtimiento de materiales bajo principios Lean Manufacturing (LM) 4.0 usando simulación de eventos discretos” presentaron el análisis los principios de LM para reducir el trabajo en proceso por falta de surtimiento de materiales usando simulación de eventos discretos y la aplicación de herramientas de manufactura 4.0 con el software FlexSim. Para ello, se presentó una simulación basada en el análisis de la reducción del inventario en proceso dentro de la empresa. El problema que se resolvió con dicha investigación, fue evitar cualquier retraso o escasez de material en la línea de producción, para mantener sin interrupción la línea de producción y al mismo tiempo reducir los niveles de inventario, aplicando una estrategia de surtimiento justo en el momento en que se requieran los materiales y con la ayuda de herramientas de la industria 4.0 (p.1). Esta investigación se muestra la utilidad del software FlexSim para la simulación de la técnica LM, pero no se define la naturaleza de la empresa mexicana, en la presente investigación se pretende utilizar el software en una empresa de productos lácteos.

2. Según Poves, Alvaréz y Nuñez (2020) en su trabajo “Aplicación de las herramientas del Lean Manufacturing en una empresa plástica peruana” quienes analizaron el problema del incumplimiento de pedidos en una empresa que produce láminas de plástico, la principal razón del problema son los altos tiempos improductivos durante el proceso de extrusión, estos tiempos disminuyen el índice de la efectividad general del equipo (OEE). Para tratar la causa principal, se presentó una propuesta innovadora que utiliza un enfoque sistemático y combina las técnicas de SMED y mantenimiento preventivo de la metodología Lean Manufacturing, con el objetivo de reducir los tiempos improductivos y mejorar el índice OEE. Para validar la efectividad de la propuesta, los sistemas se simularon utilizando el software de simulación Arena y el Input Analyzer, para determinar la reducción de los tiempos improductivos. En el resultado final se encontró que la propuesta reduce en 36.37% los tiempos improductivos y mejora el índice OEE en 9.02%. Lo cual confirma el logro del objetivo del proyecto, que era maximizar la eficiencia del proceso y

reducir el tiempo total del proceso de extrusión, que permitiría a la empresa cumplir con los pedidos para evitar pérdidas en las ganancias (p. xi). El estudio se llevó a cabo en una empresa de plásticos peruana, y se utilizó el software Arena, al contrario de la presente investigación que utiliza el software Flexsim en una empresa ecuatoriana de lácteos.

3. En el trabajo de Tovar, Pedroza y Roldán (2020) con título “Diseño de escenarios de mejora en los servicios de reparación y mantenimiento a través de BPM, Lean Manufacturing y simulación” se estudió la implementación de las técnicas Business Process Management (BPM) y Lean Manufacturing (LM) en la empresa Tecniautos Teusaquillo del mercado automotriz. Se encontró que poseen alta sinergia entre ellas, mientras BPM permite el análisis holístico de la compañía, LM y sus herramientas permiten el ajuste a detalle dentro de cada uno de los procesos, trayendo resultados positivos en reducción de tiempos improductivos y aumento del margen de utilidad de la compañía. Adicionalmente el uso de simulación para evaluar los escenarios de mejora obtenidos mediante las metodologías de BPM y LM, es una alternativa viable por su eficiencia en tiempo e inversión, ya que es posible determinar antes de cualquier implementación de escenarios, el impacto que van a tener en el desempeño de la empresa y para determinar la opción que mejor se ajusta al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la organización. El escenario II reporta mejoras en el tiempo total de procesos en 16,4% y 20,5% para frenos y suspensión respectivamente, así como un aumento en el procesamiento de vehículos para frenos de 14.8% y para suspensión de 21.2%, debido a la disminución en la demora asociada a la búsqueda de herramientas mediante la creación del proceso de alistamiento. Dicho proceso no tiene costos asociados a la implementación por lo que el margen de utilidad se incrementa 17,3 % y 18,4% para los frenos y suspensión respectivamente. Este escenario es viable dado que se encuentra alineado con los objetivos estratégicos de productividad y sostenibilidad financiera (p.28). El estudio muestra los beneficios de realizar una simulación de procesos antes de la implementación, sin embargo, el análisis se realiza en una empresa automotriz colombiana, en el presente estudio se pretende analizar el impacto de Lean Manufacturing de una empresa de lácteos ecuatoriana.

4. Chud, Bedoya y Paredes (2020) en su investigación “Simulación de mejoras en el sistema productivo de una curtiembre basada en el mapeo de su cadena de valor” desarrollaron una estrategia de mejoramiento basada en la metodología de Lean Manufacturing, considerando la aplicación de Value Stream Mapping (VSM) en una cadena de valor multi-etapa. Se establecieron cinco fases para el mejoramiento de los procesos de cadenas que consideran múltiples etapas de producción, entre ellas la elección de la familia de productos, construcción de mapa actual, identificación de oportunidades de mejora, construcción del mapa futuro, simulación de los procesos y selección de la estrategia de mejoramiento. La herramienta se aplicó en una cadena del sector del cuero, los principales resultados obtenidos evidenciaron la subutilización de espacios en fábrica, tiempos perdidos por desplazamientos y movimientos innecesarios. La implementación y simulación del VSM fueron esenciales para la validación de las mejoras propuestas, que lograron alcanzar una mayor productividad y eficiencia, considerando la disminución en el tiempo de ciclo y lead time (p.394). El estudio se enfocó en la simulación de la técnica VSM en una empresa de curtiembre, cuya importancia radica en las etapas de cada proceso, a diferencia de la presente investigación que busca aplicar otros principios Lean Manufacturing en una empresa de lácteos.

5. Según Triana, Jiménez y Figueroa (2020) en su investigación “Diseño de sistemas de surtimiento de materiales mediante tarjetas Kanban y simulación de eventos discretos” quienes presentan el análisis de un sistema de producción de pistones para demostrar cómo reducir el trabajo en proceso por medio de un sistema de tarjetas Kanban y escenarios de simulación con el software ProModel. Se representaron dos modelos de simulación: un sistema preliminar y un sistema kanban. Los resultados de la intervención al sistema de producción para la fabricación de pistones utilizando el modelo de simulación, muestra el número de piezas en proceso, lo cual contribuye al uso inadecuado de los espacios físicos en la planta. Por lo tanto, existe una reducción de producto en proceso de 242 piezas, que representan un 5.68% con respecto al modelo real. Esto permite identificar que la correcta aplicación de la metodología Kanban conlleva a una mejora. En la última fase se realiza una comparativa del proceso con otros sistemas Kanban, encontrándose que, de acuerdo a las métricas de comparación, el sistema Kanban representa una mejora para el proceso, siendo mejor un 8% más rápido (p.50). En

la investigación se enfatizó en las tarjetas Kanban, como técnica principal de Lean Manufacturing, en la presente investigación se estudiarán otras técnicas de Lean Manufacturing en una empresa de productos lácteos.

6. En el trabajo de Natividad et al (2019) con tema “Lean Manufacturing con simulación dinámica estocástica para incremento de productividad, línea de Nuggets en empresa avícola” se aplicaron técnicas de Lean Manufacturing utilizando simulación estocástica, para incrementar la productividad en la línea de nuggets de una empresa avícola, analizando el recurso tiempo. Los datos se procesaron cuantitativamente con el software Crystal Ball que emplea población de números aleatorios como principio Montecarlo simulando diez mil veces y el empleo de valor semilla 123456. Entre los resultados se obtuvieron once actividades del Value Stream Mapping (VSM) con tiempo pre test 943,89 segundos y tiempo post test 922,79 segundos a un nivel de confianza del 72,18%. La técnica Kanban reportó una reducción de tiempo de 82,31 minutos a 112,20 minutos con un intervalo de confianza de 95,78% y un coeficiente de variación de los tiempos del 7,59 %. Adicionalmente, la productividad registró un incremento de 2,29 % (p.139). En dicho estudio se utilizó el software Crystal Ball para analizar la implementación de Lean Manufacturing en una empresa avícola, no obstante, en la presente investigación se pretende utilizar el software Flexsim en el análisis de una empresa de lácteos.
7. Bello, Jiménez y Hernández (2019) en su investigación “Optimización del trabajo en proceso mediante el diseño de experimentos y escenarios de simulación” tienen como objeto de estudio la optimización del trabajo en proceso de la empresa de manufactura a través de tres herramientas: Lean Manufacturing (LM), diseño de experimentos y escenarios de simulación discretos. Como parte de la filosofía LM se tomaron en cuenta las herramientas aplicadas al mejoramiento del flujo de materiales dentro de las líneas de producción, SMED, Kanban, VSM y Heijunka. La simulación discreta se realizó con el software ProModel el análisis ANOVA del diseño de experimentos se realizó en el software MINITAB, encontrándose que el único valor significativo en el proceso es el tiempo de la prensa con 95 % de confianza. Se concluyó que la metodología empleada cumplió el objetivo de optimizar el trabajo en proceso, los costos de producción y los costos WIP, al conocer los niveles de cada factor, donde el tiempo de prensa debe estar en 48 minutos y el tiempo de inspección

debe ser 7.2. minutos (p.65). En dicho estudio se estudiaron varias técnicas de Lean Manufacturing, enfocadas principalmente al factor tiempo en una empresa mexicana, en la presente investigación se pretende estudiar otros aspectos además del tiempo de producción en una empresa de lácteos ecuatoriana.

8. Zambrano y Salazar (2019) en su proyecto “Mejoramiento continuo en el proceso de aprovisionamiento de alimentos en el área de nutrición a pacientes a través de Lean Manufacturing” el objetivo fue desarrollar una propuesta de mejoramiento continuo en el área de nutrición de una empresa del sector alimenticio. Se establecieron las siguientes etapas: identificación de las operaciones básicas del proceso de nutrición, mediante una representación gráfica de fases y funcionamiento del sistema; además medición del trabajo, fijando el tiempo estándar de las operaciones, y generación de ideas de mejora propuestas por los empleados (con la herramienta de Lean Manufacturing Kaizen, aplicada para incrementar la eficiencia de los procesos y eliminar desperdicios). Se incorporó la simulación en el software Arena para valorar los impactos de las sugerencias planteadas en relación con el escenario actual. Como resultado se estableció una redistribución de actividades y franjas horarias, lo que minimizó los costos de mano de obra en un 48 % respecto al escenario inicial de los recursos modificados y un 8 % con base en el costo promedio de mano de obra (auxiliares de dieta y meseros). Además de una reducción la muda de tiempos de espera o tiempo vacío en el proceso crítico (ensamble) en un 46 % (p. 64). Aunque el proyecto estudia la simulación de una de las técnicas Lean Manufacturing en una empresa de alimentos, se trata de una empresa colombiana enfocada a la nutrición, utiliza el software Arena y no es una empresa de productos lácteos como se pretende estudiar en la presente investigación mediante el software Flexsim.
9. En el trabajo de Díaz (2016) en su proyecto “Modelo de simulación para evaluar la metodología Kanban” diseñó un modelo de simulación mediante el software Rockwell Arena® para evaluar la implementación de la metodología Kanban sobre un sistema de producción de puertas sencillas bajo pedido. En primer lugar, se describió el proceso de fabricación de puertas, posteriormente se calculó el número de réplicas necesarias para validar estadísticamente los modelos de simulación actual y Kanban, por último, se sintetizaron los parámetros y variables del sistema

y se construyen los modelos de simulación anteriormente mencionados. Considerando la significancia establecida para la experimentación los resultados evidenciaron que el sistema actual de producción no cumplía con los objetivos productivos de la compañía, manteniendo altos niveles de trabajo en proceso (WIP), cuellos de botella y sin lograr la meta establecida para el nivel de servicio; al contrario, con la metodología Kanban se lograron mejorar los indicadores mencionados anteriormente ajustándolos a los objetivos propuestos por la compañía (p.6).

10. Prieto, Paláez y Ares (2015) en su estudio “Integración de modelos de fabricación mediante simulación con herramientas informáticas y Lean Manufacturing” definieron una metodología en siete pasos que permite a través de la integración de simulación discreta de eventos y la filosofía Lean Manufacturing, poder aplicarla de manera general a cualquier sistema productivo. Se demostró que es posible establecer una metodología común de integración de herramientas informáticas de Simulación de Eventos Discretos (DES) y Lean Manufacturing (LM), a pesar de que desde el punto de vista productivo todos los sistemas de manufactura inicialmente parezcan diferentes. Los resultados obtenidos en la mejora en la productividad de diferentes sectores conseguida integrando la simulación basada en DES y LM justifican la metodología desarrollada. Con la ayuda del software de simulación se modelaron con exactitud los procesos productivos de diversas empresas y se identificaron del propio programa de simulación la ocupación de los recursos, número de piezas producidas, tiempos de transportes, esperas, stocks, etc. Éstos datos ayudaron en la toma de decisiones en la optimización del proceso y demostraron que la simulación y una herramienta potente, útil, económica y rápida. Adicionalmente la filosofía Lean ayudó en la mejora del proceso, al eliminar todo lo que no añadía valor, nivelando el flujo productivo evitando así altos niveles de stocks consiguiendo un aumento de la productividad (p.224). Aunque en el estudio mencionado se realizó una simulación de la técnica Lean Manufacturing, no fue la única utilizada, en el presente estudio se pretende solamente estudiar la simulación de LM para identificar claramente su influencia en el mejoramiento de procesos de una empresa de lácteos.

11. Según Abdulmalek y Rajgopal (2007) en su estudio “Análisis de simulación de los beneficios de Lean manufacturing y mapeo de flujo de valor: Caso de estudio del sector de procesos industriales de acero”, indican que la aplicación de Lean Manufacturing es menos común en el sector de procesos industriales de acero, porque se tiene la percepción de que este sector es menos susceptible a muchas de sus técnicas, y debido a la falta de aplicaciones documentadas; por ello los gerentes se han mostrado reacios a comprometerse con el programa de mejora. Dicho estudio se basa en un caso enfoque para abordar ambos problemas. Se demostró que las técnicas Lean Manufacturing pueden ser convenientemente adaptadas en una industria de acero. Adicionalmente, para los gerentes que podrían considerar implementar Lean Manufacturing pero no están seguros de los posibles resultados, se estableció un modelo de simulación detallado se puede utilizado para evaluar medidas básicas de desempeño y analizar las configuraciones del sistema. Cabe recalcar que la disponibilidad de la información proporcionada por la simulación facilita y valida la decisión de implementar Lean Manufacturing y también puede motivar la organización durante la implementación real para obtener los resultados deseados (p. 236). En dicha investigación se diseñó un modelo de simulación de Lean Manufacturing en una empresa de acero, en la presente investigación se propone realizarlo en una empresa de productos lácteos, para analizar la influencia de la técnica de mejoramiento en los problemas típicos del sector.

12. Serna y Serna (2015) en la investigación con título “Desarrollar un modelo de simulación que permita validar las estrategias Lean Manufacturing en una empresa de confección” plantearon las técnicas de Lean Manufacturing de acuerdo a las condiciones de la empresa, siendo 5S y SMED, las cuales sirvieron para mejorar tanto en la limpieza en las estaciones de trabajo y la disminución de pérdidas de tiempos en operaciones. En primer lugar, se utilizó el software SIMIO SIMULATION para tener una percepción amplia del proceso y evaluar cada una de las etapas o componentes que intervinieron en el proceso de confección de manera integral. Al realizar la corrida de simulación se encontró que el número promedio de unidades en el sistema fueron 145 unidades y el tiempo promedio para realizar 1 unidad fue de 9 minutos, mejorando su productividad en un 60 % (pp.62-64). En el presente estudio se utilizará el software FlexSim, que reporta mayores beneficios que el software SIMIO SIMULATION.

13. Según Puche y Costas (2011) en su investigación “El efecto favorable del paradigma Lean Manufacturing sobre la reducción de defectos. técnicas de simulación discreta” para disminuir la tasa de defectos y como consecuencia aumentar el rendimiento de los sistemas de producción, se propone la utilización del paradigma Lean Manufacturing como alternativa a otros paradigmas de comportamiento empleados habitualmente en dichos sistemas de producción. Se demostró mediante técnicas de simulación discreta, el efecto favorable que el paradigma Lean Manufacturing y particularmente la utilización de uno de sus principios, el principio Jidoka (calidad en origen), provoca la reducción de defectos en los sistemas de producción. El resultado positivo de esta demostración refuerza la idea de que la implantación del paradigma Lean Manufacturing en un sistema de producción y aporta un valioso sistema de aprendizaje en todos sus agentes, generando un incremento del período entre fallos (TTF) y una reducción de la demora hasta la refracción (TTR) (p.102). La investigación demostró mediante simulación de Lean Manufacturing la mejora de productividad de una empresa, sin embargo, no especifica su actividad económica, en la presente investigación se propone realizarla en una empresa de productos lácteos, para evaluar los beneficios de la técnica a través de la simulación y usar de forma eficiente sus recursos.
14. Beltrán y Carrillo (2018) en su proyecto con título “El Lean Manufacturing como factor asociado a la reducción de tiempos en la producción y comercialización de leche en APROLEQ” la cual es una asociación dedicada al acopio y enfriamiento de leche cruda. La asociación ha tenido varias dificultades en el área de producción y comercialización, especialmente en el área de aprovisionamiento, producción y transporte. La propuesta de mejora se diseñó bajo la metodología Lean Manufacturing, mediante las herramientas como la descripción de procesos, el flujo grama, las 5 “S”, los mapas de valor, el diseño del Layout, y el Mantenimiento Total Productivo. Sin embargo, se encontró que El Lean Manufacturing no está asociado a la reducción de tiempos en la producción y comercialización de leche entera fría en APROLEQ, mediante la verificación de hipótesis. Por lo tanto, se puede afirmar que otros factores permitirán reducir los tiempos de producción y comercialización, relacionados a la administración, control de calidad, planificación, entre otros elementos. Aunque la investigación estudió la implementación de Lean

Manufacturing en una empresa de productos lácteos de la zona, no se evidenció influencia de las técnicas de mejoramiento en la reducción de procesos, lo que puede deberse a una que las 5S, mapas de valor y diseño Layout no se escogieron correctamente, por ello en el presente estudio se realizará anteriormente una simulación de procesos, para verificar su influencia positiva o negativa antes de la respectiva implementación.

15. Benites y Tigre (2019) en su proyecto “Lean Manufacturing para el control de la producción de quesos, en la empresa productos lácteos benites “PROLACBEN” de la ciudad de Ambato” estudiaron Lean Manufacturing, por medio del estudio de tiempos, balanceo de líneas, mapa de flujo de valor (VSM) y redistribución de planta que permita controlar la producción y a su vez aumentar la productividad. En primer lugar, se aplicó la redistribución de planta para reducir las distancias de transporte de 69 metros a una distancia de 30 metros. Adicionalmente un balanceo de líneas que permitió a la empresa aumentar su eficiencia inicial de 23, 57 % a un 70,71 % reduciendo el tiempo de producción de cada unidad, lo que le permitirá a la empresa aumentar su producción diaria, para cumplir con la demanda de sus clientes y por consiguiente incrementar su productividad. Dicha investigación demuestra que las técnicas de Lean Manufacturing pueden aumentar la productividad de una empresa de lácteos del cantón Ambato, sin embargo, la presente investigación estudiará varios escenarios, para escoger el más favorable a través de la simulación de procesos con el software FlexSim.
16. El trabajo de Moreno, Arévalo y Yucailla (2021) “Lean manufacturing como herramienta de mejoramiento de sistemas de producción de empresas textiles” se encontraba dirigido al estudio del sector textil ecuatoriano que actualmente atraviesa una situación de decrecimiento debido a la poca capacidad por parte de las empresas para aumentar su productividad y competitividad. La amplia presencia de productos importados y la baja participación de exportaciones, denota factores de carácter estructural que no permiten que se tenga una alta competitividad en el mercado. El objetivo de dicha investigación fue determinar la incidencia del Lean Manufacturing como una herramienta de mejora de los procesos de producción de las empresas textiles de Tungurahua. Se utilizó una metodología de investigación mixta donde, el método cualitativo permitió analizar fundamentos teóricos y el

método cuantitativo fue aplicado para procesar la información obtenida de las empresas. Adicionalmente, el estudio es de nivel correlacional, ya que se validó la relación del Lean Manufacturing con los sistemas de producción mediante el modelo teórico y el estadístico Rho de Spearman. El principal resultado fue que las sugerencias (Kaizen) se involucraron en todos los niveles organizativos con la finalidad de implementar mejoras continuas en las empresas. Se concluyó que herramientas de la filosofía lean como la motivación, el reconocimiento, incentivos y actividades de formación, al igual que, la capacitación del talento humano y la ubicación logística establecen un nivel de efectividad e incremento productivo considerándose como un factor estratégico para el desarrollo organizacional y la competitividad de las organizaciones (p.viii). En dicho estudio se aplicó la técnica de Lean Manufacturing, sin realizar previamente una simulación que hubiera permitido la optimización de recursos.

17. Tigre y Pilco (2020) en su estudio “Técnica SMED para la reducción de tiempos en el proceso de lavado de jeans de la Empresa ECUATINTEX” mencionaron la técnica SMED en el área de lavado de la empresa Ecuatintex con el objetivo de determinar el método de trabajo actual y proponer un nuevo método de trabajo que optimice los tiempos de procesamiento de las operaciones y mejore la productividad de la empresa. En primer lugar, se analizó la situación actual de la empresa a través del diálogo directo con las personas involucradas en los procesos operativos y la observación directa de las actividades durante su jornada laboral. El relevamiento del proceso se llevó a cabo para determinar el método de trabajo actual para el servicio examinado, utilizando herramientas de ingeniería de métodos como diagrama de flujo de proceso, diagrama de progreso sinóptico y analítico. A partir de la información recopilada de las operaciones que se están llevando a cabo actualmente, se desarrolló un estudio de tiempos para determinar los tiempos de producción y ocio tanto del operador como de las máquinas, con el objetivo de determinar el tiempo de ciclo para la productividad de un lote de prendas. Finalmente, al utilizar la tecnología SMED en el proceso de lavado, se pudo acortar el tiempo de procesamiento, lo que contribuyó a una mejora de la productividad. Además, al plantear el método actual y propuesto de trabajo, se realizó una simulación en el software FlexSim con los parámetros establecidos en el diagrama hombre-máquina con el objetivo de medir la eficiencia que el nuevo método

propone y corroborar los resultados calculados (p.xix). En dicho estudio se estudió el efecto de la técnica SMED que contribuyó a una mejora en la productividad, sin embargo, no se estudió el efecto de la aplicación y/o simulación de la técnica de Lean Manufacturing.

18. En el estudio de Beltrán y Sailema (2019) con título “Sistema de control de tiempos en producción basado en el modelo de gestión Lean Manufacturing para la empresa Narman Jean’s” define a la empresa Narman Jean’s como una organización que elabora jeans, a través de procesos de producción en los cuales se debe analizar si hay sobreproducción, operaciones innecesarias, desplazamientos innecesarios, tanto de personal como de materiales, inventarios saturados, y los tiempos de espera entre procesos. Se determinó que la empresa Narman Jean’s, desconoce de la disponibilidad de herramientas que permite alcanzar la mejora continua, a su vez se considera la presencia de los ocho desperdicios, en diversas etapas de la producción, por lo cual, la herramienta de Lean Manufacturing proporciona un mejor enfoque para contrarrestar esta problemática. Una vez implementada la herramienta dentro de la empresa, se obtuvo una respuesta favorable al rendimiento de productividad, lo que mejoró la calidad de los productos y las desconformidades de los clientes disminuyeron. Además, si la empresa mantiene el estatus de esta herramienta reducirá la sobreproducción y el stock excesivo para evitar gastos innecesarios y mejorar el tiempo de respuesta en entrega de mercadería. Cabe recalcar que, con este aplicativo, se incluye la eliminación de los cuellos de botella, ejecutando de la manera más precisa acciones que no generan un valor extra al producto (pp. xv, 102). En dicho estudio se aplicó la técnica de Lean Manufacturing, pero no se realizó una simulación previa que hubiera permitido enfocarse principalmente en la optimización de tiempos de productividad, principal parámetro a mejorar en la empresa.

19. Guerrero y Montenegro (2019) en su proyecto de grado “El Lean Manufacturing y la competitividad dentro del sector textil del Cantón de Ambato” realizaron un estudio a la empresa Confecciones “Aidita” la cual se encuentra ubicada en el sector de Techo Propio, esta empresa se dedicada a la producción, distribución y comercialización de prendas de vestir. La investigación se ve sustentada por la necesidad del fortalecimiento del sector textil a través de planes de mejora continua,

como el Lean Manufacturing que ofrece al sector una herramienta de mejora continua en el sistema de producción a través de la eliminación de los despilfarros. En los resultados alcanzados se evidenció que muchas empresas no conocen y no usan planes de mejora continua. Por ello, en la empresa Confecciones “Aidita”, se usaron pilares como: identificación de despilfarros, uso de mejora continua, control total de la calidad y las 5’s logrando como resultado: reducimiento de desperdicios, también la disminución de los productos no conformes. Adicionalmente, se definieron e implementaron indicadores como la productividad, reduciendo los tiempos de producción y alcanzando la eficiencia mejorando la competitividad del sistema de producción (p.xxiv). Aunque la investigación se realizó en una empresa del cantón de Ambato, se trata de una empresa de naturaleza textil y no se estudió una simulación previa del proceso, a diferencia de la presente investigación que previamente a la implementación definirá escenarios de las técnicas de mejora continúa en una empresa de lácteos.

20. En el trabajo de Jordan y Gómez (2016) con el tema “Plan de mejora de la productividad en la producción de cuero en la Empresa Tenería San José Cía. Ltda., Planta 1” se utilizaron métodos y instrumentos para medir, examinar y optimizar el índice de productividad en la fabricación de cueros en la industria Tenerife San José Cía. Ltda., 1er piso”. En la investigación se identificó el problema de la baja productividad en la fabricación de cueros y tuvo como objetivo determinar las mejoras que contribuyan significativamente al desenvolvimiento de los procesos productivos mediante la aplicación de procesos de mejora continua como la metodología 5 S y la práctica de producción más limpia. El análisis de la situación actual se realizó para cada proceso productivo de la Planta 1 y se encontró que el índice de productividad más pequeño es de 5.97 cintas / USD correspondiente al salario de la mano de obra y la productividad más alta es de 112.97 cintas / USD por consumo de diesel. Se utilizaron en relación con el desembolso del consumo de diésel) y P5 (productividad en relación con el pago del gasto de otros insumos). A través de la aplicación de las 5’s se aumentó la productividad en un 15,34% y con la producción más limpia se obtuvo un aumento de 51,5 % en la productividad (p.xix). La investigación analizó varias técnicas de Lean Manufacturing, sin embargo, no se realizó previamente una simulación de procesos para definir el mejor escenario a implementar.

Como se evidencia en las investigaciones descritas anteriormente, se han realizado varios estudios utilizando simulación de técnicas de Lean Manufacturing en empresas de productos y servicios, demostrándose en todos los casos que las técnicas mejoran la productividad de las empresas y permiten disminuir recursos como el tiempo y gastos innecesarios. Sin embargo, no se evidencian estudios utilizando el software de simulación FlexSim en una empresa de lácteos, por lo que esta investigación será de gran utilidad para los empresarios de ese sector en el centro del país. Cabe recalcar que la mayoría de estudios realizados en el cantón Ambato son de empresas textiles o cuero, resaltando la importancia de la presente investigación para el sector alimenticio

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación

Los datos fueron obtenidos de la empresa láctea denominada SOPRAB, ubicada en la parroquia Atahualpa de la ciudad de Ambato, en la avenida 22 de Enero e Itamaraty, diagonal al parque central de Atahualpa. En la Figura 1 se ilustra la ubicación geográfica de la planta industrial SOPRAB.

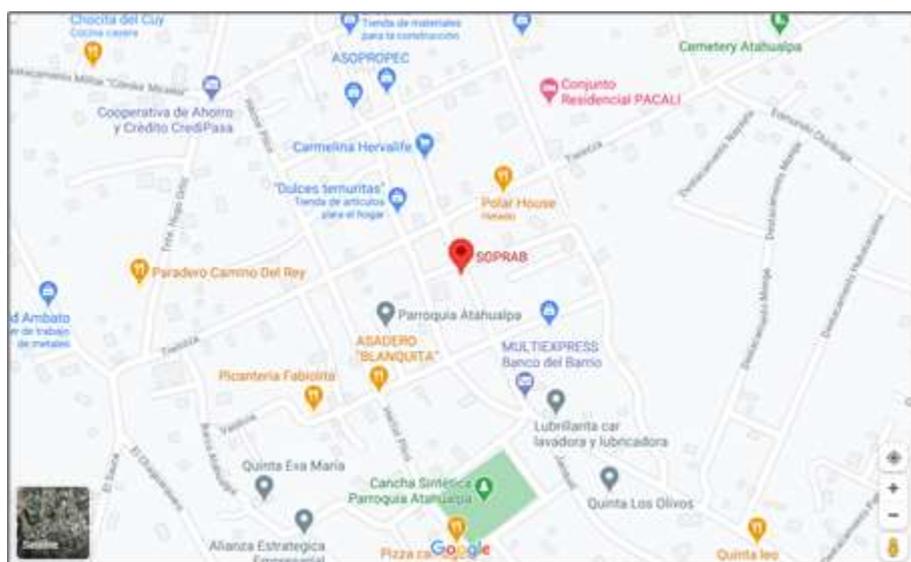


Figura 1.- Ubicación geográfica de la planta industrial SOPRAB

Fuente: Google maps, 2021

Misión de la empresa

Producir alimentos naturales y procesados con estándares de calidad que satisfagan a todos los clientes contribuyendo con el medio ambiente, entre los productos que se ofrecen están los siguientes: manjar de leche, yogurt, queso, miel de abejas, polen, mermelada y leche condensada.

Visión de la empresa

Ser una empresa líder en la producción y procesamiento de alimentos sanos, comprometidos con el cuidado del entorno natural.

Productos de la empresa

El compromiso de la empresa SOPRAB es entregar productos ricos y sobre todo súper saludables. Se trabaja bajo estrictos estándares de calidad, adquiriendo la materia prima a pequeños productores, mejorando así la economía local. La empresa entrega en la mesa los mejores alimentos con los mejores procesos como son los siguientes:

- Yogurt natural de frutas
- Leche condensada
- Queso fresco
- Queso mozzarella
- Manjar de leche
- Manjar de chocolate
- Miel de abeja mermelada

3.2. Equipos y materiales

Para la realización de la presente investigación se utilizaron los siguientes materiales:

Hardware

- Laptop DELL DESKTOP-MCVATE3 Intel (R) Core (TM) i5
- Impresora Epson L4160

Software

- Flexsim versión 19.1.1.
- Programa R Studio Versión 1.3.959 2019
- STATGRAPHICS CENTURIÓN versión 15.2.06.

3.3. Tipo de investigación

3.3.1. Investigación bibliográfica

La presente investigación fue bibliográfica ya que se usó libros, revistas, proyectos de investigación y artículos científicos para la elaboración de la fundamentación teórica, relacionados a la simulación de procesos industriales y la aplicación de la Filosofía Lean Manufacturing en las empresas.

3.3.2. Investigación de campo

Es una investigación de campo debido a que se obtuvo información de la empresa como: número de operarios, producción diaria, cantidad de materia prima que ingresa a la planta, tiempo de operación de los procesos, frecuencias de flujos de materiales en cada equipo, tipo de máquinas en cada operación y tiempo de los procesos de producción de la planta industrial SOPRAB.

3.3.3. Investigación descriptiva

La investigación también es de tipo descriptivo debido que los datos obtenidos fueron descritos detalladamente, así como su influencia en los resultados finales.

3.4. Prueba de hipótesis

En la presente investigación, se consideraron las siguientes hipótesis:

H₀: La simulación aplicando la filosofía Lean Manufacturing no tiene una influencia estadísticamente significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB.

H_a: La simulación aplicando la filosofía Lean Manufacturing tiene una influencia estadística significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB.

3.5. Población o muestra

Para el presente trabajo investigativo en la empresa SOPRAB se utilizó como población a todos los elementos o personas que trabajan en esta planta industrial que

comprende de cinco personas conformadas de la siguiente manera: 1 Gerente, 2 operadores de manjar, 1 operador de yogurt y 1 procesador de quesos y operador.

En la empresa SOPRAB no se necesita de una muestra porque la población es finita y está conformada por cinco empleados, y no se puede realizar un cálculo para determinar el tamaño de la muestra, por lo tanto se tomarán todos los elementos de la planta industrial.

3.6. Recolección de información

Para el presente proyecto se utilizó datos de la empresa láctea SOPRAB, situada en la Provincia de Tungurahua, cantón Ambato. Como punto de partida se estudió la situación actual de la empresa, en cuanto a la demanda de los productos en las líneas de producción, con base a esta información se tomó la decisión según la prioridad de la empresa para determinar la línea de producción que se realizará la simulación. Para la obtención de la información, proceso de la información y análisis estadístico se ha tomado la metodología propuesta por Casadiego (2015) dividido en 5 fases que se describen a continuación.



Figura 2.- Metodología para la simulación de procesos industriales

Fuente: Casadiego, 2015

Fase 1: Recopilación de la información y validación de la información:

Para la recolección de los datos, se dispuso de la información que actualmente maneja la empresa y también se tomaron datos en las líneas de producción durante un mes de

trabajo de 8 horas diarias. Los datos que se levantaron fueron: número de operarios, producción diaria, cantidad de materia prima que ingresa a la planta, tiempo de operación de los procesos, frecuencias de flujos de materiales en cada equipo, tipos de máquinas en cada operación, tamaño de los lotes, tiempo de cambio de formatos de los equipos (Casadiego, 2015).

3.7. Procesamiento de la información y análisis estadístico

Fase 1: Recopilación de la información y validación de la información:

Una vez que se obtuvieron los datos de los tiempos de ejecución de las operaciones y el tiempo que llegan los flujos de materiales a cada equipo se determinó el tipo de distribución de probabilidad que se ajustan a estos datos, esto se realizó mediante una prueba de ajuste de bondad con el método Chi cuadrado, con la ayuda del programa estadístico STATGRAPHICS CENTURIÓN versión 15.2.06. (Casadiego, 2015).

Fase 2: Construcción y validación del modelo base:

Una vez que se obtuvieron las distribuciones de probabilidad que se ajustaron a cada uno de los procesos, se realizó la simulación de la línea de producción mediante el programa Flexsim 19.1.1. Se validó la simulación con el proceso real, para esto se utilizó una prueba t de student con el 95 % del nivel de confianza y así determinar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre el modelo simulado y el proceso real (Casadiego, 2015).

Una vez validado el proceso de simulación, se generaron los indicadores de productividad iniciales como: número de operarios, unidades producidas, productividad en unidades/horas, tiempo de ciclo (Casadiego, 2015).

Fase 3: Construcción y comparación de escenarios

Para mejorar los indicadores de productividad se realizaron escenarios de mejora del modelo base con la integración de la filosofía Lean Manufacturing (Kaizen, 5 S, 7 Mudas, Six sigma, TOC, TQM, TPM, SMED, Heijunda; Kamba y Poka-Yoke) y se

registraron los nuevos indicadores de productividad que arrojan los nuevos escenarios de simulación (Casadiego, 2015).

Fase 4: Prueba de robustez

Luego se compararon los indicadores de productividad inicial con los obtenidos después de la simulación con la integración de la filosofía Lean Manufacturing. Los datos se compararon mediante un análisis de varianza ANOVA, con un 95 % de nivel de confianza para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas (Casadiego, 2015).

Fase 5: Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos, se recomendó o propuso un escenario en el cual los indicadores de productividad analizados tengan un efecto significativo. Estas recomendaciones fueron el resultado del análisis estadístico de los distintos escenarios de mejora planteados y comparación con el escenario del modelos base simulado (Casadiego, 2015).

3.8. Variables respuesta o resultados alcanzados

En la presente investigación se establecieron las siguientes variables

- **Variables Independientes:** Filosofía Lean manufacturing (Kaizen, 5 S, 7 Mudas, TPM, SMED, Kamba y Poka-Yoke).
- **Variables Dependientes:** Indicadores de productividad (unidades producidas, productividad en unidades/horas, tiempo de ciclo).

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Recolectar los datos de los procesos de manufactura de la empresa mediante una visita in situ de la planta de producción

Para la recolección de los datos, se utilizó la información que actualmente maneja la empresa y también se tomó datos en las líneas de producción, durante un mes de trabajo de 8 horas diarias. Los datos que se levantaron fueron: número de operarios, producción diaria, cantidad de materia prima que ingresa a la planta, el tiempo de operación de los procesos, tiempo que llegan los flujo de materiales a cada equipo, máquinas en cada operación, el tamaño de los lotes, tiempo de cambio de formatos de los equipos. Se levantó información de las 2 líneas de elaboración con más demanda de la empresa como son: yogurt de frutas y queso mozzarella, donde se detallan a continuación.

4.1.1. Línea del proceso de elaboración de yogurt

El diagrama de bloques del proceso de elaboración de yogurt se encuentra detallado en el ANEXO I y consta de los siguientes procesos: recepción de la materia prima, enfriamiento, filtración, pasteurización, enfriamiento, inoculación, agitación, incubación, enfriado, agitado, dosificación, envasado y almacenado. En la Tabla 1 se encuentra la descripción de los procesos con sus respectivos equipos para efectuar el proceso de producción en la planta de producción. En el ANEXO II se detalla el tiempo de operación de cada uno de los procesos de la línea de yogurt.

Tabla 1. Descripción de los procesos de producción en la elaboración de yogurt

Proceso	Descripción del proceso	Equipos en planta de producción	Representación del equipo en la planta
Recolección de leche (*)	El tanquero es el encargado de recolectar la leche de las fincas del sector. El tanquero tiene refrigeración para mantener en buenas	Tanquero de recolección de leche	

	condiciones la materia prima		
Recepción	Cuando la leche llega a la planta se realizan pruebas de laboratorio como: acidez, densidad, contenido de materia grasa, potencial de Hidrógeno, detección de antibiótico, análisis microbiológico y sensorial para detectar posibles adulteraciones.	Tanque de Recepción	
Enfriamiento	El proceso de enfriado es para almacenar la leche y que no proliferen los microorganismos.	Tanque de Recepción	
Filtración	La leche es filtrada para eliminar ciertas partículas. Este filtro es el encargado de retener las impurezas que existen en la leche.	Filtro	
Pasteurización	A continuación se pasteuriza la leche a una temperatura de 90 °C por un periodo aproximado de 15 min.	Pasteurizador	
Enfriamiento	Se disminuye la temperatura de la leche con agua fría hasta conseguir una temperatura baja.		
Inoculación	Se incorpora el fermento láctico líquido al 2 %. La inoculación se realiza a una temperatura de 42 °C para que actúen las bacterias del inóculo.	Tanque de fermentación	

<p>Agitación</p>	<p>Se agita para tener una distribución adecuada del cultivo láctico en la leche mediante un agitador automático.</p>	<p>Tanque de fermentación</p>	
<p>Incubación</p>	<p>El periodo de incubación es aproximadamente de 4 horas, hasta conseguir a una concentración de 0,90 % a 0,95 % de ácido láctico</p>		
<p>Enfriado</p>	<p>Se debe enfriar al yogurt para evitar que se acidifique</p>	<p>Tanque de fermentación</p>	
<p>Agitado</p>	<p>Se realiza el proceso de agitado con la finalidad de obtener un producto homogéneo.</p>		<p>Tanque de proceso</p>
<p>Dosificación</p>	<p>Se realiza la formulación de yogurt, aquí se adiciona el jarabe de azúcar y frutas.</p>	<p>Envasador</p>	
<p>Envasado</p>	<p>El envasado se hace mediante gravedad a través de una manguera de grado alimenticio y una llave para controlar el flujo.</p>		<p>Cámara de refrigeración</p>
<p>Almacenado</p>	<p>El producto terminado se lo almacena en cámaras de refrigeración para no romper la cadena de frío hasta su comercialización.</p>		

Fuente: Guilcamaigua y Vaca 2019

4.1.2. Línea del proceso de la elaboración del queso mozzarella

El diagrama de bloques del proceso de elaboración del queso mozzarella se encuentra detallado en el ANEXO III y consta de los siguientes procesos: Recepción de la materia prima, enfriamiento, filtración, calentamiento, enfriamiento, cuajado, corte de la cuajada, desuerado, reposado, cortado, hilado, moldeado, prensado, salado, drenado, empacado y almacenamiento. Flexsim. En la Tabla 2 se encuentran la descripción de los procesos con sus respectivos equipos para efectuar el proceso de producción en la planta de producción. En el ANEXO IV se detalla el tiempo de operación de cada uno de los procesos de la línea del queso mozzarella.

Tabla 2.- Descripción de los procesos de producción en la elaboración del queso mozzarella

Proceso	Descripción del proceso	Equipo en planta de producción	Representación del equipo en la planta
Recolección de leche	El tanquero es el encargado de recolectar la leche de las fincas del sector. El tanquero tiene refrigeración para mantener en buenas condiciones la materia prima	Tanquero de recolección de leche	
Recepción	Cuando la leche llega a la planta se realizan pruebas de laboratorio como: acidez, densidad, contenido de materia grasa, potencial de Hidrógeno, detección de antibiótico, análisis microbiológico y sensorial para detectar posibles adulteraciones.	Tanque de Recepción	
Enfriamiento	El proceso de enfriado es para almacenar la leche y que no proliferen los microorganismos	Tanque de Recepción	

Filtración	La leche es filtrada para eliminar ciertas partículas. Este filtro es el encargado de retener las impurezas que existen en la leche.	Filtro	
Calentamiento	A continuación se calienta la leche a una temperatura de 30 °C por un periodo aproximado de 20 min.	Tanque	
Coagulación	Aquí precipita la caseína y se forma un gel que desestabiliza las micelas de caseína.	Tina de cuajado	
Corte de la cuajada	Se realiza el cortado de la cuajada en cubos de 1 a 2 cm de lado.	Mesa de corte de la cuajada	
Batido	Batido para romper el coágulo y facilitar el desuerado	Mesa de corte de la cuajada	
Desuerado	Una vez transcurrido el tiempo para la acidificación y llegar a un potencial de Hidrógeno igual a 5.2, se desecha el suero.	Mesa de corte de la cuajada	
Cortado	Este proceso consiste en cortar a la cuajada en pequeños pedazos de aproximadamente 8 a 10 centímetros.	Mesa de corte de la cuajada	

Hilado	La cuajada acidificada es llevada a un tratamiento térmico a una temperatura de 70 °C durante un periodo de 2 min para que la cuajada se suavice y pueda estirarse.	Hiladora de queso	
Moldeado	La masa hilada y amasada se ubica en moldes de acero inoxidable.	Moldes para queso	
Prensado	A la masa moldeada se da forma, mediante una prensa manual hasta obtener un producto de consistencia dura.	Prensa para quesos	
Desmoldado	Una vez prensado el queso se desmolda para continuar con el proceso del salado.	Manual	
Salado	Los quesos se deben colocar en salmuera por periodo aproximado de 3 horas.	Tina de salado	
Empacado	El queso se empaca en presentaciones de 250 gramos	Empacadora al vacío	

Almacenado	Se almacena en las cámaras de refrigeración a una temperatura de 4 °C	Cámara de refrigeración	
------------	---	-------------------------	---

Fuente: Tobar, Córdoba y Tituaña, 2018

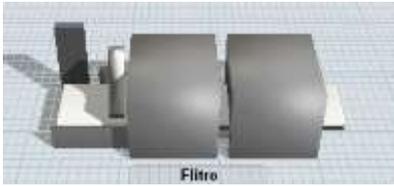
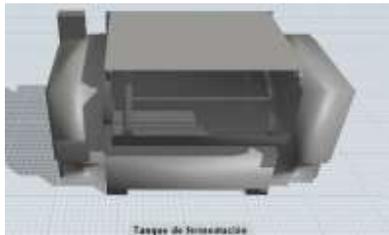
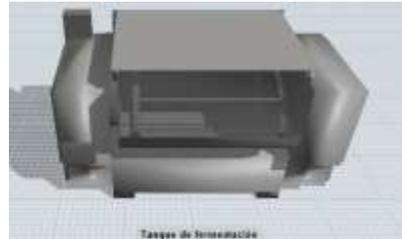
4.2. Simulación de los procesos de manufactura mediante el programa Flexsim para medir y analizar los indicadores de productividad inicial.

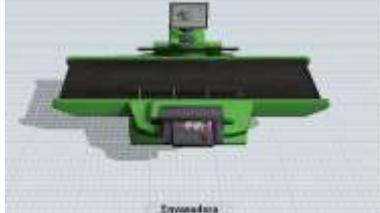
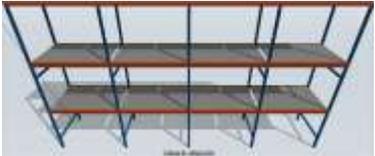
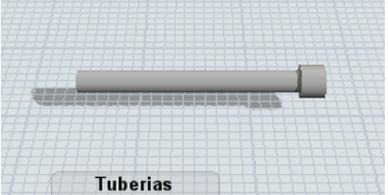
4.2.1. Construcción del modelo de simulación de la línea del proceso de elaboración de yogurt

Para la construcción del modelo de simulación se realizó un análisis de la forma como funciona el sistema real, para ello se trabajó con elementos de la librería del programa Flexsim para simular el funcionamiento de la maquinaria, equipos y personal que intervienen en la elaboración de yogurt tales como: tanque de recepción, filtro, pasteurizador, tanques de fermentación, envasador de yogurt, gavetas, envases, recipientes y cámara de refrigeración. En la Tabla 3 se presentan los elementos de las librerías utilizados en la simulación de la línea de producción. Se programaron diferentes funciones de los equipos de la librería del Flexsim que permiten al modelo base de simulación tener un comportamiento similar al sistema actual de producción.

Tabla 3.- Representación de los equipos de la línea de elaboración de yogurt mediante librerías de Flexsim

Proceso	Equipo en planta de producción	Representación del equipo en Flexim	Nombre de los elementos en Flexim
Recolección de leche	Tanquero recolector de leche		Fluidterminator

Recepción	Tanque de Recepción		Fluidgenerator
Enfriamiento	Tanque de Recepción		Fluidgenerator
Filtración	Filtro		Fluidprocesor
Pasteurización	Pasteurizador		Fluidmixer
Enfriamiento			
Inoculación	Tanque de fermentación		Fluidmixer
Agitación	Tanque de fermentación		Fluidmixer

Incubación		 Tanque de fermentación	
Enfriado	Tanque de fermentación	 Tanque de fermentación	Fluidmixer
Agitado			
Dosificación	Tanque de proceso	 Tanque de proceso	Fluidgenerator
Envasado	Envasador	 Envasadora	Processor
Almacenado	Cámara de refrigeración	 Cámara de refrigeración	Rack
Transporte de leche	Tuberías	 Tuberías	Fluidpipe

Elaborado por: Flores, 2021

Para simular el proceso real se analizaron los tiempos de ejecución de los procesos en la línea de producción y luego se determinó el tipo de distribución de probabilidad que mejor se ajustan a estos datos. Para determinar el tipo de distribución de probabilidad

se usó el programa R Studio, donde se determinó la mejor distribución que se ajusta a los datos. En el Anexo V se detalla el código que se utilizó para esta tarea. El ajuste se realizó mediante una prueba de ajuste de bondad con el método Chi cuadrado. En la Tabla 4 se presentan los resultados del análisis, en la primera columna está el proceso, en la segunda columna está la distribución de probabilidad que mejor se ajustó a los datos del proceso y en la tercera columna se muestra el valor de p-value para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

Tabla 4.- Distribución de probabilidad para los procesos de la elaboración de yogurt

Proceso	Distribución de probabilidad	p-value
Recepción	Uniforme	0,11
Enfriamiento	Lognormal	0,47
Filtración	Uniforme	0,25
Pasteurización	Uniforme	0,27
Enfriamiento	Logística	0,78
Inoculación	Lognormal	0,24
Agitación	Uniforme	0,22
Incubación	Lognormal	0,52
Enfriado	Log logística	0,43
Agitado	Uniforme	0,15
Dosificación	Normal	0,81
Envasado	Logística	0,49
Almacenado	Log logística	0,75

Hipótesis

- **Hipótesis nula:** los datos se ajustan a la distribución de probabilidad dada.

- **Hipótesis alternativa:** los datos no se ajustan a la distribución de probabilidad dada.

Según los datos de la tabla 4, la prueba de bondad de ajustes dio un valor de p-value mayor a 0,05 para cada uno de los procesos. Por lo tanto no se puede rechazar la idea de que los datos se ajustan a cada una de las distribuciones de probabilidad proporcionadas por el programa R-studio con un 95% de nivel de confianza. En la Figura 3 se ilustra el modelo de simulación de la elaboración de yogurt.

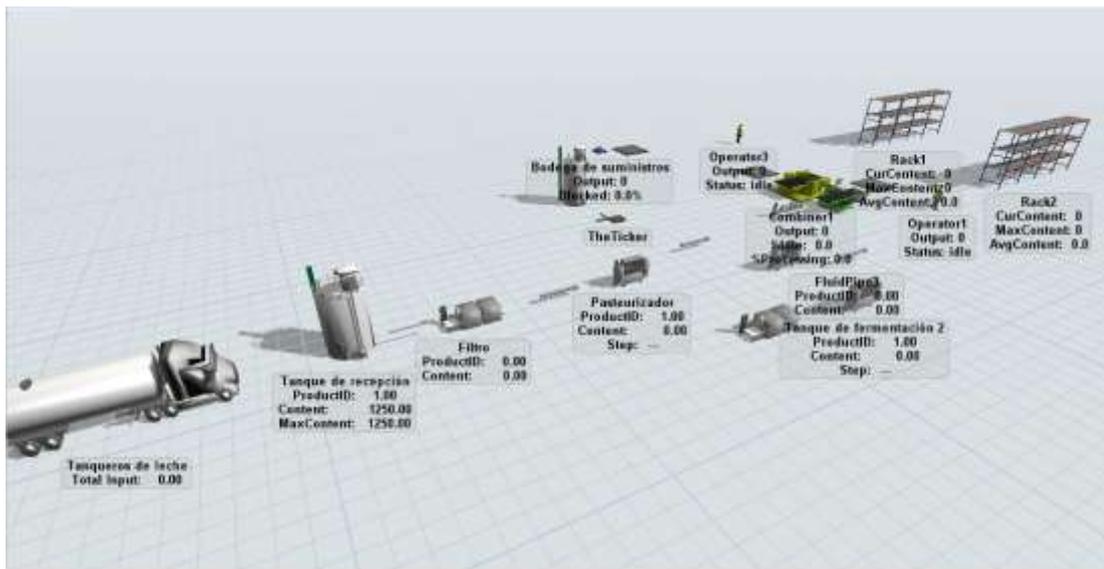


Figura 3. Modelo de simulación base del proceso de elaboración de yogurt

Validación del modelo de simulación

Para validar el modelo de simulación con el proceso real se van considerar las siguientes variables:

Variable independiente

- **Tiempo de ejecución de los procesos:** es el tiempo de ejecución de cada uno de los procesos en la elaboración de yogurt.

Variable de respuesta

- **Tiempo de ciclo:** tiempo de duración del proceso desde la recepción de la materia prima hasta la refrigeración del producto terminado, para un lote de alrededor de 600 yogures de una presentación de 2 litros.

Hipótesis

- **Hipótesis nula:** El tiempo de ciclo del modelo simulado no tiene una influencia estadísticamente significativa en el tiempo de ciclo de la línea de elaboración de yogurt de la empresa SOPRAB.
- **Hipótesis alternativa:** El tiempo de ciclo del modelo simulado si tiene una influencia estadísticamente significativa en el tiempo de ciclo de la línea de elaboración de yogurt de la empresa SOPRAB.

Una vez definida la variable de respuesta se realizó una corrida de la simulación con 30 repeticiones, el número de repeticiones se tomó de acuerdo al teorema del límite central, los resultados obtenidos de esta corrida se muestran en el anexo VI. Para validar la simulación con el proceso real se utilizó una prueba t de student con el 95 % del nivel de confianza. Para determinar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la simulación y el proceso real.

Luego de realizar la prueba t de student dio un valor- $p = 0,095456$ valor mayor a 0,05, Por lo tanto no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Entonces se acepta la hipótesis nula, por lo tanto la media del tiempo de ciclo de ciclo del modelo con simulación y el proceso real son iguales. Del análisis estadístico antes realizado se concluye que el modelo simulado tiene un funcionamiento similar al sistema real, ya que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de tiempo de ciclo del sistema real con el simulado. En la Tabla 5 se detallan los indicadores de productividad inicial del modelo.

Tabla 5. Indicadores de productividad inicial del modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt

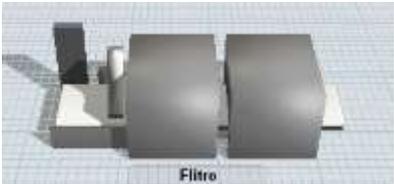
Indicadores	Cantidad	Unidades
Tiempo de ciclo	687	Min
Productividad	0,88	unidades/min

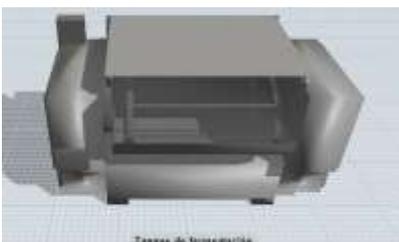
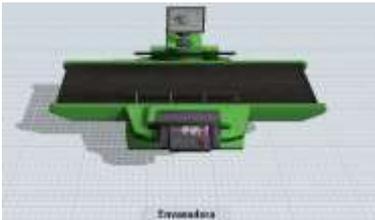
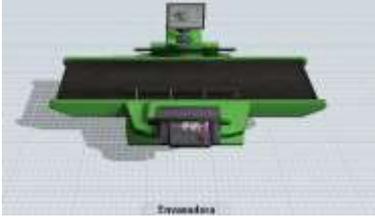
4.2.2. Construcción del modelo de simulación de la línea del proceso de elaboración del queso Mozzarella

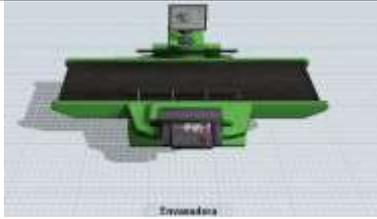
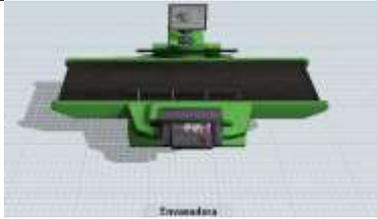
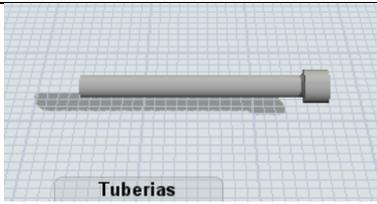
Para la construcción del modelo de simulación se realizó un análisis de la forma como funciona el sistema real, para ello se trabajó con elementos de la librería del programa Flexsim para simular el funcionamiento de la maquinaria, equipos y personal que intervienen en la elaboración del queso mozzarella tales como: tanque de recepción, filtro, pasteurizador, tanques de fermentación, mesa de corte de la cuajada, moldes para el queso, prensa para el queso, desmoldado del queso, salado del queso, empacado al vacío del queso, gavetas, envases, recipientes y cámara de refrigeración. En la Tabla 6 se presentan los elementos de las librerías utilizados en la simulación de la línea de producción. Se programaron diferentes funciones de los equipos de la librería del Flexsim que permiten al modelo base de simulación tener un similar comportamiento del sistema actual de producción.

Tabla 6.- Representación de los equipos de la línea de elaboración de yogurt mediante librerías de Flexsim

Proceso	Equipo en planta de producción	Representación del equipo en Flexim	Nombre de la librería en Flexim
Recolección de leche	Tanquero recolector de leche		Fluidterminator

Recepción	Tanque de Recepción		Fluidgenerator
Enfriamiento	Tanque de Recepción		Fluidgenerator
Filtración	Filtro		Fluidprocesor
Pasteurización	Pasteurizador		Fluidmixer
Enfriamiento			
Fermentación	Marmita de queso		Fluidmixer
Cuagulación	Marmita de queso		Fluidmixer

Corte de la cuajada	Mesa de corte de la cuajada		Processor
Desuerado	Mesa de corte de la cuajada		Processor
Reposado	Mesa de corte de la cuajada		Processor
Cortado	Mesa de corte de la cuajada		Processor
Hilado	Hiladora de queso		Processor
Moldeado	Moldes para queso		Processor
Prensado	Prensa para quesos		Processor

Desmoldado	Manual		Processor
Salado	Tina de salmuera		Processor
Empacado	Empacadora al vacío		Processor
Almacenado	Cámara de refrigeración		Rack
Transporte de leche	Tuberías		Fluid pipe

Para simular el proceso real se analizó el tiempo de ejecución de los procesos en la línea de producción y luego se determinó el tipo de distribución de probabilidad que mejor se ajusta a estos datos. En el apartado anterior se explicó el método para determinar la distribución de probabilidad que más se ajusten de los datos. El ajuste se realizó mediante una prueba de ajuste de bondad con el método Chi cuadrado. En la Tabla 7 se presentan los resultados del análisis, en la primera columna está el proceso, en la segunda columna la distribución de probabilidad que mejor se ajustó a los datos del proceso y en la tercera columna el valor de p-value para rechazar o aceptar la hipótesis nula.

Tabla 7. Distribución de probabilidad para los procesos de la elaboración del queso mozzarella

Proceso	Distribución de probabilidad	p-value
Recepción	Uniforme	0,11
Enfriamiento	Lognormal	0,47
Filtración	Uniforme	0,25
Pasteurización	Uniforme	0,26
Enfriamiento	Logística	0,78
Coagulación	Tiempo constante	N/A
Corte de la cuajada	Lognormal	0,21
Desuerado	Normal	0,06
Reposado	Gamma	0,24
Cortado	Uniforme	0,07
Hilado	Normal	0,86
Moldeado	Log logística	0,46
Prensado	Log logística	0,68
Desmoldado	Gamma	0,23
Salado	Logística	0,87
Empacado	Log normal	0,41
Almacenado	Log logística	0,75

Hipótesis

- **Hipótesis nula:** los datos se ajustan a la distribución de probabilidad dada.

- **Hipótesis alternativa:** los datos no se ajustan a la distribución de probabilidad dada.

Según los datos de la tabla 7, la prueba de bondad de ajustes dio un valor de p-value mayor a 0,05 para cada uno de los procesos. Por lo tanto no se puede rechazar la idea de que los datos se ajustan a cada una de las distribuciones de probabilidad proporcionadas por el programa R-studio con un 95% de nivel de confianza. En la Figura 4 se ilustra el modelo de simulación de la elaboración del queso mozzarella.

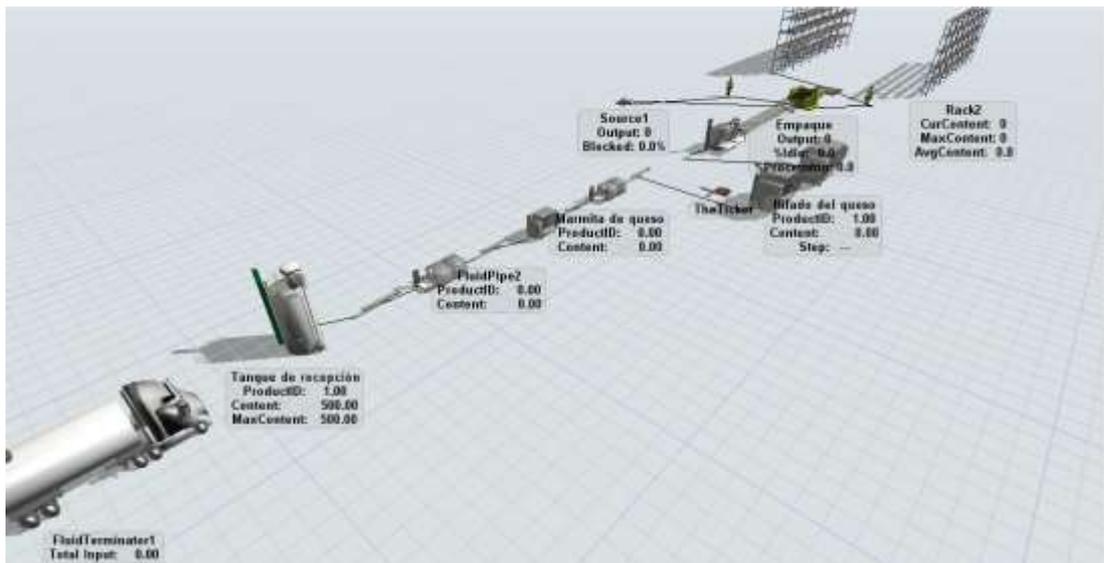


Figura 4. Modelo de simulación base del proceso de elaboración del queso mozzarella

Validación del modelo de simulación

Para validar el modelo de simulación con el proceso real se van considerar como variables las siguientes:

Variable independiente

- **Tiempo de ejecución de los procesos:** es el tiempo de ejecución de cada uno de los procesos en la elaboración del queso mozzarella.

Variable de respuesta

- **Tiempo de ciclo:** tiempo de duración del proceso desde la recepción de la leche hasta el almacenamiento del producto terminado, para un lote de alrededor de 1000 quesos de una presentación de 250 gramos.

Hipótesis

- **Hipótesis nula:** El tiempo de ciclo del modelo simulado no tiene una influencia estadísticamente significativa en el tiempo de ciclo de la línea de elaboración del queso mozzarella de la empresa SOPRAB.
- **Hipótesis alternativa:** El tiempo de ciclo del modelo simulado si tiene una influencia estadísticamente significativa en el tiempo de ciclo de la línea de elaboración del queso mozzarella de la empresa SOPRAB.

Una vez definida la variable de respuesta se realizó una corrida de la simulación con 30 repeticiones, los resultados obtenidos de esta corrida se muestran en el Anexo VII. Para validar la simulación con el proceso real se utilizó una prueba t de student con el 95 % del nivel de confianza. Para determinar que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la simulación y el proceso real.

Luego de realizar la prueba t de student dio un valor- $p = 0,14848$ valor mayor a 0,05, Por lo tanto no existe evidencia estadísticamente significativa para rechazar la hipótesis nula. Entonces se acepta la hipótesis nula, por lo tanto la media del tiempo de ciclo de ciclo del modelo con simulación y el proceso real son iguales.

Del análisis estadístico antes realizado se concluye que el modelo simulado tiene un funcionamiento similar al sistema real, ya que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de tiempo de ciclo del sistema real con el simulado. En la Tabla 8 se detallan los indicadores de productividad inicial del modelo.

Tabla 8.- Indicadores de productividad inicial del modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella

Indicadores	Cantidad	Unidades
Tiempo de ciclo	2339	min
Productividad	0,427	unidades/min

4.3. Simulación del proceso de manufactura mediante la integración de la filosofía Lean Manufacturing para medir y analizar los indicadores de productividad final.

4.3.1. Simulación de la línea del proceso de elaboración de yogurt con integración de la filosofía Lean manufacturing

Sobre la base del modelo base diseñado y descrito en el inciso anterior se implementó varias alternativas o escenarios de mejora incorporando la filosofía Lean Manufacturing. En la Tabla 9 se detallan los procesos donde se pueden realizar mejoras y que tipo de filosofía Lean Manufacturing se utilizaría. Se seleccionaron estos escenarios de mejora de acuerdo a la investigación realizada por Guarguati (2012).

Tabla 9. Propuesta de mejora de la línea de elaboración de yogurt

Procesos de manufactura	Lean Manufacturing
Capacitar al operario de envasado para dar mantenimiento a la maquina envasadora para que no existan paros durante el proceso.	TPM
En el proceso de envasado, la altura del llenado en el envase de yogurt se debería estandarizar para evitar errores por parte de los operarios	Poka Yoke 1
Para evitar desperdicios de recursos se debería eliminar o cambiar el proceso de llenado manual	Poka Yoke 2

<p>En el proceso de etiquetado se debería reestructurar los puestos de trabajo de manera ergonómica para que el operario optimice recursos.</p>	<p>5 S</p>
<p>Redistribución en el área de envasado y empaque, para garantizar los espacios, y eliminar el recorrido y mejorar tiempos.</p>	<p>Eliminación de Muda (Transporte y Movimiento)</p>

Fuente: Guarguati (2012)

En la Figura 5 se ilustra el modelo de simulación de la elaboración de yogurt con integración de lean manufacturing.

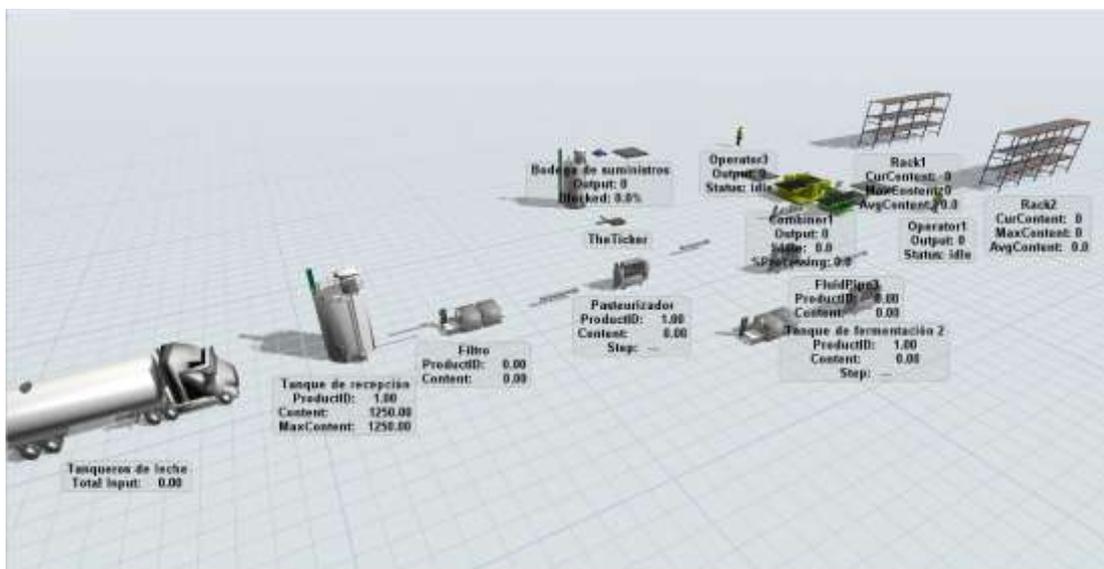


Figura 5. Modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt con integración del Lean Manufacturing

En la Tabla 10 se detallan los indicadores de productividad de los modelos simulados incorporando las mejoras de los procesos y el modelo simulado original. En el Anexo VIII se detallan las medidas de los indicadores de productiva de los distintos escenarios de mejora.

Tabla 10. Media de los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt

	Escenarios	Tiempo de ciclo	Unidades	Productividad	Unidades
1	Modelo simulado	686,8	min	0,876	unidades/min
2	TPM	642,0	min	0,934	unidades/min
3	Poka Yoke 1	623,6	min	0,964	unidades/min
4	PokaYoke 2	625,7	min	0,958	unidades/min
5	5 S	620,3	min	0,966	unidades/min
6	Eliminación de Muda (Transporte y Movimiento)	624,4	min	0,959	unidades/min

En la sección 4.4.1 se analizan los datos los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración de yogurt presentados en la Tabla 9.

4.3.2. Simulación de la línea del proceso de elaboración de yogurt con integración de la filosofía Lean manufacturing

Sobre la base del modelo base diseñado y descrito en el inciso anterior se implementó varias alternativas o escenarios de mejora incorporando la filosofía Lean Manufacturing. En la Tabla 11 se detallan los procesos donde se pueden realizar mejoras y que tipo de filosofía Lean Manufacturing se utilizaría. Se seleccionaron estos escenarios de mejora de acuerdo a la investigación realizada por Serrano y Ruiz (2018).

Tabla 11. Propuesta de mejora de la línea de elaboración del queso mozzarella

Procesos de manufactura	Lean Manufacturing
Mejoras para reducir los desperdicios, como transportes, movimientos y esperas en el empaqueo del queso mozzarella	Kaizen
Estandarizar el proceso de llenado y prensado de los quesos para reducir variabilidad	Estandarización de procesos
Reducir la variabilidad en los pesos de los productos terminados en el moldeado manual	Poka Yoke
Preparar el equipo de prensado de los quesos en el cambio de formato	SMED
En el área de empaque se debería rediseñar el flujo del producto y los puestos de los operarios logrando la ergonomía y optimización de recursos.	5 S
Capacitación al operario en el mantenimiento del equipo del empaqueo al vacío.	TPM

Fuente: Serrano y Ruiz (2018).

En la Figura 6 se ilustra el modelo de simulación de la elaboración del queso mozzarella con integración de lean manufacturing.

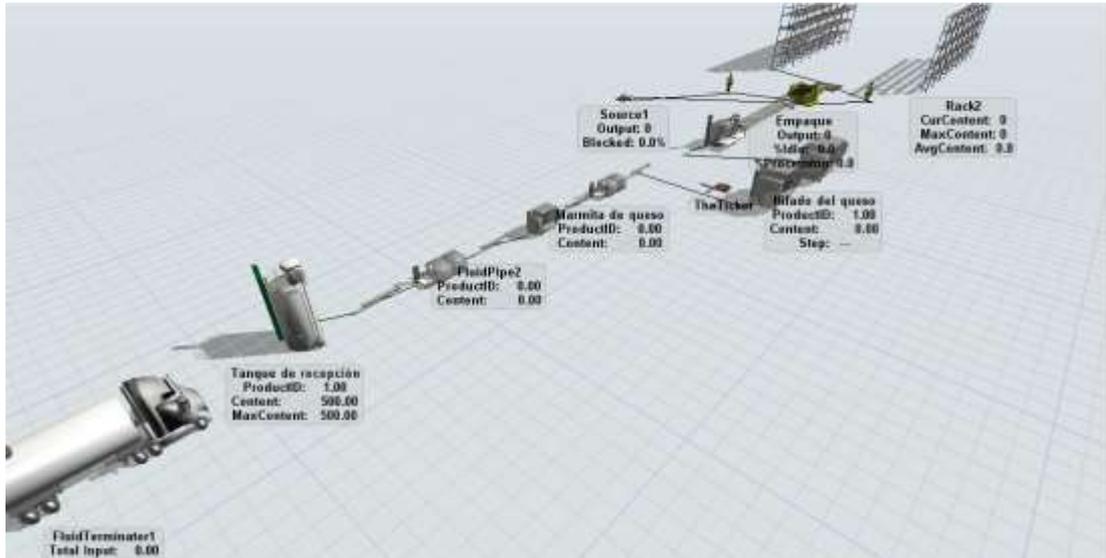


Figura 6.- Modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella con integración del Lean Manufacturing

En la Tabla12 se detallan los indicadores de productividad de los modelos simulados incorporando las mejoras de los procesos y el modelo simulado original. En el Anexo IX se detallan las medidas de los indicadores de productiva de los distintos escenarios de mejora.

Tabla 12. Media de los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella

	Escenarios	Tiempo de ciclo	Unidades	Productividad	Unidades
1	Modelo simulado	2339	min	0,427	unidades/min
2	Kaizen	2218	min	0,450	unidades/min
3	Estandarización de procesos	2185	min	0,456	unidades/min
4	PokaYoke	2197	min	0,454	unidades/min
5	SMED	2242	min	0,445	unidades/min
6	5 S	2218	min	0,450	unidades/min
7	TPM	2238	min	0,446	unidades/min

En la sección 4.4.2 se analizan los datos los indicadores de productividad del modelo de simulación del proceso de elaboración del queso mozzarella presentados en la Tabla 12.

4.4. Comparación los resultados de los indicadores obtenidos de las simulaciones mediante un análisis de varianza ANOVA para determinar diferencias estadísticamente significativas.

4.4.1.Línea del proceso de elaboración de yogurt con integración de la filosofía Lean manufacturing

Según el análisis estadísticos de varianza, se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) $p = 0,0001$ en el tiempo de ciclo del proceso de elaboración de yogurt, con la integración de la filosofía Lean Manufacturing en los procesos. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Entonces la simulación aplicando de la filosofía Lean Manufacturing tiene una influencia estadística significativa en los indicadores de tiempo de ciclo de la empresa SOPRAB. En la Tabla 13 se detallan la Prueba de rangos múltiples para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 13.- Prueba de rangos múltiples en el tiempo de ciclo de los distintos escenarios en el proceso de yogurt

Escenario	Nombre del escenario	Media (min)	Grupos Homogéneos
5	5 S	620,3	A
3	Poka Yoke 1	623,6	A
6	Eliminación de mudas	624,4	A
4	Poka Yoke 2	625,7	A
2	TPM	642,0	B
1	Modelo simulado	686,8	C

Según los resultados de la tabla 13, existen 3 grupos homogéneos. El escenario 5, 3, 6 y 4 son estadísticamente iguales, luego está el escenario 2 y finalmente el escenario 1 que corresponde al proceso simulado de la línea de producción. Según los datos estadísticos el grupo A es el que tiene el menor tiempo de ciclo, cualquiera de estos escenarios llevarían a un escenario de mejora en la línea de producción. Luego se analizó los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la integración Lean Manufacturing en la productividad del proceso de elaboración de yogurt.

El análisis estadístico de varianza determinó si existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) $p = 0,00001$ en la productividad del proceso de elaboración de yogurt, con la integración de la filosofía Lean Manufacturing en los procesos. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Entonces la simulación aplicando de la filosofía Lean Manufacturing si tiene una influencia estadística significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB. En la Tabla 14 se detallan la Prueba de rangos múltiples determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 14.- Prueba de rangos múltiples en la productividad de los distintos escenarios de la línea de yogurt

Escenario	Nombre del escenario	Media (unidades/min)	Grupos Homogéneos
1	Modelo simulado	0,876	A
2	TPM	0,934	A
6	Eliminación de mudas	0,958	B
4	Poka Yoke 2	0,959	B
3	Poka Yoke 1	0,964	B
5	5 S	0,966	B

Según los resultados de la tabla 14, existen 2 grupos homogéneos. Los escenarios 1 y 2 son estadísticamente iguales, luego están los escenarios 6, 4, 3 y 5 que también son iguales. Según los datos estadísticos el grupo B es el que tiene el mayor productividad, cualquiera de estos escenarios llevarían a un escenario de mejora en la línea de producción.

4.4.2. Línea del proceso de elaboración del queso mozzarella con integración de la filosofía Lean manufacturing

Según el análisis estadísticos de varianza, se determinó que existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) $p = 0,0001$ en el tiempo de ciclo del proceso de elaboración del queso mozzarella, con la integración de la filosofía Lean Manufacturing en los procesos. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Entonces la simulación aplicando de la filosofía Lean Manufacturing tiene una influencia estadística significativa en los indicadores de tiempo de ciclo de la empresa SOPRAB. En la Tabla 15 se detallan la Prueba de rangos múltiples para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 15.- Prueba de rangos múltiples en el tiempo de ciclo de los distintos escenarios colocar el nombre del escenario

Escenario	Nombre del escenario	Media (min)	Grupos Homogéneos
3	Estandarización de procesos	2184,6	A
4	Poka Yoke	2196,6	A
6	Kaizen	2217,7	B
2	5 S	2218,7	B
7	TPM	2238,2	C
5	SMED	2242,6	C
1	Modelo simulado	2339,3	C

Según los resultados de la tabla 15, existen 3 grupos homogéneos. El escenario 3 y 4 son estadísticamente iguales, luego están los escenarios 2 y 6, y finalmente los escenarios 7, 5 y 1 que corresponde al modelo simulado de la línea de producción real. Según los datos estadísticos el grupo A es el que tiene el menor tiempo de ciclo, cualquiera de estos escenarios llevarían a un escenario de mejora en la línea de producción. Luego se analizó los análisis estadísticos de varianza, para establecer la influencia de la integración Lean Manufacturing en la productividad del proceso de elaboración del queso mozzarella.

El análisis estadístico de varianza determinó si existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) $p = 0,00001$ en la productividad del proceso de elaboración del queso mozzarella, con la integración de la filosofía Lean Manufacturing en los procesos. Por lo tanto se rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. Entonces la simulación aplicando de la filosofía Lean Manufacturing tiene una influencia estadística significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB. En la Tabla 16 se detallan la Prueba de rangos múltiples determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras.

Tabla 16.- Prueba de rangos múltiples en la productividad de los distintos escenarios de la línea del queso mozzarella

Escenario	Casos	Media (unidades/min)	Grupos Homogéneos
1	Modelo simulado	0,4267	A
5	SMED	0,4457	A
7	TPM	0,4462	AB
6	5 S	0,4502	BC
2	Kaizen	0,4507	CD
4	Poka Yoke	0,4540	DE
3	Estandarización de procesos	0,4569	E

Según los resultados de la tabla 16, existen 5 grupos homogéneos. Según los datos estadísticos el grupo E es el que tiene el mayor productividad, cualquiera de estos escenarios llevarían a un escenario de mejora en la línea de producción.

4.5. Verificación de hipótesis

1. Planteamiento de hipótesis

1. Modelo lógico

Hipótesis nula: La simulación aplicando la filosofía Lean Manufacturing no tiene una influencia estadísticamente significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB.

Hipótesis alternativa: La simulación aplicando la filosofía Lean Manufacturing tiene una influencia estadísticamente significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB.

2. Modelo matemático

- $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5 = \mu_6$
- $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4 \neq \mu_5 \neq \mu_6$

3. Resultados

Si existe una diferencia estadísticamente significativa ($p < 0,05$) en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB. Por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa. “La simulación aplicando la filosofía Lean Manufacturing si tiene una influencia estadísticamente significativa en los indicadores de productividad de la empresa SOPRAB”.

CAPITULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

5.1. Conclusiones

- Una de las importantes ventajas de las simulaciones es que permiten analizar los resultados cuando se generan cambios en un proceso sin la necesidad de hacer onerosas inversiones de recursos.
- Se realizó una visita in situ a la empresa SOPRAB donde se recolectaron datos de los procesos de manufactura de la empresa, obteniendo como resultado: 5 operarios en planta, 4000 litros de procesamiento diaria de leche, tiempo de operación de los procesos, tipo de máquinas en cada operación como: tanque de recepción de leche, filtros, pasteurizador, tanque de fermentación, envasador, tina de cuajado, mesa de corte de cuajada, prensa para quesos, tina de salado, empacadora de quesos y cámara de refrigeración.
- Utilizando el programa Flexim versión 19.1.1. se simuló los procesos de manufactura en la línea de producción de la elaboración de yogurt y queso mozzarella, y se determinó que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre la simulación y el proceso real con un valor de $p > 0,05$. Por lo tanto la simulación refleja con alta fidelidad el funcionamiento del proceso real. Los indicadores de productividad inicial de yogurt fueron: Tiempo de ciclo igual a 687 min y productividad de 0,88 unidades/min. Mientras los indicadores de productividad inicial del queso de mozzarella fueron: tiempo de ciclo igual a 2339 min y productividad de 0,427 unidades/min.
- Para mejorar el proceso de manufactura de yogurt se plantearon 5 escenarios con incorporación de la filosofía Lean Manufacturing, de los cuales se obtuvieron los siguientes indicadores de productividad: TPM (tiempo de ciclo 642,0 min y productividad 0,934 unidades/min), Poka Yoke 1 (tiempo de ciclo 623,6 min y productividad 0,964 unidades/min, Poka Yoke 2 (tiempo de ciclo 625,7 min y productividad 0,958 unidades/min), 5 S (tiempo de ciclo 620,3

min y productividad 0,966 unidades/min) y eliminación de muda (Transporte y Movimiento) (tiempo de ciclo 624,4 min y productividad 0,959 unidades/min).

- Para mejorar el proceso de manufactura del queso mozzarella se plantearon 6 escenarios con incorporación de la filosofía Lean Manufacturing, de los cuales se obtuvieron los siguientes indicadores de productividad: Kaizen (tiempo de ciclo 2218 min y productividad 0,450 unidades/min), Estandarización de procesos (tiempo de ciclo 2185 min y productividad 0,456 unidades/min, Poka Yoke (tiempo de ciclo 2197 min y productividad 0,454 unidades/min), SMED (tiempo de ciclo 2242 min y productividad 0,445 unidades/min), 5 S (tiempo de ciclo 2218 min y productividad 0,450 unidades/min) y TPM (tiempo de ciclo 2238 min y productividad 0,446 unidades/min).
- La simulación del proceso real incorporando la filosofía de Lean Manufacturing sí tuvo diferencias estadísticamente significativas en los indicadores de productividad entre el proceso simulado y los escenarios de mejora simulados de la línea de yogurt y queso mozzarella. De los escenarios de mejora planteados en el yogurt la incorporación de 5 S es el mejor escenario simulado porque reduce el tiempo de ciclo a 620,3 min y aumenta la productividad a 0,966 unidades/min. Mientras en el queso mozzarella la incorporación de estandarización de procesos es el mejor escenario simulado porque reduce el tiempo de ciclo a 2185 min y aumenta la productividad a 0,456 unidades/min.
- En la línea de elaboración del yogurt, la empresa obtiene de ingresos diariamente de \$ 2700 por la venta del yogurt de 2 L, mientras que con la propuesta de mejora podría aumentar la producción y generar ventas de \$ 2992, incrementando el ingreso en un 10,81 %. Mientras en la línea de elaboración del queso mozzarella, se obtienen ingresos diarios de alrededor de \$ 375 por la venta del queso mozzarella de 250 g, y con la propuesta de mejora podría aumentar el ingreso a \$ 478,

5.2. Recomendaciones

- En el ámbito de producción a las empresas de diferente índole es importante aplicar un programa de simulación, porque es una herramienta que sirve para la toma de decisiones y está disponible para que en cualquier momento de forma rápida y sencilla se actualicen los tiempos de ajustes, esto es una gran ventaja porque con muy poco entrenamiento este instrumento servirá para la toma de decisiones gerenciales.
- Socializar los resultados obtenidos en esta investigación con las autoridades de la Cámara de Comercio de Ambato, la cual brinda asesoría a entidades públicas y privadas, de esta manera se generen estrategias con el fin de dar una herramienta poderosa, fácil de usar y con amplios beneficios para las pequeñas y medianas empresas.
- Compartir el programa de simulación al representante de la empresa de lácteos “SOPRAB” para que sea analizado y posteriormente implementado en la línea de producción y de la misma manera recibir feedback que permita realizar una mejora continua en nuevos proyectos que se pudieran dar dentro de una misma línea.
- Desarrollar un estudio sobre la incorporación y simulación de la filosofía Lean Manufactura en otro tipo de empresa de manufactura que tengan relevancia en actividades productivas del país.

5.3. BIBLIOGRAFÍA

- Abdulmalek, F. A., & Rajgopal, J. (2007). Analyzing the benefits of lean manufacturing and value stream mapping via simulation: A process sector case study. *International Journal of production economics*, 107(1), 223-236.
- Bello, R., Jiménez, J. y Hernández S. (2019). *Optimización del trabajo en proceso mediante el diseño de experimentos y escenarios de simulación*. Tecnológico Nacional de México en Celaya (Tesis de pregrado). México DF-México.
- Beltrán, A. y Carrillo, J. (2018). *El Lean Manufacturing como factor asociado a la reducción de tiempos en la producción y comercialización de leche en APROLEQ*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato-Ecuador.
- Beltrán, C. y Sailema, M. (2019). *Sistema de control de tiempos en producción basado en el modelo de gestión Lean Manufacturing para la empresa Narman Jean´s*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Benites, R. y Tigre, F. (2019). *Lean Manufacturing para el control de la producción de quesos, en la empresa productos lácteos benites "PROLACBEN" de la ciudad de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Casadiego, R. (2015). *Guía de usuario para el modelamiento y análisis con el software Flexsim*. Programa de ingeniería industrial. Grupo de investigación en productividad y competitividad. Universidad Francisco de Paula Santander (Tesis de Pregrado). Cúcuta- Colombia.
- Chud, V., Bedoya, I. y Paredes, A. (2020). Simulación de mejoras en el sistema productivo de una curtiembre basada en el mapeo de su cadena de valor. *Scientia Et Technica*, 25(3), 394-403.

- Díaz, A. (2016). *Modelo de simulación para evaluar la metodología Kanban en el proceso de fabricación de puertas sencillas en una empresa de la ciudad de barranquilla*. Universidad de la Costa (Tesis de pregrado). Baranquilla-Colombia.
- Guerrero, J. y Montenegro, A. (2019). *El Lean Manufacturing y la competitividad dentro del sector textil del Cantón de Ambato*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Guarguati, J. (2012). *Propuesta de mejoramiento a través de metodología lean y un programa de planeación de materiales para el proceso de yogurt de la empresa lácteos superior*. Pontificia Universidad Javeriana (Tesis de pregrado). Bogota-Colombia.
- Guilcamaigua, E., y Vaca, A. (2019). *Evaluación del proceso de elaboración de yogurt mediante la normativa arca 067–2015 de sanidad en alimentos procesados* (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).).
- Jahangirian, M., Eldabi, T., Naseer, A., Stergioulas, L. K., y Young, T. (2010). Simulation in manufacturing and business : A review. *European Journal of Operational Research*, 203(1), 1–13. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.06.004> doi: 10.1016/j.ejor.2009.06.004
- Jordan, P. y Gómez, R. (2016). *Plan de mejora de la productividad en la producción de cuero en la empresa Tenería San José Cía. Ltda., Planta 1*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Mohd, J., y Mojib, S. (2015). Production line analysis via value stream mapping : a lean manufacturing process of color industry. *Procedia Manufacturing*, 2(February), 6–10. Descargado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.002> doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.002

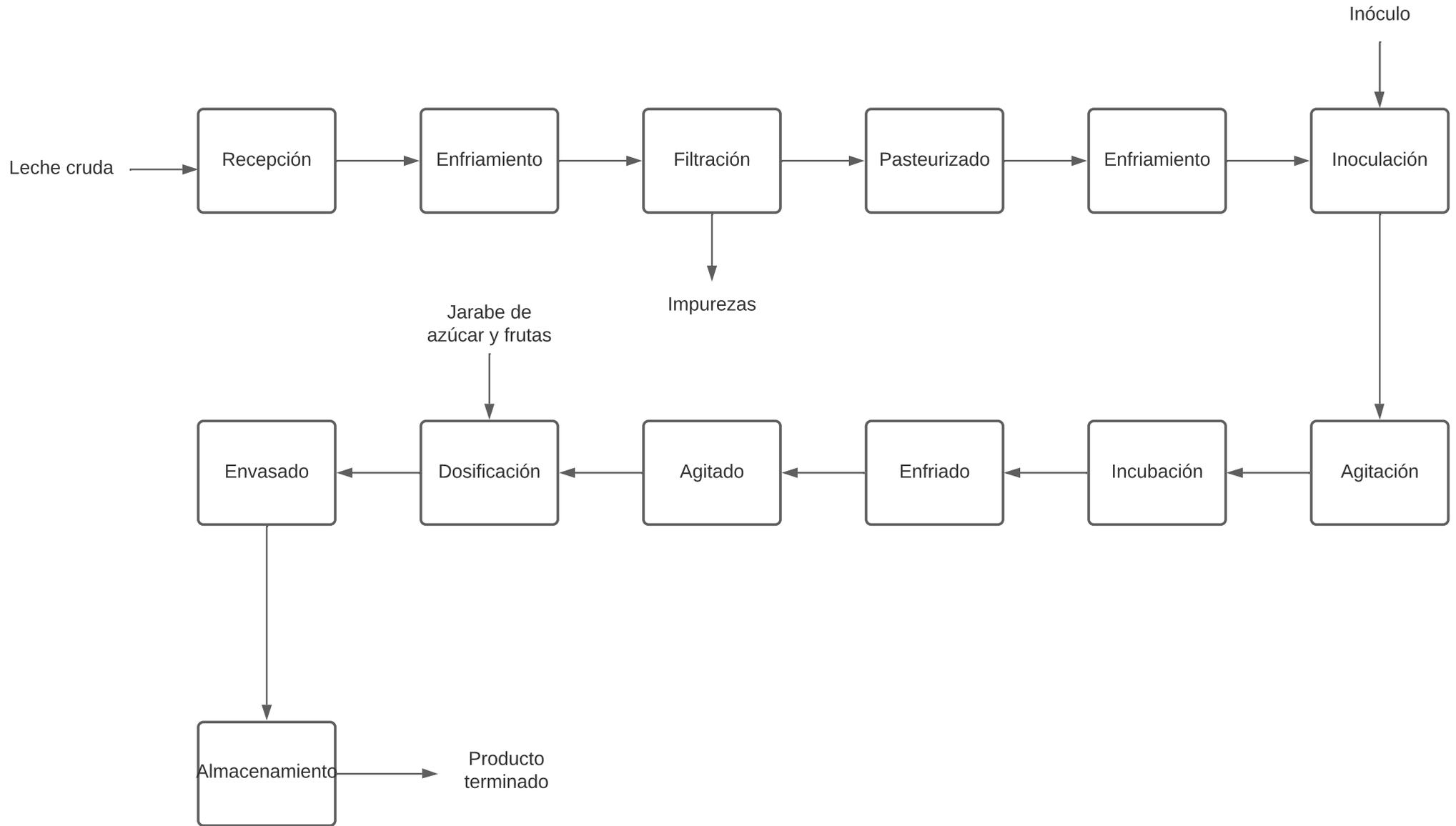
- Moreno, K., Arévalo, L. y Yucailla, J. (2021). *Lean manufacturing como herramienta de mejoramiento de sistemas de producción de empresas textiles*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Natividad, R. O. S., Garay, J. G. C., Junior, J., Chirito, P., Sotelo, J. F. A., & Ascón, J. E. G. (2019). Manufactura esbelta con simulación dinámica estocástica para incremento de productividad, línea de Nuggets en empresa avícola. Región Lima, 2019. *Revista de Investigación Científica*,5(2), 139-153.
- Poves, I., Alvaréz, J. y Nuñez, V. (2020). *Aplicación de las herramientas del lean manufacturing en una empresa plástica peruana*. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). (Tesis de Pregrado). Lima-Perú
- Prieto, D. (2015). Integración de modelos de fabricación mediante simulación con herramientas informáticas y Lean Manufacturing (Tesis Doctoral no publicada). Universidad de Vigo.
- Puche, J. y Costas, J. (2011). El efecto favorable del paradigma Lean Manufacturing sobre la reducción de defectos. *Técnicas de simulación discreta*, 21 (1), 75-103.
- Renda, D., Lourido, G. P. y Gómez, E. (2015). *Integración de modelos de fabricación mediante simulación con herramientas informáticas y Lean Manufacturing*. Universidad de Vigo, Vigo (Tesis doctoral). Vigo-España.
- Rodríguez, J. (2016). Elaboración de 100 kg. de manjar de leche bajo normas técnicas INEN (Bachelor's thesis, Machala: Universidad Técnica de Machala).
- Sanchez, P. A., Ceballos, F., y Torres, G. (2015). A dressmaking factory production process analysis modeling and simulation. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 25(2), 137–150.

- Sanders, A., Elangeswaran, C., yWulfsberg, J. (2016). Industry 4 . 0 Implies Lean Manufacturing : Research Activities in Industry 4 . 0 Function as Enablers for Lean Manufacturing. , 9(3), 811–833.
- Serrano, G. y Ruiz, F. (2018). *Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en una empresa de lácteos: Caso de estudio en la fabricación de quesos frescos, queso mozzarella y mantequilla*. Universidad San Francisco de Quito (Tesis de posgrado). Quito-Ecuador.
- Serna, F. y Serna, A. (2015). *Desarrollar un modelo de simulación que me permita validar las estrategias Lean Manufacturing en una empresa de confección*. Universidad de San Buenaventura Seccional Medellín (Tesis de pregrado). Medellín-Colombia.
- Taylor, P., Mourtzis, D., Papakostas, N., Mavrikios, D., y Makris, S. (2015). International Journal of Computer Integrated Manufacturing The role of simulation in digital manufacturing : applications and outlook. (January 2015), 37–41. doi: 10.1080/0951192X.2013.800234
- Tigre, F. y Pilco, C., J. (2020). *Técnica SMED para la reducción de tiempos en el proceso de lavado de jeans de la Empresa ECUATINTEX*. Universidad Técnica de Ambato (Tesis de Pregrado). Ambato- Ecuador.
- Tobar, M., Córdova, I., y Tituaña, G. (2018). Elaboración de queso mozzarella. *Caribeña de Ciencias Sociales*, (mayo).
- Tovar A, Pedroza, R. y Roldán, J. (2020). *“Diseño de escenarios de mejora en los servicios de reparación y mantenimiento a través de BPM, Lean Manufacturing y simulación*. Pontificia Universidad Javeriana (Tesis de pregrado). Bogota-Colombia.
- Triana, M., Jimenez, J. y Figueroa, V. (2020). *Diseño de sistemas de surtimiento de materiales mediante tarjetas kanban y simulación de eventos discretos*. Instituto Tecnológico de Celaya (Tesis de posgrado). México- México.

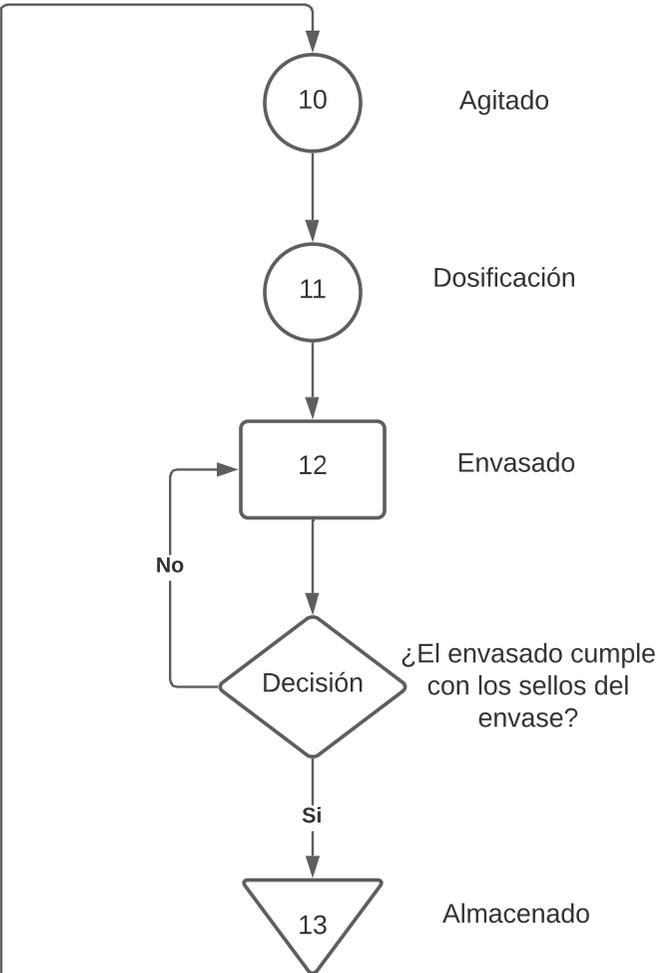
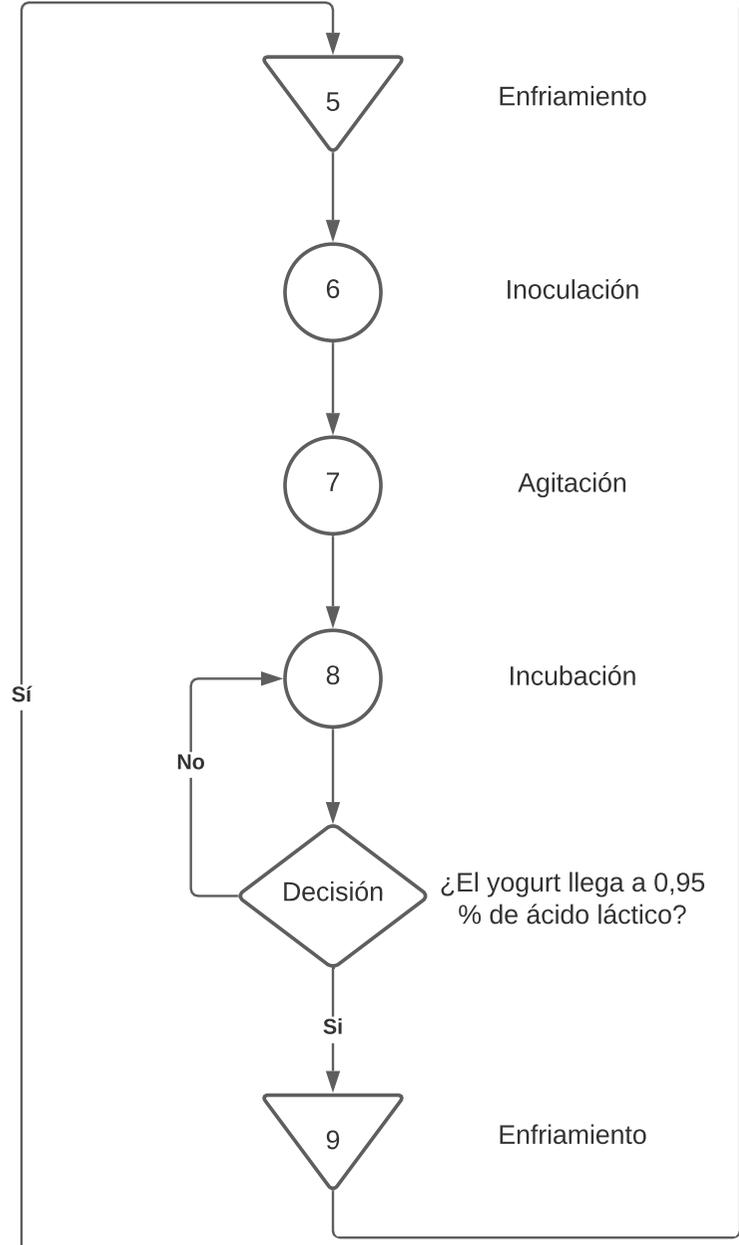
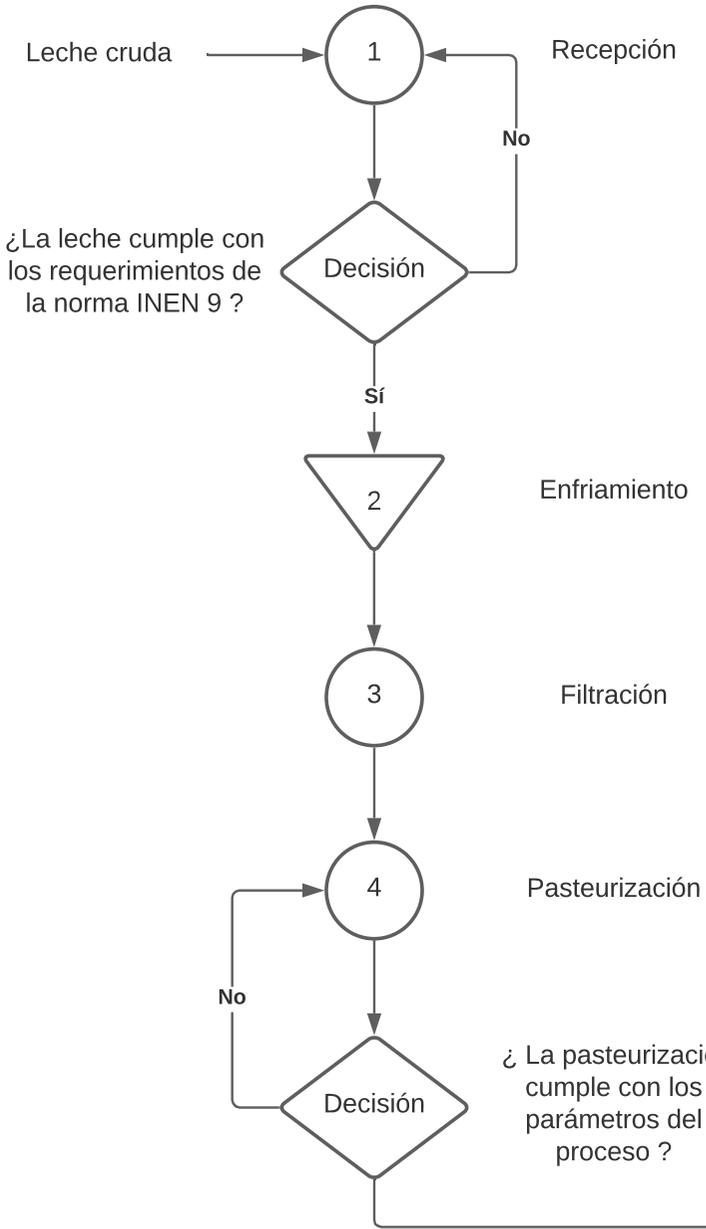
- Vargas-Hernández, G., Castillo, J., y Muratalla-Bautista, G. (2018). Sistemas de producción competitivos mediante la implementación de la herramienta Lean Manufacturing. *Ciencias administrativas*, (11), 020-020.
- Villanueva, Z., Jimenez, J. Hernández, M. Hernández, S, y Figueroa, V. (2021). Diseño de un sistema de surtimiento de materiales bajo principios esbeltos y de manufactura 4.0 usando simulación de eventos discretos. *Pistas Educativas*, 42(138). 1-17.
- Wayner, G. (2009). *Discrete-Event Modeling and A Practitioner 's Approach* (Primera ed.). New York.
- Zambrano, Á. y Salazar, L. (2019). Mejoramiento continuo en el proceso de aprovisionamiento de alimentos en el área de nutrición a pacientes a través de manufactura esbelta. *Avances: Investigación en Ingeniería*, 16(2), 64-82.

5.4. ANEXOS

ANEXO I
Diagrama de bloques del proceso de elaboración del Yogurt



ANEXO I
Diagrama de proceso de elaboración del yogurt



Anexo II

Tiempos de ejecución de las operaciones en la línea de producción de yogurt

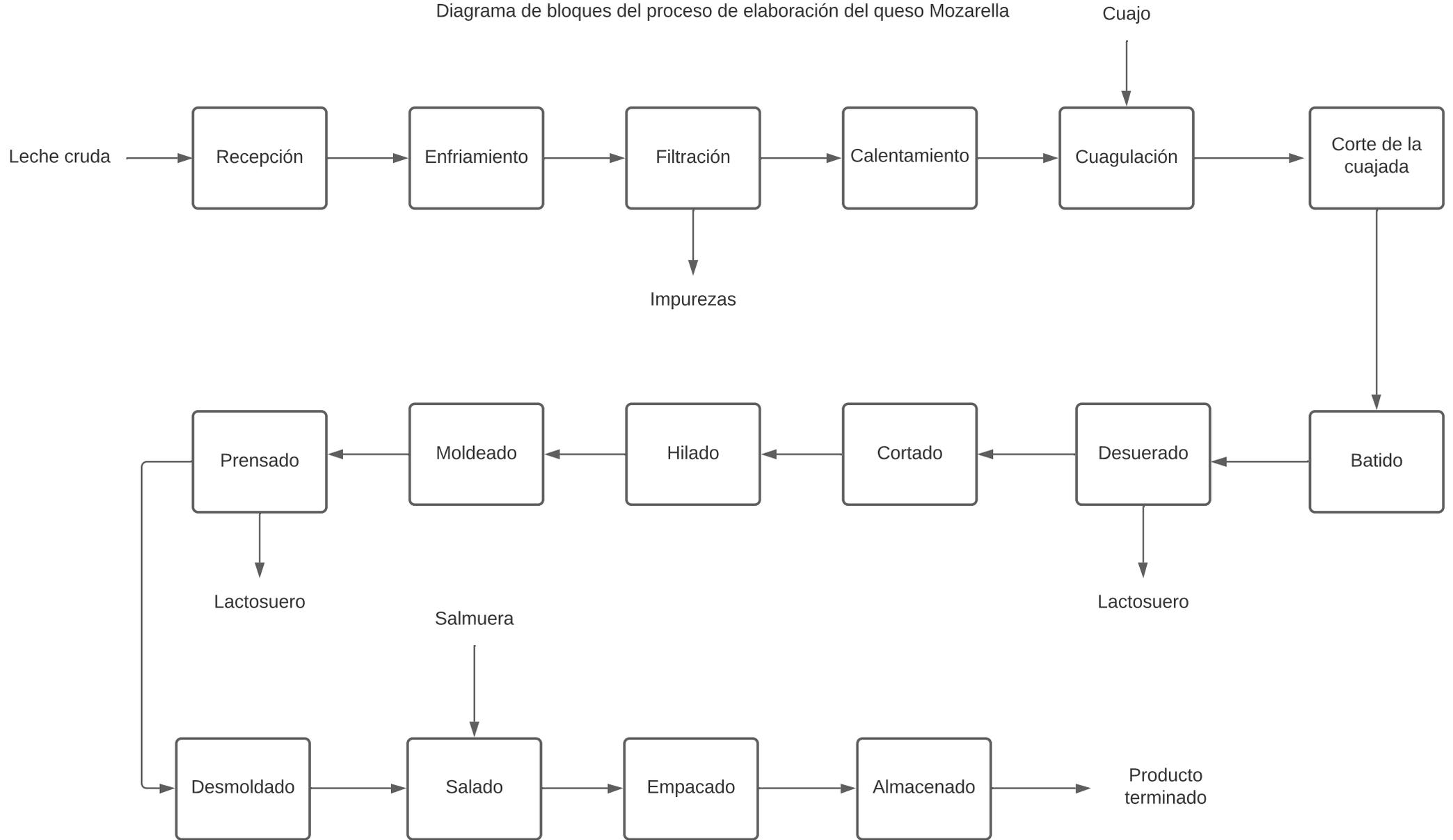
Tabla 17. Tiempos de ejecución en minutos de las operaciones en la línea de producción de yogurt

Proceso	Recepción	Enfriamiento	Filtración	Pasteurización	Enfriamiento	Inoculación	Agitación	Incubación	Enfriado	Agitado	Dosificación	Envasado	Almacenado
1	10,1	7,7	5,7	29,3	10,6	7,0	7,1	240,0	10,6	7,1	15,6	270,4	56,5
2	6,7	4,2	6,0	41,5	9,3	9,6	9,1	240,0	9,3	9,1	26,6	182,7	55,5
3	10,7	6,4	5,2	32,2	15,1	8,4	6,2	240,0	15,1	6,2	25,1	234,2	61,9
4	6,3	12,5	9,2	37,7	16,3	8,2	9,9	240,0	16,3	9,9	17,6	228,0	49,0
5	6,9	16,9	7,0	38,7	33,6	11,6	8,6	240,0	33,6	8,6	34,3	246,0	59,2
6	6,8	13,6	9,0	31,6	8,1	12,1	8,7	240,0	8,1	8,7	26,8	228,1	48,2
7	7,2	5,4	9,3	35,9	19,7	11,8	5,1	240,0	19,7	5,1	24,4	257,9	43,8
8	10,5	10,4	7,1	28,1	12,7	14,4	8,6	240,0	12,7	8,6	24,5	258,0	41,4

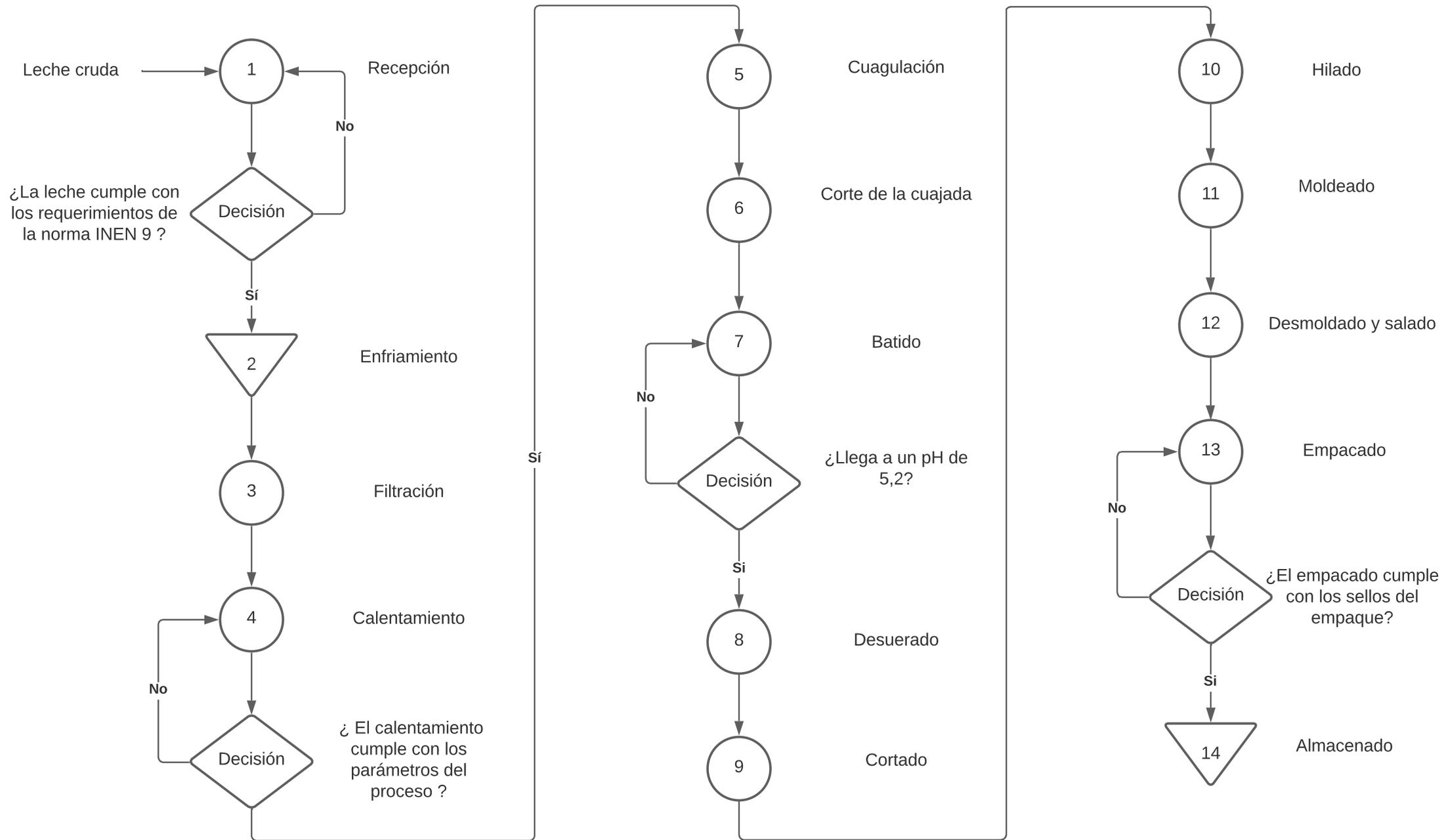
9	6,1	4,7	8,6	32,1	9,7	12,6	6,8	240,0	9,7	6,8	28,3	204,2	58,6
10	7,6	9,1	8,2	28,9	14,1	8,4	8,1	240,0	14,1	8,1	25,3	227,6	51,8
11	8,7	12,4	7,4	36,0	16,3	9,5	5,2	240,0	16,3	5,2	22,5	238,4	51,7
12	6,8	9,9	8,8	34,8	11,7	9,9	8,9	240,0	11,7	8,9	26,1	222,0	48,3
13	6,5	6,7	6,1	38,9	13,3	10,1	6,5	240,0	13,3	6,5	20,3	266,5	60,8
14	4,9	11,3	6,7	41,8	12,6	13,2	9,0	240,0	12,6	9,0	18,9	220,5	65,9
15	7,7	6,7	7,6	35,7	12,8	10,4	7,1	240,0	12,8	7,1	32,5	252,0	67,6
16	8,8	21,3	7,2	41,7	11,0	9,0	5,3	240,0	11,0	5,3	25,1	249,3	49,9
17	11,8	10,4	6,5	28,9	16,5	8,7	7,2	240,0	16,5	7,2	34,8	235,5	75,5
18	10,8	7,5	7,7	41,7	9,4	10,0	6,5	240,0	9,4	6,5	25,2	238,2	55,4
19	6,0	5,7	7,4	37,0	2,4	12,5	5,7	240,0	2,4	5,7	31,0	224,3	33,8
20	9,0	13,6	5,0	36,1	14,6	7,9	9,8	240,0	14,6	9,8	25,8	241,0	47,8
21	6,1	7,6	8,2	30,7	9,7	8,5	5,1	240,0	9,7	5,1	22,2	247,4	68,4
22	4,3	13,0	6,7	34,4	18,3	8,5	5,3	240,0	18,3	5,3	17,2	231,9	56,4

23	10,7	5,3	8,5	30,0	24,5	10,2	7,3	240,0	24,5	7,3	22,5	239,3	56,6
24	10,5	14,2	9,2	32,2	11,2	6,4	5,2	240,0	11,2	5,2	20,9	250,6	50,5
25	4,4	17,7	9,9	35,3	25,1	8,0	7,7	240,0	25,1	7,7	24,9	246,6	44,0
26	4,4	26,7	7,4	37,8	13,4	11,1	9,0	240,0	13,4	9,0	23,8	239,0	60,8
27	4,1	9,5	9,1	29,9	10,9	10,5	7,1	240,0	10,9	7,1	16,9	238,6	47,9
28	6,3	5,8	9,3	35,8	15,8	9,0	9,9	240,0	15,8	9,9	20,2	253,1	67,2
29	8,1	5,5	6,5	35,7	13,5	11,5	9,5	240,0	13,5	9,5	25,2	278,1	53,6
30	10,6	13,1	8,2	37,9	15,9	9,3	8,8	240,0	15,9	8,8	35,7	246,9	45,5

ANEXO III
Diagrama de bloques del proceso de elaboración del queso Mozzarella



ANEXO III
Diagrama de proceso de elaboración del queso mozzarella



Anexo IV

Tiempos de ejecución de las operaciones en la línea de producción del queso Mozzarella

Tabla 18.- Tiempos de ejecución en minutos de las operaciones en la línea de producción del queso Mozzarella

Proceso	Recepción	Enfriamiento	Filtración	Calentamiento	Coagulación	Corte de la cuajada	Batido	Desuerado	Cortado	Hilado	Moldado	Prensado	Desmoldado	Salado	Empacado	Almacenado
1	10,1	7,7	5,7	29,3	1440,0	9,7	17,1	14,6	8,8	45,2	81,7	82,7	142,2	171,8	178,4	56,5
2	6,7	4,2	6,0	41,5	1440,0	13,4	20,5	21,5	9,8	46,2	79,5	137,4	134,1	147,3	165,3	55,5
3	10,7	6,4	5,2	32,2	1440,0	11,9	22,7	12,5	7,4	46,6	95,8	86,6	142,4	160,9	183,9	61,9
4	6,3	12,5	9,2	37,7	1440,0	12,3	12,4	16,8	4,6	46,3	86,5	145,2	148,3	174,0	163,2	49,0

5	6,9	16,9	7,0	38,7	1440,0	9,8	20,9	15,6	6,8	43,8	83,7	106,8	127,5	151,5	189,9	59,2
6	6,8	13,6	9,0	31,6	1440,0	13,4	13,3	14,0	6,5	44,3	107,8	101,7	156,8	146,2	140,1	48,2
7	7,2	5,4	9,3	35,9	1440,0	8,4	18,0	18,0	9,7	45,5	89,0	97,8	152,7	153,0	165,1	43,8
8	10,5	10,4	7,1	28,1	1440,0	13,4	23,2	16,1	5,6	45,4	93,9	112,0	150,9	142,3	169,5	41,4
9	6,1	4,7	8,6	32,1	1440,0	10,4	14,5	12,8	8,2	44,6	130,9	186,4	124,7	157,2	160,5	58,6
10	7,6	9,1	8,2	28,9	1440,0	7,6	22,2	20,0	8,3	45,1	89,3	125,8	156,9	153,2	170,1	51,8
11	8,7	12,4	7,4	36,0	1440,0	10,5	25,5	9,9	5,8	46,9	96,7	81,3	129,8	155,1	165,6	51,7

12	6,8	9,9	8,8	34,8	1440,0	7,6	16,3	17,8	6,5	42,2	105,6	124, 5	133,4	155, 0	164,9	48,3
13	6,5	6,7	6,1	38,9	1440,0	12,0	23,2	15,3	6,9	43,4	84,6	143, 1	129,5	149, 7	183,4	60,8
14	4,9	11,3	6,7	41,8	1440,0	7,7	17,6	14,9	9,0	45,0	89,2	82,1	132,5	134, 4	155,6	65,9
15	7,7	6,7	7,6	35,7	1440,0	10,5	17,8	16,4	5,4	47,4	97,2	115, 5	154,0	180, 6	174,2	67,6
16	8,8	21,3	7,2	41,7	1440,0	13,8	13,4	15,9	8,5	44,4	87,0	87,5	151,1	142, 0	162,1	49,9
17	11,8	10,4	6,5	28,9	1440,0	11,7	21,6	10,9	5,3	44,1	115,9	90,3	141,8	146, 9	159,0	75,5
18	10,8	7,5	7,7	41,7	1440,0	10,8	18,2	17,8	5,5	43,4	89,2	116, 6	155,0	158, 4	165,3	55,4

19	6,0	5,7	7,4	37,0	1440,0	7,6	10,8	15,3	7,2	45,2	84,1	123, 7	138,4	168, 3	175,2	33,8
20	9,0	13,6	5,0	36,1	1440,0	9,7	21,1	14,6	9,6	45,6	99,0	215, 5	137,8	152, 7	148,3	47,8
21	6,1	7,6	8,2	30,7	1440,0	11,4	20,8	13,3	5,9	44,2	74,3	72,8	146,1	162, 5	151,9	68,4
22	4,3	13,0	6,7	34,4	1440,0	10,4	14,4	12,0	4,6	44,1	100,1	137, 3	147,8	142, 9	152,4	56,4
23	10,7	5,3	8,5	30,0	1440,0	8,1	26,7	14,8	7,8	43,5	128,7	104, 1	135,7	162, 4	161,2	56,6
24	10,5	14,2	9,2	32,2	1440,0	7,2	16,1	11,6	4,6	45,0	68,7	114, 8	152,3	161, 7	147,3	50,5
25	4,4	17,7	9,9	35,3	1440,0	9,8	22,2	18,3	9,3	45,7	119,2	124, 2	142,1	151, 8	174,0	44,0

26	4,4	26,7	7,4	37,8	1440,0	6,6	22,7	14,9	5,9	44,5	88,9	134, 3	148,6	151, 2	154,5	60,8
27	4,1	9,5	9,1	29,9	1440,0	12,2	21,3	16,3	10,0	44,9	84,0	106, 6	152,1	145, 4	193,8	47,9
28	6,3	5,8	9,3	35,8	1440,0	7,2	15,1	14,8	9,9	46,4	192,4	96,7	156,4	150, 7	153,8	67,2
29	8,1	5,5	6,5	35,7	1440,0	8,7	8,5	17,3	5,7	45,4	90,3	110, 8	140,5	156, 7	154,4	53,6
30	10,6	13,1	8,2	37,9	1440,0	11,5	17,9	15,6	5,7	46,9	107,4	116, 3	137,8	138, 7	156,0	45,5

Anexo V

- Código del Programa R Studio para ajustar los datos a la mejor distribución de probabilidad

```
library(readxl)
```

```
yogurt <- read_excel("~/Tesis/Distribuciones de probabilidad/yogurt.xlsx")
```

```
View(yogurt)
```

```
attach(yogurt)
```

```
install.packages("riskDistributions")
```

```
require(riskDistributions)
```

```
res1 <- fit.cont(recoleccion)
```

```
res2 <- fit.cont(recepcion)
```

```
res3 <- fit.cont(enfriamiento)
```

```
res4 <- fit.cont(filtracion)
```

```
res5 <- fit.cont(pasteurizacion)
```

```
res6 <- fit.cont(enfriamiento)
```

```
res7 <- fit.cont(inoculación)
```

```
res8 <- fit.cont(agitacion)
```

```
res9 <- fit.cont(incubacion)
```

```
res10 <- fit.cont(enfriamiento)
```

```
res11 <- fit.cont(agitado)
```

```
res12 <- fit.cont(dosificación)
```

```
res13 <- fit.cont(envasado)
```

```
res14 <- fit.cont(almacenado)
```

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de los resultados del ajuste de la distribución de probabilidad para cada una de los procesos. El programa ordena de manera descendente la mejor distribución de probabilidad que se ajusta a los datos.

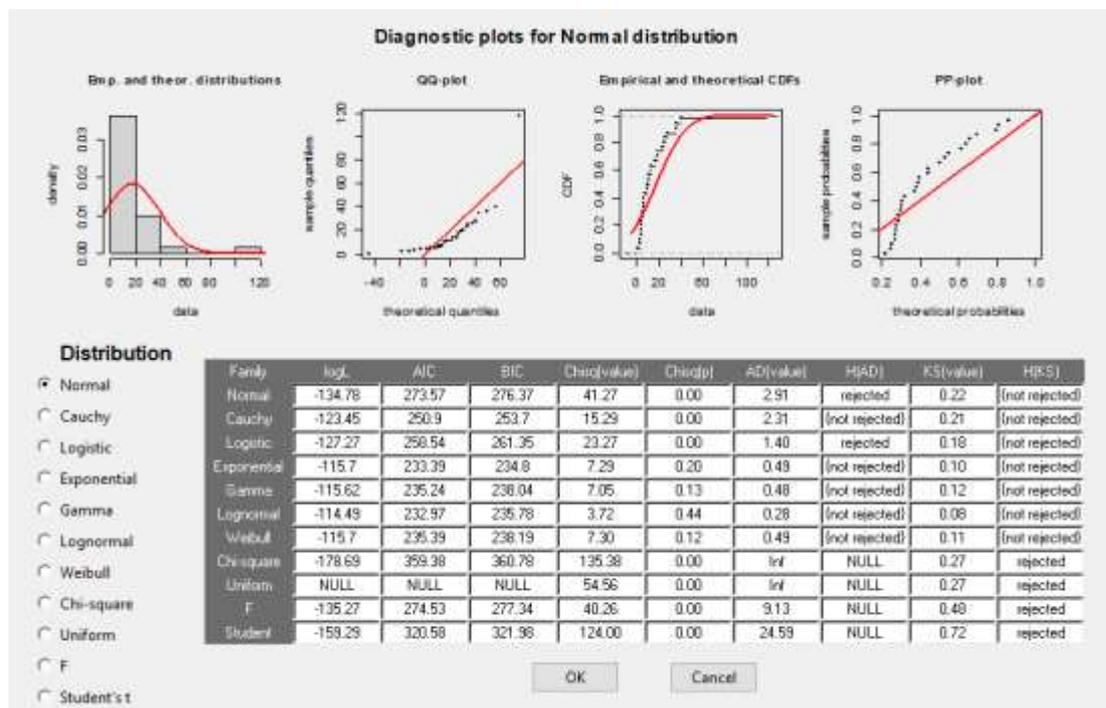


Figura 7.- Ejemplo de los resultados de ajuste de distribución de probabilidad de los tiempos de ejecución de los procesos.

Anexo VI

Tiempos de ciclo en la línea de producción de yogurt mediante el programa Flexsim

Tabla 19.- Tiempo de ciclo en minutos del proceso real vs el proceso simulado en el programa Flexsim de yogurt

Número de corridas	Proceso real (min)	Modelo simulado (min)
1	677,9	739
2	609,7	684
3	666,7	686
4	660,8	671
5	744,9	734
6	649,8	778
7	685,4	693
8	677,0	653
9	628,1	645
10	651,5	636
11	669,7	663
12	648,0	718
13	695,5	695
14	666,5	665
15	699,9	699
16	685,1	670
17	699,4	678
18	668,5	713
19	613,8	667
20	675,0	624
21	668,6	754
22	659,5	717
23	686,7	708
24	667,1	666

25	696,5	663
26	696,0	740
27	642,5	653
28	698,1	638
29	710,4	683
30	696,6	671

Anexo VII

Tiempos de ciclo en la línea de producción del queso mozzarella mediante el programa Flexsim

Tabla 20.- Tiempo de ciclo en minutos del proceso real vs el proceso simulado en el programa Flexsim del queso mozzarella

Número de corridas	Proceso real (min)	Modelo simulado (min)
1	2302	2352
2	2329	2348
3	2327	2339
4	2364	2339
5	2325	2335
6	2293	2348
7	2299	2338
8	2310	2307
9	2401	2327
10	2344	2346
11	2284	2326
12	2323	2311
13	2350	2334
14	2259	2354
15	2384	2343
16	2294	2362
17	2321	2362

18	2343	2348
19	2306	2357
20	2405	2357
21	2264	2347
22	2321	2329
23	2344	2323
24	2286	2350
25	2368	2358
26	2349	2315
27	2327	2328
28	2408	2334
29	2288	2334
30	2309	2327

Anexo VIII

Indicadores de productividad de los distintos escenarios de mejora

Tabla 21.- Tiempo de ciclo en minutos de los distintos escenarios de mejora

Modelo simulado (min)	TPM (min)	POKA YOKE 1 (min)	POKA YOKE 2 (min)	5 S (min)	Eliminación de Muda (Transporte y Movimiento) (min)
739	644	594	624	614	603
684	629	592	612	607	654
686	671	621	626	621	592
671	610	603	645	623	624
734	640	609	666	637	624
778	594	648	647	620	625
693	643	593	633	620	613
653	640	629	600	654	628
645	632	652	668	622	609
636	687	588	621	620	600
663	626	700	622	599	627
718	612	727	628	589	638
695	644	610	649	624	637
665	609	655	638	613	624
699	626	611	624	662	630
670	689	610	569	630	619
678	645	621	606	603	643
713	645	605	608	615	619

667	680	622	575	640	613
624	572	646	624	614	622
754	686	667	631	622	593
717	611	600	626	606	680
708	634	595	593	641	607
666	669	618	639	597	652
663	655	589	630	641	676
740	629	604	688	611	644
653	670	666	618	613	614
638	653	591	628	614	612
683	660	607	633	616	628
671	656	635	600	621	582
644	642	623	626	620	624

Tabla 22.- Productividad en unidades/min de los distintos escenarios de mejora de la línea de elaboración de yogurt

Modelo simulado	TPM	POKA YOKE 1	POKA YOKE 2	5 S	Eliminación de Muda (Transporte y Movimiento)
0,82	0,94	1,01	0,97	0,96	0,99
0,87	0,94	1,03	0,98	0,99	0,91
0,87	0,88	0,97	0,95	0,95	0,99
0,89	0,99	0,99	0,92	0,97	0,97
0,82	0,93	0,98	0,90	0,95	0,97
0,78	1,00	0,92	0,93	0,97	0,96
0,86	0,92	1,02	0,95	0,98	1,00

0,93	0,93	0,96	1,00	0,93	0,96
0,94	0,94	0,91	0,89	0,96	0,97
0,93	0,86	1,03	0,95	0,95	0,98
0,91	0,95	0,86	0,97	1,00	0,95
0,83	0,98	0,82	0,95	1,03	0,93
0,88	0,92	0,99	0,94	0,97	0,94
0,92	0,98	0,91	0,95	1,00	0,96
0,84	0,96	0,99	0,97	0,90	0,96
0,90	0,88	0,98	1,06	0,94	0,95
0,87	0,92	0,97	0,97	1,00	0,92
0,83	0,93	0,99	0,99	0,98	0,96
0,90	0,90	0,98	1,05	0,93	0,97
0,96	1,07	0,93	0,96	0,99	0,98
0,79	0,88	0,89	0,96	0,95	1,00
0,85	0,99	0,99	0,96	0,98	0,88
0,84	0,94	0,99	1,00	0,95	0,99
0,90	0,91	0,96	0,93	0,99	0,91
0,91	0,93	1,02	0,95	0,95	0,88
0,80	0,95	0,99	0,87	0,97	0,95
0,93	0,88	0,91	0,97	0,96	0,99
0,94	0,92	1,00	0,94	0,98	0,99
0,88	0,90	0,98	0,93	0,96	0,95
0,88	0,91	0,95	0,99	0,95	1,01

Anexo IX

Indicadores de productividad de los distintos escenarios de mejora

Tabla 23.- Tiempo de ciclo en minutos de los distintos escenarios de mejora de la línea del queso mozzarella

Modelo simulado (min)	Kaizen (min)	Estandarización de procesos (min)	Poka Yoke (min)	SMED (min)	5 S (min)	TPM (min)
2352	2229	2216	2206	2272	2208	2227
2348	2163	2181	2176	2224	2189	2237
2339	2195	2178	2194	2272	2210	2238
2339	2225	2160	2214	2206	2222	2217
2335	2258	2205	2202	2250	2211	2209
2348	2242	2214	2195	2216	2234	2249
2338	2206	2188	2193	2246	2216	2249
2307	2226	2170	2190	2258	2190	2229
2327	2198	2213	2197	2253	2194	2236
2346	2256	2190	2181	2275	2220	2250
2326	2285	2208	2172	2233	2229	2244
2311	2181	2189	2197	2244	2233	2247
2334	2230	2183	2186	2237	2207	2212
2354	2198	2172	2191	2224	2259	2243
2343	2163	2155	2205	2246	2233	2225
2362	2201	2219	2189	2274	2231	2250
2362	2199	2125	2208	2227	2213	2245
2348	2169	2164	2206	2234	2214	2252

2357	2226	2167	2186	2258	2172	2252
2357	2248	2169	2210	2236	2226	2242
2347	2233	2189	2189	2246	2217	2236
2329	2242	2222	2224	2237	2237	2253
2323	2226	2154	2180	2247	2203	2239
2350	2216	2188	2205	2279	2193	2216
2358	2186	2181	2190	2210	2215	2257
2315	2254	2182	2216	2228	2195	2239
2328	2224	2172	2208	2249	2258	2232
2334	2241	2201	2198	2220	2221	2246
2334	2208	2185	2170	2236	2249	2230
2327	2235	2198	2220	2241	2227	2244

Tabla 24.- Productividad en unidades/min de los distintos escenarios de mejora de la línea de elaboración del queso mozzarella

Modelo simulado	Kaizen	Estandarización de procesos	Poka Yoke	SMED	5 S	TPM
0,422	0,452	0,456	0,458	0,440	0,449	0,451
0,423	0,460	0,454	0,456	0,450	0,453	0,443
0,422	0,459	0,456	0,450	0,439	0,448	0,444
0,424	0,449	0,462	0,453	0,457	0,450	0,456
0,428	0,442	0,448	0,451	0,445	0,448	0,449
0,427	0,450	0,455	0,454	0,446	0,446	0,446
0,428	0,448	0,456	0,456	0,440	0,449	0,450
0,436	0,454	0,457	0,461	0,446	0,458	0,453
0,435	0,458	0,449	0,452	0,446	0,453	0,444

0,426	0,439	0,451	0,460	0,438	0,446	0,443
0,425	0,438	0,457	0,454	0,451	0,451	0,450
0,433	0,454	0,453	0,452	0,450	0,447	0,441
0,425	0,453	0,456	0,456	0,441	0,457	0,457
0,423	0,457	0,458	0,450	0,444	0,444	0,451
0,425	0,458	0,466	0,448	0,449	0,450	0,444
0,418	0,457	0,456	0,452	0,439	0,452	0,440
0,428	0,451	0,474	0,457	0,445	0,455	0,441
0,429	0,465	0,463	0,454	0,442	0,447	0,447
0,428	0,453	0,455	0,454	0,440	0,461	0,448
0,426	0,444	0,457	0,450	0,445	0,450	0,443
0,421	0,442	0,454	0,458	0,451	0,451	0,446
0,428	0,442	0,451	0,454	0,446	0,447	0,446
0,425	0,451	0,460	0,462	0,443	0,456	0,441
0,428	0,450	0,458	0,451	0,436	0,455	0,449
0,419	0,452	0,463	0,453	0,452	0,448	0,440
0,435	0,445	0,463	0,446	0,454	0,452	0,444
0,426	0,447	0,463	0,450	0,448	0,437	0,446
0,427	0,450	0,452	0,451	0,453	0,454	0,441
0,430	0,451	0,455	0,464	0,449	0,446	0,449
0,431	0,447	0,454	0,454	0,447	0,444	0,443