

PROPUESTA DE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING
PARA LA MEJORA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE FERTILIZANTES

YUDI STEFANNY BOTERO VÉLEZ

1350471

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
TRABAJO DE GRADO
BUGA – VALLE
2018

PROPUESTA DE APLICACIÓN DE HERRAMIENTAS LEAN MANUFACTURING
PARA LA MEJORA DE LOS PROCESOS PRODUCTIVOS DE UNA EMPRESA
PRODUCTORA DE FERTILIZANTES

YUDI STEFANNY BOTERO VÉLEZ

1350471

Trabajo de grado para optar por el título
INGENIERO INDUSTRIAL

DIRECTOR

ING. JUAN CARLOS PEÑA OROZCO

UNIVERSIDAD DEL VALLE

FACULTADO DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE GRADO

BUGA – VALLE

2018

Nota de aceptación:

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Buga, (22 de Mayo de 2018)

DEDICATORIA

A mi madre, mi padre, mi hermano y a Whiny.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a Dios por permitirme estar donde estoy en este momento, a mis padres y a mi hermano por brindarme la oportunidad de estudiar la carrera que aprendí a querer con el paso de los años, por apoyarme en los momentos difíciles y de incertidumbre, ya que gracias a ellos es que puedo presentar este proyecto de investigación.

Agradecer igualmente a todos y cada uno de los docentes que me brindaron su conocimiento, tiempo y trabajo a lo largo de estos 5 años, algunos de ellos excelentes maestros, otros tal vez no tanto, pero cada uno de ellos me dejó una enseñanza que aplicaré en el corto camino que queda por recorrer en las aulas de clase y en el largo camino que me queda por recorrer en la vida, especialmente al profesor Juan Carlos Peña quien fue mi guía en la realización de este proyecto, ya que sin él no habría sido posible conseguirlo.

También quiero agradecer a mi compañera Whiny, quien me apoyo incondicionalmente durante el proceso de planeación, redacción, investigación, en fin todo el proceso de este proyecto de investigación.

CONTENIDO

CONTENIDO	6
RESUMEN.....	12
INTRODUCCIÓN.....	14
1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.1. Formulación del problema	17
2. JUSTIFICACIÓN.....	18
3. OBJETIVOS.....	19
3.1. Objetivo general.....	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. MARCO REFERENCIAL.....	20
4.1. Marco teórico	20
4.1.1. Lean manufacturing.....	20
4.1.2. Herramientas de lean manufacturing.....	22
4.1.3. Mapeo de la cadena de valor (Value Stream Mapping)	24
4.1.4. Simulación de procesos	25
4.2. Revisión del estado del arte.....	27
5. METODOLOGÍA	32
5.1. Fase 1.	32
5.2. Fase 2.	34
5.3. Fase 3	36
5.4. Fase 4	37
6. RESULTADOS.....	38
6.1. Descripción general de la empresa.....	38
6.1.1. Diagrama de flujo general del proceso.....	39
6.1.2. Análisis SIPOC	41
6.2. Selección de la cadena de valor	43
6.2.1. Matriz de productos	43
6.3. Criterios utilizados para la selección de la cadena de valor.	46
6.4. Creación del VSM estado actual.	46
6.4.1. Cálculo del takt time	46

6.4.2.	Indicadores utilizados para la creación del VSM	47
6.4.3.	Resultado general de indicadores de estado actual.	51
6.5.	Análisis del VSM estado actual	52
6.5.1.	Identificación de desperdicios	56
6.6.	Selección de herramientas destinadas a la solución de los problemas mencionados	57
6.7.	Selección de problemas críticos	59
6.7.1.	Desarrollo del AHP	60
7.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA PROBLEMÁTICAS CRÍTICAS	61
7.1.	Desabastecimiento de tolvas	61
7.1.1.	Distribución y diagrama de recorridos actual de la planta	62
7.1.2.	Propuestas de redistribución del almacenamiento en bodegas.....	65
7.1.3.	Propuesta de implementación de la mejora	70
7.2.	Fallos en la maquinaria.....	72
7.2.1.	Plan de mantenimiento preventivo para maquinarias seleccionadas .	72
7.2.2.	Cálculo de la carga de mantenimiento.....	73
7.4.	VSM ESTADO FUTURO	74
8.	RESULTADO SIMULACIÓN	78
8.1.	Análisis de tiempo de ciclo y unidades producidas	78
8.2.	Análisis de la utilización del proceso general	79
8.3.	Análisis de capacidad individual	80
9.	CONCLUSIONES	82
10.	BIBLIOGRAFÍA.....	84
11.	ANEXOS	86

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Línea de tiempo de aportes realizados a la metodología Lean.	27
Tabla 2. Portafolio de productos	38
Tabla 3. Análisis SIPOC	41
Tabla 4. Matriz de productos	43
Tabla 5. Matriz de productos	45
Tabla 6: Tiempo disponible y demanda mensual	47
Tabla 7. Indicadores utilizados en la creación del VSM	48
Tabla 8 Tamaño de muestras para cada proceso	49
Tabla 9 tiempo promedio de ciclo de cada proceso	49
Tabla 10. Indicadores actuales del proceso	51
Tabla 11. Clasificación de herramientas lean.....	58
Tabla 12. Resultado criterios finales	61
Tabla 13. Matriz origen-destino estado actual.....	63
Tabla 14. Porcentajes de utilización	64
Tabla 15. Matriz Costo-Utilización estado actual	64
Tabla 16. Matriz origen- destino propuesta 1	66
Tabla 17. Matriz Costo-Utilización propuesta 1	66
Tabla 18. Matriz origen-destino propuesta 2	68
Tabla 19. Matriz Costo-Utilización propuesta 2	68
Tabla 20. Matriz origen-destino propuesta 3	69
Tabla 21. Matriz Costo-Utilización propuesta 3	69
Tabla 22. Lista de tareas mantenimiento preventivo	72
Tabla 23. Frecuencia de realización de mantenimiento	73
Tabla 24. Calculo de la carga de mantenimiento.	73
Tabla 25 comparación de indicadores del proceso	75
Tabla 26 tiempo de ciclo y unidades producidas.....	78

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación de productos	39
Figura 2. Diagrama de flujo de procesos línea semiautomática	40
Figura 3. Diagrama de flujo de procesos línea manual	40
Figura 4. VSM del estado actual	55
Figura 5. Distribución física actual	62
Figura 6. Recorridos realizados por el cargador	63
Figura 7. Propuesta de redistribución	66
Figura 8. Propuesta de redistribución dos.....	67
Figura 9. Propuesta de redistribución tres.	69
Figura 10. VSM del estado futuro.	77

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 número de unidades producidas	79
Gráfico 2 Porcentaje de utilización del proceso	79
Gráfico 3 análisis de capacidad individual de cada proceso	80
Gráfico 4 análisis de capacidad proceso de arrume.....	81
Gráfico 5 análisis de capacidad proceso de desplazamiento a almacén.....	81

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1 . Diagrama de flujo proceso general	85
Anexo 2. Estudio de tiempo de los procesos de producción.....	89
Anexo 3. Desarrollo de AHP para la selección de problemas críticos.....	93

RESUMEN

El diseño y la implementación de técnicas Lean Manufacturing comprenden un sin número de elementos y herramientas que permiten mejorar todos los aspectos de un sistema productivo o empresa de cualquier tipo.

Esta investigación, comprende el análisis de las condiciones iniciales de la empresa caso de estudio, mediante el cual se desarrolló un VSM del estado actual, que permitió la determinación de los problemas más críticos de la línea de fabricación de los productos conocidos como Mezclas, a partir de esta determinación, fue posible encontrar las herramientas de la metodología Lean que más se ajustaran a las necesidades presentes y así poder diseñar un plan de implementación para la mejora de las condiciones, llegando a la creación de un VSM de estado futuro.

Se realizó un análisis profundo de la línea de producción, para ello se realizaron entrevistas con los encargados del área, tanto jefes como operarios, un estudio de tiempos que permitió conocer a profundidad la situación, entrevistas a encargados de las áreas administrativas, además se realizó observación periódica y en diferentes horarios por parte de la encargada de la investigación.

Lo antes mencionado resultó la parte más crítica de la investigación, debido a las pocas facilidades de acceso que brindaba la empresa y a las restricciones para el registro de los tiempos, registros fotográficos y facilidad de acceso a la información necesaria documentada por la empresa.

La empresa caso de estudio muestra una falta de estandarización de sus procesos productivos, todas las actividades, procesos y tareas se desarrollan teniendo en cuenta metodología empírica que ha sido creada a lo largo de los años, por esta razón se evidencia una diferencia considerable en el takt time y el tiempo de ciclo real por producto, demostrando que aunque logran cumplir con los pedidos realizados por los clientes, la empresa debe trabajar un exceso de horas extras para poder lograr los objetivos, haciendo que se incremente considerablemente el costo de producción, además la existencia de largos recorridos por parte de los montacargas, daños en las máquinas y paradas no programadas generan igualmente incrementos de los costos de producción y del precio final del producto terminado.

Palabras claves: Lean Manufacturing, takt time, tiempo de ciclo, costo de producción, estudio de tiempo, VSM.

INTRODUCCIÓN

La existencia de problemáticas dentro de los procesos de producción como la generación de desperdicios de diversos recursos y realización de procesos que no generan valor a los productos es común dentro de las organizaciones manufactureras, esto deriva en un incremento de los costos de producción, tiempos largos de producción, demora en tiempos de entrega, reprocesos de los productos entre otros factores, lo que repercute directamente en la satisfacción del cliente y pone en peligro la aceptación de los productos en el mercado.

Particularmente en el caso de las empresas productoras de fertilizantes, los costos de adquisición de los insumos y materias primas son elevados, la falta de procesos estandarizados en tiempos y métodos generan la existencia de desperdicios y reprocesos que disminuyen el nivel de desempeño del trabajo y por ende incrementan los costos de producción y los precios de venta, por lo que reducir al mínimo todas estas situaciones repercutirá positivamente en las organizaciones, mejorando su margen de ganancia por la venta de los productos.

La inversión de tiempo, esfuerzo y nuevas tecnologías en los desarrollos de los procesos productivos permite una mejor eficiencia y productividad, que se ve reflejada en términos de costos y beneficios económicos para la empresa, además de que pueden llegar a facilitar la labor de los operarios, mejorando así las condiciones laborales de la empresa en general.

Este estudio pretende mejorar las condiciones de los procesos productivos de una empresa manufacturera del sector productor de fertilizantes ubicada en la ciudad de Tuluá Valle del Cauca, mediante la implementación de técnicas particulares del pensamiento Lean Manufacturing, con lo cual se busca encontrar todas aquellas actividades que generan desperdicios de los recursos y/o no agregan valor en términos de calidad y costos al producto, además de realizar una simulación mediante la creación de un escenario futuro esperado, que permita alcanzar mejor condiciones dentro de la organización.

El documento se encuentra distribuido de la siguiente manera; la primera parte que abarca desde la sección 2 hasta la sección 5, describe lo referente al planteamiento de la problemática a tratar, de qué manera puede ser tratada, los objetivos a cumplir con esta investigación y una revisión de la literatura que permite entender la metodología que se pretende utilizar para atacar la problemática descrita; en la segunda parte que abarca desde la sección 6 hasta la sección 8, se puede encontrar el desarrollo de la investigación y del trabajo de campo, con el cual se pudo identificar las condiciones iniciales de la empresa caso de estudio, realizar el análisis de estas condiciones, plantear propuestas que permitieran crear escenarios en los cuales estas problemáticas se encuentran solucionadas y así mejorar las condiciones de la organización, además se exponen los resultados de la simulación generada a partir de ese escenario futuro para corroborar que las propuestas funcionen efectivamente como se espera y finalmente en la secciones 9, 10 y 11 se encuentran las conclusiones de la investigación, las referencias utilizadas a lo largo de todo el trabajo y los anexos necesarios respectivamente.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El sector productor de fertilizantes constituye una industria importante a nivel mundial, debido a que sus productos influyen directa e importantemente en el sector agrícola, el cual es un pilar para la economía de cualquier país.

Los costos de los fertilizantes representan entre el 20 y 25% del valor total de la producción agrícola, por ende, una reducción en los costos beneficiaría en gran medida el desarrollo de los agricultores y permitiría la adquisición de una mayor cantidad de producto, lo que resultaría en aumento de ventas para las empresas, pero esto no es una tarea fácil, la FAO (1998), citado por Pérez¹, argumenta que dentro de los principales elementos que intervienen en la eficacia y los costos de la producción de fertilizantes se pueden mencionar los siguientes:

1. Construcción de fábricas.
2. Utilización de la capacidad instalada.
3. Gestión de las actividades.
4. Disponibilidad de personal capacitado para la realización de los procesos.
5. Garantía de los suministros de materias primas y su costo.
6. Infraestructura general de la empresa.
7. Variabilidad en los procesos productivos.

En términos generales los dos problemas más importantes de este sector que la empresa caso de estudio posee, asociados a los factores mencionados anteriormente son, en primera instancia los elevados costos de los insumos necesarios para la producción de los fertilizantes, lo que genera que el precio de venta a nivel nacional supere entre el 30 y el 50% el precio de la cotización a nivel

¹ FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, citado por Pérez, J. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014. p.86.

mundial, Ministerio de agricultura², provocando que sea más económico para los agricultores, clientes directos de las empresas pertenecientes al sector, la importación los insumos agrícolas; y el otro problema principal es en términos de nivel de desempeño del trabajo, la falta de estandarización de los procesos, genera otros problemas como la generación de desperdicios de recursos como materia prima, tiempo (existencia de tiempos ociosos), largos tiempos de producción y alta tasa de accidentalidad, lo que por ende también incrementan el costos de producción.

Disminuir los precios en el mercado representaría una reducción del margen de utilidades obtenidas debido a que no es posible disminuir el precio de importación de los insumos principales para su elaboración (Uria, DAP y KCL, entre otros), ya que este es un problema externo a la empresa, por lo cual se deben revisar todos los aspectos relacionados con el desempeño del trabajo para así encontrar alternativas que solucionar las problemáticas descritas, sin poner en riesgo los beneficios económicos necesarios para el funcionamiento de las organizaciones del sector.

A lo largo de los años se han diseñado herramientas y metodologías que buscan lograr competitividad, las cuales concuerdan que el éxito de una empresa se encuentra en la capacidad de identificar lo que el cliente valora, y cuáles de sus procesos están realmente generando un valor que el cliente pueda identificar; el uso de herramientas Lean Manufacturing permite acentuar los problemas mencionados, encontrando cuáles de ellos son críticos y encontrando una forma de mitigarlas mediante la aplicación de las técnicas y principios propios de la metodología.

1.1. Formulación del problema

¿Cómo el uso de herramientas de Lean Manufacturing, pueden contribuir a una empresa del sector productor de fertilizantes a mejorar el desempeño de sus procesos productivos?

² MINISTERIO DE AGRICULTURA. Los dueños de los fertilizantes en Colombia. Recuperado de: El espectador. Bogotá, 2014.

2. JUSTIFICACIÓN

Ofrecer una alta calidad y cumplir con los requerimientos del cliente a precios accesibles, permitirá a las empresas posicionarse y mantenerse en el mercado, lo cual, dentro de muchas otras formas, se logra identificando aquellas actividades que realmente representan un valor en el proceso productivo que el cliente puede percibir y enfocarse en ellas, además eliminando esos procesos que no brindan ningún beneficio al producto y generan desperdicios de recursos y tiempo, esto se logra mediante la implementación de Lean Manufacturing, por lo cual la utilización de esta herramienta puede ser muy útil no solo para las empresas productoras de fertilizante sino para todas las empresas que desean tener ventajas competitivas en el mercado.

Es un problema común en las empresas no tener un control respecto a los métodos de producción, por lo que tener claridad de todos los factores involucrados, permite mejorar sus procesos continuamente, reducir desperdicios, costos, recursos involucrados y así generar ventajas competitivas, además de generar un ambiente laboral agradable para el personal.

El presente trabajo pretende, además, servir de guía para la ejecución de planes de mejoramiento en muchas empresas con características similares, que deseen aprovechar sus capacidades productivas a través del seguimiento y control de sus procesos productivos.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

- Proponer un modelo de implementación de técnicas Lean Manufacturing, que permitan mejorar el desempeño de los procesos productivos de una empresa dedicada a la fabricación de fertilizantes.

3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar los procesos productivos dentro de la empresa y crear un diagnóstico de las condiciones actuales.
- Seleccionar los problemas críticos de la empresa, encontrados a partir del diagnóstico de condiciones actuales.
- Diseñar un plan de mejora para las problemáticas críticas, basado en la metodología Lean, teniendo en cuenta las características particulares de la empresa.
- Validar el plan de mejora propuesto, mediante la simulación de escenarios que permitan alcanzar el estado futuro para las condiciones de la empresa.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. Marco teórico

4.1.1. Lean manufacturing

Lean manufacturing (Manufactura Esbelta) según Rajadell y Sánchez³, es la “persecución de una mejora del sistema de fabricación mediante la eliminación del desperdicio”; se entiende como desperdicio todas aquellas acciones que no aportan valor al producto y por las cuales el cliente no está dispuesto a pagar. Esta metodología se centra en la reducción de recursos del productor, principalmente aquellos que ayudan a mejorar el flujo y la velocidad con que se realiza un proceso, como lo es el talento humano, eliminando todo tipo de desperdicio mediante la realización de mejoras continuas y el cambio de mentalidad en las empresas.

El término lean como afirma Womack, Jones y Roos⁴, es un sistema que utiliza menos recursos para crear al menos los mismos resultados producidos a través de los sistemas de producción tradicional, incrementando las variedades del producto requeridas por el cliente final a un menor costo, el termino fue creado por Toyota por lo cual también se conoce como sistema de producción de Toyota o TPS (Toyota Production System), hoy en día es una de las filosofías más utilizadas en las organizaciones debido a que sus diferentes herramientas brindan la posibilidad de generar un ambiente mejora continua, lo que contribuye a crear mayor rentabilidad y productividad a las empresas que lo implementan.

“La disciplina que sigue la Manufactura Esbelta consiste en trabajar en cada faceta de la “Cadena de Valor” reduciendo y eliminando desperdicios”⁵, esto con el fin de reducir costos manteniendo y mejorando la calidad, lo cual aparte de beneficiar a la empresa, beneficia directamente al cliente, permitiendo que la organización consiga más ventas y se mantenga en el mercado de una manera más competitiva.

³ RAJADELL, M y SANCHÉZ, J. Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad. New York. 2010, p.10.

⁴ WOMACK, J; JONES, D y ROOS, D. La máquina que cambió el mundo. En: Revista de economía aplicada, 1993, p 219-222.

⁵ CABRERA, C. Manual de lean Manufacturing TPS americanizado, 2014, p. 27.

El pensamiento lean basado en el modelo Toyota implica una transformación cultural más profunda y más amplia de la que muchas compañías puedan tan solo imaginar, Liker⁶, es por eso que el avance de las organizaciones hacia la adopción de una filosofía lean debe ser lento y realizarse de manera adecuada para garantizar una adecuada ejecución, que cumpla con los objetivos esperados; para ello, Liker⁷ explica las formas en que es posible mejorar sustancialmente los procesos de negocio:

1. Eliminando el tiempo y los recursos desperdiciados.
2. Construyendo calidad en cada uno de los lugares de trabajo.
3. Encontrando alternativas fiables y económicas a nuevas tecnologías costosas.
4. Perfeccionando los procesos del negocio.
5. Construyendo cultura de aprendizaje para la mejora continua.

Es importante además definir algunos conceptos que son necesarios para el entendimiento y aplicación de la filosofía Lean expuestos por Villaseñor y Galindo⁸.

- Valor agregado

El valor en un producto solo puede ser definido por el consumidor final y hace referencia a la calidad que recibe del producto por un precio específico por lo que agregar valor a un producto se trata de la realización de procesos que generarán cambios que el cliente notará ya sea en términos de cualidades del producto, tiempo de entrega, entre otros.

- Desperdicios

Toyota identificó siete tipos diferentes de desperdicios (Muda) que no agregan valor a los procesos de manufactura, los cuales son aplicable no solo a las líneas de

⁶ LIKER, J. Las claves del éxito de Toyota, 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo. Barcelona: Grupo planeta, 2010. p. 57.

⁷ Ibid. p. 60.

⁸ VILLASEÑOR, A y GALINDO, E. Manual de Lean Manufacturing, guía básica. Mexico DF: Editorial Limusa S.A., 2007. p 110.

producción sino también al desarrollo de los productos y en los procesos administrativos y de oficina.

- **Sobreproducción.** Producir artículos para los que no existen ordenes de producción, lo que provoca que las partes sean almacenadas y se incrementa el inventario y por ende los costos de mantenerlo.
- **Espera.** Los operarios esperan observando las maquinas trabajar o esperan herramientas, partes. Es aceptable que la maquina espere al operario pero inaceptable que el operario espere a la maquina o a la materia prima.
- **Transporte innecesario.** El movimiento innecesario de algunas partes durante la producción es un desperdicio, esto puede causar daños al producto o a las partes, lo cual crea un retrabajo.
- **Procesamiento incorrecto.** El no tener claro los requerimientos de los clientes causa que en la producción se hagan procesos innecesarios, lo que agrega costos en lugar de valor al producto.
- **Inventarios.** El exceso de materia prima, inventario en proceso o producto terminado, causan largos tiempos de entrega, obsolescencia de productos, productos dañados, costos por transporte, almacenamiento y retrasos; al mismo tiempo se necesita personal para cuidarlo, controlarlo y entregarlo cuando sea necesario.
- **Movimiento innecesario:** cualquier movimiento innecesario hecho por el personal durante sus actividades, tales como mirar, buscar, acumular partes, herramientas.
- **Productos defectuosos.** Producción de partes defectuosas reparaciones, reemplazo en la producción e inspección significan manejo, tiempo y esfuerzo desperdiciado.

4.1.2. Herramientas de lean manufacturing

Existen técnicas que apoyan la filosofía lean y ayudan a generar valor en los procesos y a disminuir los desperdicios generados en los procesos, como expone Maldonado⁹ y se exponen a continuación:

- **Trabajo estandarizado.** Para garantizar que los procesos generen valor, los operarios deben ser capaces de producir dentro de un tiempo previamente estimado y mejorar continuamente el tiempo de ciclo de los trabajos asignados, aquí se busca que el tiempo de realización de las tareas por parte de todos los operarios sea el mismo.
- **Herramienta 5s’.** es uno de los primeros pasos para realizar la transformación de un sistema de producción convencional a un sistema Lean; obtuvo este nombre debido a que representa 5 acciones que son expresadas en palabras japonesas que comienzan con la letra S: Seiri (clasificar), Seiton (orden), Seiso (limpieza), Seiketsu (estándar) y Shitsuke (disciplina); son el fundamento del modelo de productividad industrial creado en Japón y hoy en día aplicado a las empresas occidentales.
- **SMED (Intercambio de herramientas en minutos).** Se define como la teoría y las técnicas diseñadas para realizar las operaciones de cambio de herramientas en menos de 10 minutos, con el fin de reducir el desperdicio de tiempos de preparación de maquinarias entre otros.
- **Poka-Yoke.** Es una técnica de calidad desarrollada en los años 1960’s, que significa textualmente “a prueba de errores”. La idea principal es la creación de procesos donde sea imposible la realización de errores.
- **TPM (Mantenimiento Productivo Total).** Es un sistema japonés de mantenimiento industrial desarrollado a partir del concepto de mantenimiento preventivo.
- **Justo a Tiempo.** Filosofía industrial de eliminación de todo lo que implica despilfarro en el proceso de producción, desde las compras hasta la distribución.
- **Kanban.** Es una herramienta de producción altamente efectiva y eficiente por medio de tarjetas, las cuales son usadas por trabajadores dentro de los procesos

⁹ MALDONADO, G. Herramientas y técnicas de Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad. Mexico Df, 2008. p 145.

productivos para que los trabajadores sepan qué se está produciendo, qué características conlleva el producto; kanban es una palabra japonesa que traduce “etiqueta de instrucción”.

- **Kaizen.** Palabra japonesa compuesta por dos palabras, una de ellas KAI que significa “cambio” y la otra ZEN que significa “mejor”, lo que implica que KAIZEN signifique “cambio para mejorar”, lo cual se aplica como mejora continua.

4.1.3. Mapeo de la cadena de valor (Value Stream Mapping)

El mapeo de la cadena de valor o VSM por sus siglas en inglés, es la herramienta principal en el desarrollo de la metodología Lean, esta herramienta sirve para ver y entender un proceso y posteriormente identificar sus desperdicios, permitiendo detectar fuentes de ventajas competitivas, además de que permite establecer un lenguaje común entre todos los usuarios relacionados con el producto o proceso y se enfoca en el uso de un plan priorizado para el mejoramiento continuo.

Cabrera¹⁰, afirma que un flujo de valor muestra la secuencia y el movimiento de lo que el cliente valora, esto incluye los materiales, la información y procesos que contribuyen a obtener lo que al cliente le interesa y está dispuesto a comprar.

A Toyota también se le atribuye el origen del uso del VSM con el nombre de “mapeo del flujo de material e información”, aunque esta metodología surgió únicamente con el fin de aplicarse a procesos de manufactura, actualmente se ha adecuado y es ampliamente utilizado en procesos administrativos.

Womack & Jones¹¹, en su libro “Lean Thinking” plantean una metodología y un paso a paso para la realización de un mapa de flujo de valor y un análisis de la cadena de valor.

¹⁰ CABRERA, R. VSM Value Stream Mapping, análisis de la cadena de valor. 2011. p 17.

¹¹ WOMACK, J y JONES, D. Lean thinking. New York: Free Press, 1996. p. 216.

- Identificación de la familia de producto

Se debe seleccionar cuales son los productos o familia de productos que se desea estudiar, a partir de allí realizar una caracterización completa de ellos, con el fin de ver la realidad actual que afrontan los procesos seleccionados y comprender la razón por la cual se realizan de esta manera.

- Diagrama del estado actual

Este mapa muestra los procesos o sistemas de trabajo como actualmente se realizan, lo cual es de vital importancia para entender las necesidades de cambio y para entender donde se encuentran las oportunidades de mejora más relevantes que permitirán un enfoque preciso en ellas.

- Diagrama del estado futuro

En este punto se plantean las posibles mejoras, a través de la creación de escenarios y utilizando la información recolectada de los análisis anteriores, además es importante contar con el conocimiento de las herramientas del pensamiento lean mencionadas anteriormente ya que estas facilitan la construcción del mismo.

4.1.4. Simulación de procesos

“La simulación de procesos, permite realizar cambios o experimentos sobre un sistema, sin alterar directa y físicamente dicho sistema”¹², Ésta en sí, surge a partir de la década de los 60, con el auge de las tecnologías informáticas, momento en el cual, las grandes compañías como IBM proponen sistemas de simulación como el GPSS (General Purpose System Simulator).

La revolución que se produjo en la informática a partir de los años 80, tiene un impacto importante en la simulación por computador, el uso de simuladores se generaliza en prácticamente todos los ámbitos de la ciencia y la tecnología y actualmente en temas industriales, son ampliamente utilizados en el estudio de problemas de fabricación, logísticos, de transporte, comunicaciones y servicios.

¹² MONTERO, A. Simulación de procesos empresariales. Junio 2011, Available from Internet: < <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/b-simulacion/>>.

Las ventajas principales del uso de la simulación en los procesos empresariales es que generalmente es mucho más barato mejorar los sistemas a partir de este método, ya que evita costos adicionales por errores de implementación de las mejoras, además de que no implica interrupciones o incomodidades de las operaciones ni de los operarios, pero igualmente proporcionando un escenario válido, viable y aproximado a la realidad.

Existen diferentes tipos de simulación, entre los cuales encontramos, según Taha¹³ que estudian principalmente el comportamiento de los sistemas reales en función del tiempo:

- Los **modelos continuos**, son los que se ocupan de sistemas cuyo comportamiento cambia continuamente con el tiempo, como ejemplo típico se puede enunciar la dinámica que presenta el crecimiento poblacional mundial.
- Los **modelos discretos**, que son aquellos que tienen que ver principalmente con el estudio de líneas de espera con el objetivo de determinar medidas como el tiempo de espera promedio o la longitud de una cola.

Por otro lado, es posible observar diversas aplicaciones de los modelos de simulación¹⁴, tales como:

- **Diseño y operación de sistemas de manufactura.** Estos modelos varían en tipo y complejidad y son utilizados principalmente con el fin de responder interrogantes relacionados a cantidades de recursos a utilizar (maquinaria, mano de obra, materia prima) en un determinado tiempo, cuáles son las fechas de entrega adecuadas para cada tipo de producción, entre otros.
- **Diseño y operación de sistemas de distribución.** surgen a partir de la necesidad de un sistema de distribución eficiente, con los cuales se busca resolver problemas relacionados con los vehículos disponibles para una entrega, el tiempo de entrega adecuado, cantidades de distribución.
- **Análisis de riesgo financiero.** Fue una de las primeras aplicaciones de simulación y continua siendo muy activa actualmente, debido a que disminuye el riesgo asociado a la toma de decisiones que pueden acarrear problemas económicos para las organizaciones.

¹³ TAHA, A. Investigación de operaciones. México: Pearson Educación, 2012. p.652.

¹⁴ HILLIER, f y LIEBERMAN, G. Introducción a la investigación de operaciones. México: Mc Graw Hill, 2010. p. 884, 885.

- **Industrias de servicios.** Campo ampliamente explorado actualmente, con el fin de mejorar el nivel de servicios que presentan las compañías, ya que simularlos permite reducir los tiempos invertidos y así mejorar la empresa sin poner en riesgo la comodidad del cliente.

4.2. Revisión del estado del arte

“En las últimas décadas se han implementado diversos métodos para diseñar, optimizar o evaluar sistemas productivos, ayudando a mejorar y acelerar el diseño y creación de producto y los flujos de información en la fabricación”¹⁵ (Matt, 2014), el uso de la metodología para la eliminación de desperdicios o mudas en las empresas para alcanzar una ventaja competitiva surge a partir de los 80's con el método Toyota, pero no fue sino hasta los años 1990 que en el libro “The Machine that Changed the World” escrito por Womac, Jones y Roos, se afianza el concepto de Lean manufacturing y los gráficos de diagramas de flujos como una técnica de modelado de sistemas empresariales altamente eficiente.

Tabla 1. Línea de tiempo de aportes realizados a la metodología Lean.

AÑO	TÍTULO	AUTOR	APORTE
1998	Learning to see – Value Stream Mapping to create Value and eliminate muda	Rother & Shook ¹⁶	Son pioneros en el estudio del mapeo de la cadena de valor como lo conocemos hoy en día, bajo teorías empíricas desarrollaron una gran variedad de conceptos que pueden ser aplicados a la optimización de los procesos industriales
2002	Is "Lean" a universal production system?	Cooney ¹⁷	Realizó un estudio respecto a la efectividad de métodos tradicionales y las técnicas de lean

¹⁵ MATT, D. Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems, a case study. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2014. p. 334-350.

¹⁶ ROTHER, M & SHOOK, J. Learning to see – Value Stream Mapping to create Value and eliminate muda. Cambridge: Lean Enterprise, 1998.

¹⁷ COONEY, R. Is "Lean" a universal production system? Batch production in the automotive industry. En: International Journal of Operations & Production Management, 2002. p. 1130-1147.

	Batch production in the automotive industry		manufacturing, en el cual encontró, que si bien las técnicas de Lean son eficientes y casi 100% confiables de aplicarse adecuadamente, existen métodos tradicionales que son más sencillos de aplicar y que según las características de la empresa, son igual de efectivos que las técnicas lean.
2006	Lean viewed as a philosophy	Bhasin & Burcher ¹⁸	Realizaron un estudio en el cual encontraron que la adaptación de los sistemas lean aún presenta factores desfavorables que generan bajas tasas de éxito en su implementación, los más comunes en empresas manufactureras, es su errónea interpretación de casa método lo cual consume recursos monetarios y de tiempo que ponen en una situación difícil a la empresa.
2010	Lean implementation and its benefits to production industry	Singh; Sharma & Grewal ¹⁹	Realizan una implementación técnicas Lean Manufacturing de manera experimental en una industria manufacturera, obteniendo como resultado que encontrar los problemas críticos y más representativos dentro de la empresa en términos de muda, facilita su solución y por ende, permite minimizar la brecha entre el estado actual de la empresa y el estado deseado.
2012	Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants	Ghosh ²⁰	Mediante el uso de encuestas, el autor presenta la efectividad de las técnicas Lean, aquí se realizan

¹⁸ BHASIN, W y BURCHER, P. Lean viewed as a philosophy. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2006. p. 56-72.

¹⁹ SINGH, B; SHARMA, S & GREWAL, C. Lean implementation and its benefits to production industry. En: International Journal of Lean Six Sigma, 2010. p. 157-168.

²⁰ GHOSH, M. Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2012. vol. 24. p. 113-122.

			dichas encuestas a empresas que se encuentran haciendo uso de la metodología Lean y mediante la comparación de indicadores, se obtuvo como resultado que todas las empresas que utilizan estas técnicas presentan una mejora considerable en el desempeño del trabajo y permite a las organizaciones llegar a un estado futuro deseado.
2013	A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations	Karim & Zaman ²¹	Proponen basados en cinco principios de Lean Manufacturing, desarrollar una metodología más efectiva para la implementación del mismo en empresas manufactureras, por lo cual mediante el uso de métricas de evaluación basadas en el uso de la medición continua del desempeño (CPM), obtienen como resultado una metodología capaz de identificar sistemáticamente los desperdicios de fabricación y así seleccionar la herramienta e indicadores de desempeño más relevantes para el caso, proporcionando una mejora significativa en los procesos pero de una manera simplificada.
2013	Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation, a case study	Gurumurthy & Kodali ²²	Mediante el uso de mapeo de la cadena de valor (técnica particular de la metodología lean), explican la gran utilidad que tiene esta herramienta para disminuir los niveles de desperdicio en los

²¹ KARIM, A & ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. En: Business Process Management Journal, 2013. p. 169-196.

²² GURUMURTHY, A & KODALI, R. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation, a case study. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2013. p. 444-473.

			procesos productivos de una empresa manufacturera, con ayuda de la simulación de escenarios, los autores llegan a la conclusión de que a pesar de las dificultades que pueden encontrarse por las limitaciones particulares de la empresa, hacer uso de las herramientas de simulación permiten acelerar la obtención de resultados reales, ya que evita el factor error dentro de la implementación física de los conceptos.
2016	Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation	Omogbai & Salonitis ²³	En términos de simulación, estos autores proponen una mejora en la aplicación de técnicas Lean Manufacturing, mediante el uso de simulación de eventos discretos, la cual permite optimizar las operaciones, dentro de la metodología que presenta el artículo se seleccionan cuáles son los escenarios de mejoramiento de los sistemas Lean que se desean realizar y a partir de allí se simulan, obteniendo como resultado mejoras considerables.

Fuente. Elaboración propia

En general la revisión literaria indica que la aplicación de las técnicas de lean se asocia con frecuencia a la mejora del funcionamiento de medidas de desempeño, pero además, exponen el grado de dificultad que representa la correcta adaptación e implementación de esta técnica. “Los beneficios comúnmente citados y relacionados con la manufactura esbelta son la mejora de la productividad del trabajo y la calidad, junto con la reducción de tiempos, tiempo de ciclo y los costos asociados a la fabricación” Schongber²⁴, lo anterior nos lleva a pensar que el uso

²³ OMOGBAI, O & SALONITIS, K. Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation. En: Elsevier, 2016. p. 195-200.

²⁴ SCHONBERG, R. Japanese manufacturing techniques: nine hidden lessons in simplicity. New York: Free Press, 1982.

adecuado de las técnicas lean, conducen a un desarrollo favorable de las compañías, por lo que muchas empresas han intentado implementarlas.

Finalmente resulta pertinente resaltar a Arrieta et al²⁵, los cuales mencionan que los sectores que más han implementado las herramientas de manufactura esbelta en Colombia han sido: automotriz 20%, metalmecánico 20%, alimenticio 16%, textil 9%, vidrio o cerámica 7% y otro 21%, en este último ítem se encuentran las empresas del sector productor de fertilizantes el cual es el pilar del estudio a realizar.

²⁵ ARRIETA, J, et al. Aplicacion Lean Manufacturing en la Industria Colombiana, Revision de Literatura en Tesis y Proyectos de Grado. En: Conferencia Latinoamericana y del Caribe, 2011. Medellín.

5. METODOLOGÍA

Este estudio será de segundo nivel de conocimiento, donde se utilizarán diversos recursos como: referencias literarias relacionadas con el mapeo de la cadena de valor y la implementación de las herramientas lean, acompañamiento y análisis de datos proporcionados por una empresa del sector productor de fertilizantes, además de la utilización de las herramientas informáticas que permitan facilitar la clasificación, tabulación, simulación y análisis de datos e información recolectada.

El proyecto se dividirá en 4 fases de las cuales tres darán cumplimiento a cada uno de los objetivos específicos establecidos y la fase restante dará cumplimiento a tareas varias, lo que permitirá el alcance y cumplimiento a cabalidad del objetivo general planteado, estas fases seguirán la metodología de aplicación de técnicas Lean Manufacturing, presentada en el libro “Lean Manufacturing, conceptos, técnicas e implantación” Hernandez y Vizán²⁶.

5.1. Fase 1.

Esta fase, involucra el cumplimiento del primer objetivo específico, en la cual se realizará una caracterización de la empresa seleccionada para la aplicación del caso de estudio, lo que permitirá la creación de un mapa de estado actual, con el cual se trabajará para la búsqueda de los problemas más relevantes de la organización; esto se conseguirá mediante la realización de las siguientes actividades:

1. Reconocimiento de la empresa.

El primer paso de este trabajo, consta del reconocimiento completo de la empresa caso de estudio, en el cual se harán visitas periódicas con el fin de conocer los procesos productivos de la empresa, los tipos de productos que manejan, la cantidad de maquinaria, la cantidad de operarios, los métodos de trabajo y todos aquellos detalles particulares dentro de la misma; para esto se utilizarán los siguientes recursos:

²⁶ HERNANDEZ, J y VIZÁN, A. Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Fundación EOI, 2013. p. 82.

- **Cronograma de visitas.** Este será previamente acordado con el gerente de planta de la empresa caso de estudio y se presentará como un anexo del trabajo.
- **Charlas con los operarios y allegados al proceso productivo.** Dentro del marco de cada visita descrita anteriormente, se realizarán entrevistas con las personas vinculadas al proceso con el único fin de obtener el conocimiento necesario sobre las particularidades de la empresa.

2. Recolección de datos

La confiabilidad y calidad de los datos obtenidos es de vital importancia para un adecuado desarrollo de la investigación, por lo cual se hará uso de las siguientes técnicas que permitan la obtención de los datos.

- **Observación.** Mediante esta actividad se pretende conocer todo el panorama general del proceso productivo de la organización, con el fin de notar detalles importantes que sirvan de apoyo para el proceso de investigación; esto se realizará mediante una serie de visitas programadas con permiso de la empresa caso de estudio.
- **Entrevistas con el encargado de producción.** Gracias a un buen apoyo por parte de la empresa, los datos serán obtenidos por parte del gerente de planta.

3. Análisis de los datos obtenidos.

Una vez se tengan a disposición los datos necesarios para un reconocimiento total de la empresa, se deberán organizar de manera que sean de fácil comprensión y que permitan continuar con el trabajo de manera adecuada, para ellos se utilizarán las siguientes herramientas:

- **Tabulado general de los datos.** Se realizará mediante la creación de una plantilla en Excel, que permita conocer cada uno de los productos y familias de productos que maneja la organización, cuáles son los recursos utilizados dentro de su fabricación, y aspectos generales de datos obtenidos.

- **Diagrama de flujos del proceso.** Una vez determinado el orden de las actividades, se procede a representar el flujo general del proceso para cada una de las familias de producto existentes, desde la recepción de materia prima, hasta que el producto terminado, se encuentra cargado en los camiones que serán despachados.

4. Creación del mapa de estado actual.

El mapa de estado actual, es una parte fundamental dentro del desarrollo de la investigación, ya que esta permitirá conocer la situación real de la organización para a partir de allí proponer cambios que beneficien a la empresa, mediante el uso de técnicas lean Manufacturing, para eso es necesario cumplir las siguientes actividades:

- **Determinación del Takt Time** (Tiempo de Tarea). Se debe determinar cuál es el ritmo en que los productos deben ser terminados, según los requerimientos del tiempo, para así tener un punto de comparación con la situación actual.
- **Creación del mapa de la cadena de valor.** Se realizará con el fin de conocer a fondo y a partir de los datos obtenidos, la relación que tienen cada uno de los procesos entre sí, con el objetivo de crear una fuente de información que permita visualizar todos los recursos y características particulares (Flujo de material, mano de obra, tiempos de espera, inventarios, información, etc.) utilizados dentro de la realización de cada parte del proceso.

5.2. Fase 2.

Esta fase es la que busca dar cumplimiento segundo y tercer objetivo específico y se encargará fundamentalmente de la selección de los problemas más importantes y de carácter más urgente dentro de la empresa, encontrados en el mapa de estado actual, para a partir de allí, formular propuestas de mejora teniendo en cuenta las

herramientas convencionales de la metodología Lean Manufacturing; esto se llevará a cabo gracias a la realización de las siguientes actividades:

6. Análisis del mapa de estado actual.

Una vez ordenados los datos en el mapa de estado actual, se procede a estudiar a profundidad cada una de partes del proceso productivo, con esto se logrará la determinación de los puntos clave en los que se presenta desperdicio de recursos.

7. Selección de las problemáticas más críticas e importantes obtenidas del mapa de estado actual.

Luego de analizar el estado actual y tener claro los focos de problemas dentro del proceso productivo, es necesario escoger con cuáles de ellos se piensa trabajar para generar un alcance adecuado dentro del trabajo, lo cual se piensa lograr mediante un análisis multicriterio de los factores más relevantes de la empresa, teniendo en cuenta las opiniones de los involucrados en el proceso y las características particulares que presenta el sector.

8. Determinación de las herramientas de Lean que permitan solucionar los problemas críticos encontrados.

Para determinar cuáles son las herramientas que permiten dar solución a los problemas, es fundamental tener claro para que sirve cada una de estas y a partir de un análisis de las características particulares definir las y asociarlas a cada problema crítico.

9. Selección de indicadores clave de desempeño para la metodología Lean.

Dentro de la metodología Lean Manufacturing, se encuentran ciertos indicadores generales, que permiten determinar si una empresa es productiva o no, por lo cual resulta importante tenerlos en cuenta, una vez se han seleccionado los problemas críticos, y se ha determinado cuáles son las herramientas que se van a utilizar para

resolverles, se tienen en cuenta los indicadores propios que cada herramienta trae consigo.

10. Creación del mapa de estado futuro.

Para realizar el mapa de estado futuro se debe tener en cuenta la información de los pasos anteriores además de conocer claramente lo que la empresa espera, luego de tener claros estos parámetros se empieza con el diseño del mapa que involucra la representación gráfica de los procesos, teniendo en cuenta los recursos de materiales, tiempo, personal, información que se espera que sea el óptimo para mejorar los procesos.

5.3. Fase 3

La tercera fase comprende las actividades de comprobación, estas garantizarán que las propuestas de mejora fueran satisfactorias debido a que ninguna de las herramientas se implementará realmente dentro de la empresa, la comprobación se realizará por medio de la simulación del mapa de estado futuro que se obtuvo a partir de las propuestas de mejora presentadas, las actividades serán las siguientes:

11. Selección del software de simulación.

una vez definido el modelo, se analiza dentro de una serie de opciones de programa de simulación, cual se adapta mejor a lo que se espera obtener, teniendo en cuenta criterios como disponibilidad de acceso, facilidad y confiabilidad.

12. Preparación de los datos obtenidos.

Se debe definir con claridad dentro de todos los datos que han sido obtenidos y analizados, cuáles de ellos de verdad representan valor dentro del modelo para garantizar que los resultados sean apropiados, para esto, como en pasos anteriores de mira de manera específica el problema tratado y las variables que lo relacionan con el proceso en general.

13. Simulación del mapa del estado futuro.

En esta etapa, se procede a ingresar todos los datos, variables, características necesarias dentro del programa de simulación y se procede a correr el modelo, con un tiempo determinado para la obtención de resultados a corto, mediano y largo plazo.

14. Análisis de resultados obtenidos.

Como etapa final de la investigación, se analizan los resultados obtenidos del proceso de simulación y los datos que se tienen del mapa de estado actual, mediante una comparación de indicadores que permita determinar si efectivamente el uso de las herramientas seleccionadas representa una mejora considerable dentro de los proceso de la empresa y así poder determinar si la investigación fue exitosa o no.

5.4. Fase 4

Esta última fase se ejecutará de manera transversal a la realización de todas las tareas mencionadas anteriormente, ya que implica la revisión de marcos referenciales que permitan la ejecución de dichas tareas, además de la redacción del documento, que es parte fundamental para completar satisfactoriamente el estudio, en la cual se tendrán en cuenta la redacción de las recomendaciones para la empresa y las conclusiones generales del trabajo.

6. RESULTADOS

6.1. Descripción general de la empresa.

Nutrición de plantas S.A. es una empresa ubicada la ciudad Tuluá, con una proyección de aproximadamente 13 años, se desempeña en el sector agroindustrial, produciendo y distribuyendo fertilizantes químicos para todo tipo de suelos y sus productos son distribuidos a nivel nacional; actualmente cuenta con un portafolio de 38 productos, como se observa a continuación.

Tabla 2. Portafolio de productos

TIPO DE ROTACIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
REFERENCIA	Triple 18	Desyerbe	Nutriban
	25-4-24-	Fosfatado	Carguero
	31-8-8-2MG-3S	Triple 16	Pastoreo
	Urea (46-0-0)	MAP	Oilkem
	DAP (18-46-0)	10-20-30	Despegue
	KCL	Triple 15	N-Fos
	KCL estándar	12-34-12	Nifokaz
	ALPHA III		Nitrogen K
	10-30-13-3		Nutricafii
	SAM		Inicio
	Nutrigrass		Nutripal
	Nutri 3		Kieserita
	Mezcla especial		Granumak
	17-6-18-5-18		Mezcla 46-0-0-6
	SAM Estándar		Nutrimagnesio
			Mezcla 23-0-30

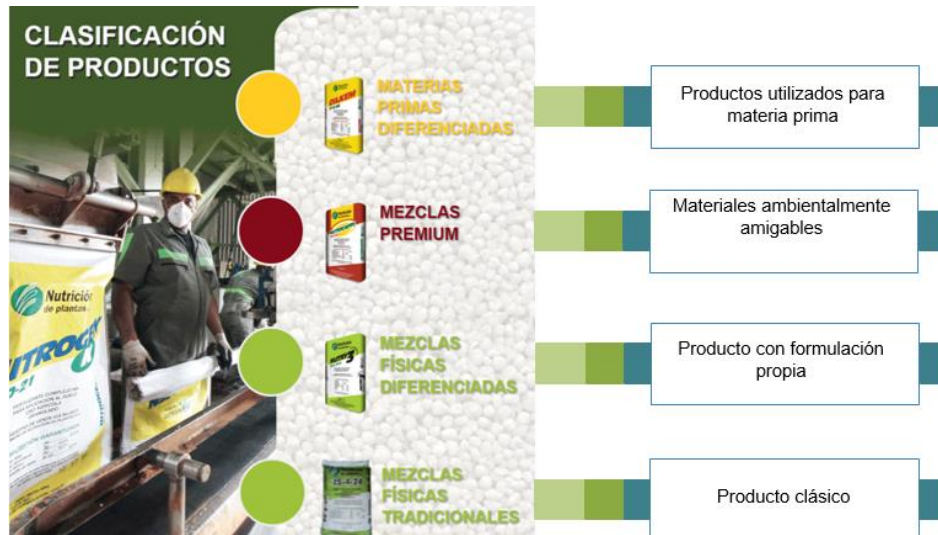


Figura 1. Clasificación de productos

6.1.1. Diagrama de flujo general del proceso

La producción es solo uno de los muchos procesos que se desarrollan dentro de la organización y gracias a los cuales es posible conseguir el producto terminado, ya que interactúan las necesidades de proveedores y las de los clientes, por lo cual es necesario tener claro como todas estas áreas interactúan entre sí para que no existan problema a nivel general dentro de la empresa. (Ver diagrama de flujo en Anexo 1).

Para la realización de los productos mencionados anteriormente se cuenta con dos líneas de producción, las cuales pueden ser utilizadas para todos los tipos de productos en el momento que sea necesario, pero por cuestiones de practicidad, las mezclas especiales, es decir los que contienen diferentes materias primas en cantidades determinadas, se realizan únicamente en la línea semiautomática.

- Línea semiautomática

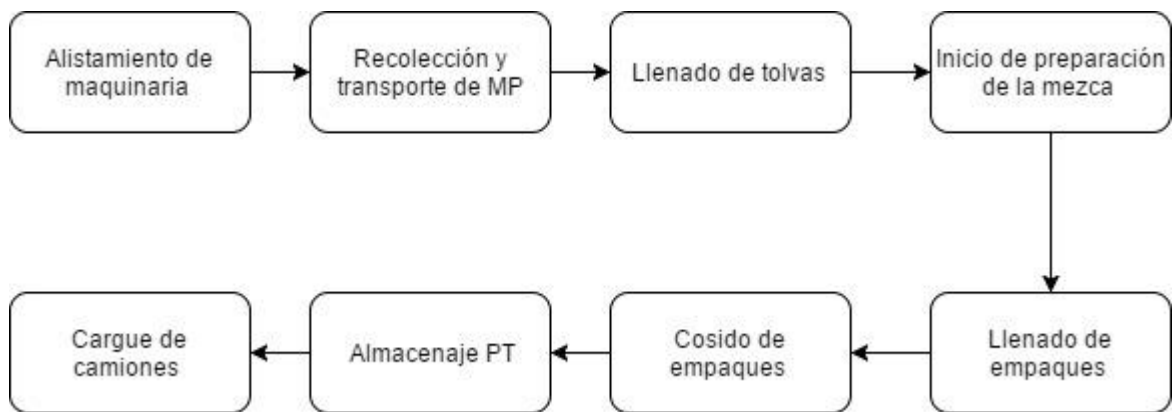


Figura 2. Diagrama de bloques de procesos línea semiautomática

La línea de producción semiautomática se encuentra ubicada en la bodega de producción y cuenta con tolvas que son alimentadas con la materia prima necesaria según corresponda en el tipo de producto, una vez se encuentran listas las tolvas se da inicio al proceso productivo que se basa en una mezcla física de las materias primas, las cuales se deslizan por una canal hasta llegar al punto de empaque, donde un operario se encarga de posicionar los empaques en la máquina llenadora, otro se encarga de pasar el producto por la máquina cosedora una vez se encuentra lleno y un último se encarga de encaminarlo hacia la banda transportadora que lo dirigirá al área de espera antes de que los operarios de carga lo transporten hasta bodegas o hasta los camiones sea cual sea el caso necesario.

- Línea manual

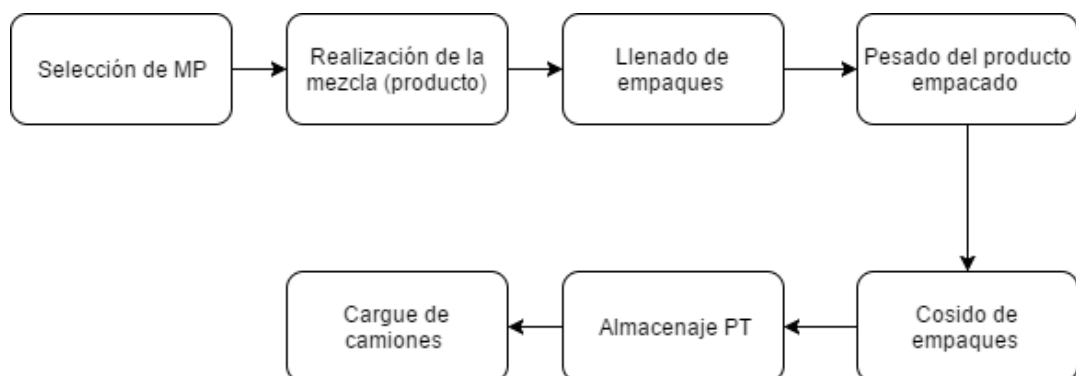


Figura 3. Diagrama de bloques de procesos línea manual

La línea de producción manual no tiene un sector fijo dentro de la empresa, ya que lo que se busca al utilizar esta línea es evitar que por traslado, la materia prima se vea desperdiciada, por lo que, una vez se ha definido que la producción se realizará de manera manual, se seleccionan entre 5 y 7 operarios dependiendo de la cantidad de producto necesario, para que se desplacen hasta la bodega en la cual se encuentra la materia prima y por medio de un recipiente vayan llenando los empaques para después pesarlos y asegurarse de que se encuentren con el peso necesario (50 kg) y posteriormente coser de manera completamente manual el empaque; una vez se encuentra listo el producto, se arruma en las estibas por el personal de cargue y descargue y se transporta con el montacargas al lugar seleccionado de almacenaje para ese producto terminado o se carga directamente en los camiones según sea el caso; este proceso solo se realiza para los productos denominados Materias Primas Diferenciadas.

6.1.2. Análisis SIPOC

Con el fin de entender el proceso general de la empresa y facilitar la detección de posibles fuentes de desperdicios, se realizó un análisis de proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes, el cual da una visión detallada de todas las partes, información, productos, insumos, entre otros requeridos para la eficiente realización de las actividades de producción, como se observa a continuación.

Tabla 3. Análisis SIPOC

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES
Producción	Información de ventas de periodos anteriores, requerimientos de producción	Requerimiento de insumos	Orden de compras, materia prima, empaques,	Área administrativa
Proveedores de internos, área de compras	Autorización de compras	Compra de insumos		
proveedores extranjeros, área administrativa	Documento de control de calidad por parte del proveedor, insumos	Recepción de insumos		
Recepción de insumos	Insumo, orden de pesado	Pesado de insumos recibidos	Constancia de peso, materia prima, empaques	Bodega Materia prima

PROVEEDORES	ENTRADAS	PROCESOS	SALIDAS	CLIENTES
Área de ventas / Clientes externos / producción	Materia prima, Mano de obra, herramientas, empaques, Producto para reproceso	Producción manual	Producto terminado	Almacen de producto terminado / cliente externo
	Pedido del cliente, Orden de producción, información de materia prima e insumos adquiridos, orden de producción producto apto para reproceso	Selección de personal	Inventario de producto terminado, inventario de empaques utilizados, inventario de mp utilizada, cantidad de productos en bodega	Almacen de producto terminado / cliente externo
		Alistamiento de insumos		
		Realización de la mezcla		
		Llenado de empaques		
		Pesado de empaques		
		Cosido de empaques		
Área de ventas / Clientes externos / producción	Materia prima, Mano de obra, herramientas, empaques, Producto para reproceso	Producción semiautomática	Producto terminado	Almacen de producto terminado / cliente externo
	Pedido del cliente, Orden de producción, información de materia prima e insumos adquiridos, orden de producción producto apto para reproceso	Alistamiento de maquinaria	Producto terminado, inventario de producto terminado, inventario de empaques utilizados, inventario de mp utilizada, cantidad de productos en bodega	
		Recolección mp		
		Transporte Mp		
		Llenado de tolvas		
		Realización del producto		
		Poscionamiento de empaques		
		Cosido de empaques		
Producción	Orden de trabajo (especifica bodegas de almacenamiento)	Transporte producto terminado (producto en transito)	Información de condiciones de almacenamiento	Bodegas de producto terminado / cliente externo
		Almacenamiento producto terminado		Cliente externo
Bodega de producto terminado / producción	Orden de trabajo, especificaciones del cliente externo	Cargue de camiones	Información de inventario de bodega producto terminado, camión cargado, orden de despacho	Cliente externo
		Despacho de camiones		
Cliente externo	Producto en mal estado, queja del cliente externo	Recepción de producto en mal estado	Producto para reproceso, producto para desechar	Producción
		Desempaque de producto en mal estado		
Producción	Orden de venta de producto de segunda	Generación de disposición final del producto	Producto de baja calidad	Espacio designado para producto en malas condiciones / cliente externo

Fuente: elaboración propia

6.2. Selección de la cadena de valor

La cadena de valor es una herramienta que se utiliza para analizar las actividades dentro de la empresa y así poder identificar sus fuentes de ventaja competitiva para aprovecharlas y sus fuentes de desperdicio de valor para mitigarlas o eliminarlas.

Dentro de la empresa caso de estudio se realizó un análisis para la selección de las cadenas de valor, mediante el uso de matrices de producto y proceso, las cuales permitieron asociar productos y procesos que presentaran etapas, pasos o características similares para facilitar el análisis y definición de las problemáticas críticas.

6.2.1. Matriz de productos

La matriz de producto como se explicó brevemente anteriormente, permite agrupar los tipos de producto que siguen pasos de elaboración similar o igual, con el fin de analizar familias de productos, facilitando su estudio.

Tabla 4. Matriz de productos

MATRIZ PRODUCTOS								
PRODUCTO		PASOS						
		Llenado tolvass mp	recolección mp	Mezclado	Preparación empaques	Empacado	Cosido	Arrume
1	Triple 18	x		x	x	x	x	x
2	25-4-24	x		x	x	x	x	x
3	31-8-8-2MG-3S	x		x	x	x	x	x
4	Urea (46-0-0)		x			x	x	x
5	DAP (18-46-0)		x			x	x	x
6	KCL		x			x	x	x
7	KCL estándar		x			x	x	x
8	ALPHA III	x		x	x	x	x	x
9	10-30-13-3	x		x	x	x	x	x
10	SAM		x			x	x	x
11	nutrigrass	x		x	x	x	x	x
MATRIZ PRODUCTOS								

PRODUCTO		PASOS						
		Llenado tolvas mp	recolección mp	Mezclado	Preparación empaques	Empacado	Cosido	Arrume
12	Nutri 3	x		x	x	x	x	x
13	Mezcla especial	x		x	x	x	x	x
14	17-6-18-5-18	x		x	x	x	x	x
15	SAM Estándar		x			x	x	x
16	Desyerbe	x		x	x	x	x	x
17	Fosfatado	x		x	x	x	x	x
18	Triple 16	x		x	x	x	x	x
19	MAP		x			x	x	x
20	10-20-30	x		x	x	x	x	x
21	Triple 15	x		x	x	x	x	x
22	12-34-12	x		x	x	x	x	x
23	Nutriban	x		x	x	x	x	x
24	Carguero	x		x	x	x	x	x
25	Pastoreo	x		x	x	x	x	x
26	Oilkem	x		x	x	x	x	x
27	Despegue	x		x	x	x	x	x
28	N-Fos	x		x	x	x	x	x
29	Nifokaz	x		x	x	x	x	x
30	Nitrogen K	x		x	x	x	x	x
31	Nutricafii	x		x	x	x	x	x
32	Inicio	x		x	x	x	x	x
33	Nutripal	x		x	x	x	x	x
34	Kieserita	x		x	x	x	x	x
35	Granumak	x		x	x	x	x	x
36	Mezcla 46-0-0-6	x		x	x	x	x	x
37	Nutrimagnecio	x		x	x	x	x	x
38	Mezcla 23-0-30	x		x	x	x	x	x

Fuente: elaboración propia

En la tabla anterior se pueden observar los 38 productos que actualmente la empresa maneja, con cada uno de los pasos que se realizan para la elaboración de los productos; dentro de esta matriz se evidencia que existen dos cadenas de valor, diferenciadas principalmente entre los productos que se realizan de manera manual y los que se realizan de manera semiautomática.

Debido a la estacionalidad de los productos, que depende en gran medida de la temporada de siembra y crecimiento de los cultivos, actualmente no se están realizando los 38 productos presentados en la Tabla 4, por esta el estudio se centrará en los productos que actualmente se encuentran en producción.

Tabla 5. Matriz de productos

MATRIZ PRODUCTOS								
PRODUCTO		PASOS						
		Llenado tolvass mp	Recolección mp	Mezclado	Preparación empaques	Empaque	Cosido	Arrume
1	Triple 18	x		x	x	x	x	x
2	25-4-24	x		x	x	x	x	x
3	31-8-8-2	x		x	x	x	x	x
4	Urea		x			x	x	x
5	DAP		x			x	x	x
6	KCL		x			x	x	x

Fuente: elaboración propia

Se puede observar claramente la división de dos cadenas de valor dentro de los productos seleccionados, la primera de ellas, sombreada en gris representa la cadena de valor de los productos mezclas, que se realizan en la línea de producción semiautomática, estos representan aproximadamente el 65,4% de la producción total mensual y la segunda, que se encuentra es la línea de productos simples que se realizan de manera manual, estos productos presentan la particularidad de que se pueden comercializar como producto terminado pero también son utilizados como materia prima para la fabricación de las mezclas.

Es importante señalar que la metodología Lean propone la simulación de la producción en la empresa de aquellos productos que por diferentes razones no se encuentren en temporada de fabricación, pero por restricciones presentadas por la empresa, esto no es posible para la investigación.

6.3. Criterios utilizados para la selección de la cadena de valor.

Uno de los criterios principales para la selección de la cadena de valor a estudiar fue la disponibilidad que se tenía para la recolección de datos ya que por restricciones de demanda de algunos de los productos, no era posible una obtención adecuada de los datos requeridos para la realización de la investigación.

Posteriormente se analizaron las dos cadenas encontradas en conjunto con el jefe de planta teniendo en cuenta la criticidad e importancia de los productos mostrados en la tabla anterior y se determinó que de acuerdo a los niveles de demanda, rotación y rentabilidad de estos productos para la organización, se analizará la cadena de valor de los productos Mezclas, fabricados en la línea semiautomática.

Se considera que ambas cadenas de valor representan factores importantes dentro de la empresa pero la razón principal para la selección de la anteriormente dicha fue la consideración del horizonte de tiempo disponible para la realización de esta investigación.

6.4. Creación del VSM estado actual.

6.4.1. Cálculo del takt time

El takt time es un indicador que nos permite conocer el tiempo disponible que tiene la empresa para la realización de cada unidad de producto, teniendo en cuenta las condiciones actuales de la empresa se encontró lo siguiente.

$$Tiempo\ Takt = \frac{tiempo\ disponible}{demanda}$$

Tabla 6: Tiempo disponible y demanda mensual

TIEMPO DISPONIBLE		DEMANDA	
Jornada laboral (h)	10	Demanda total mes (ton)	7500
Descanso (h)	2	Demanda línea seleccionada (ton)	4910
Tiempo real disponible (h)	8	Demanda diaria (ton)	205
Tiempo real disponible (min)	480	Demanda diaria (kg)	204583
Tiempo real disponible (seg)	28800	Demanda diaria (unidad producida)	4092

Fuente: elaboración propia

Entonces,

$$Tiempo\ Takt = \frac{28800\ seg}{4092\ uni} = 7,03\ seg/uni$$

De los cálculos anteriores como se observa se define que el takt time actual de la empresa es de 7,03 segundos por unidad (50 kg), considerando que esto es solo para la cadena de valor seleccionada.

6.4.2. Indicadores utilizados para la creación del VSM

La problemática planteada en este trabajo, se dirige hacia la mejora de los procesos productivos de una empresa del sector agropecuario productora de fertilizantes y se encaminan a disminuir los tiempos de producción, logrando que la empresa cumpla a tiempo con sus entregas y así mejorar la satisfacción del cliente; además mejorar la productividad en tiempo, aprovechando las economías a escala y reducir sus costos de producción. Para ello se debe medir por medio en qué punto se encuentra la empresa frente a estas consideraciones, y así poder utilizar la herramienta de VSM para mejorarlo, por tanto se tuvieron en cuenta los siguientes indicadores presentados en la Tabla 7.

Tabla 7. Indicadores utilizados en la creación del VSM

INDICADOR	DESCRIPCIÓN
TIEMPO DE CICLO	El tiempo promedio transcurrido desde el momento en que se completa una buena pieza hasta el momento en que se completa la siguiente pieza buena. Nash & Poling ²⁷ (2008)
TIEMPO DE ALISTAMIENTO	Tiempo transcurrido desde el momento en que se completa la última pieza buena de un producto hasta el momento en que se completa la primera pieza buena de un producto diferente. Nash & Poling (2008)
RENDIMIENTO DE MAQUINARIA	Porcentaje de tiempo que un equipo funciona correctamente cuando el operador lo usa para la tarea prescrita. Nash & Poling (2008)
DISPONIBILIDAD DE MAQUINARIA	Es el porcentaje de tiempo que un equipo compartido entre dos o más flujos de valores están disponible para la producción de partes en el flujo de valor que se está mapeando. Nash & Poling (2008)

Fuente: elaboración propia

Teniendo en cuenta que la cadena de valor que se deseaba estudiar ya fue anteriormente seleccionada, se procedió a realizar un estudio de tiempos a los procesos de esta cadena de valor con el fin de calcular los indicadores mostrados en la Tabla 7; se determinó el tamaño de muestra requerida para el estudio como es presentado por Kanawaty²⁸ (1996).

$$n = \left(\frac{40\sqrt{n' \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right)^2$$

Donde,

²⁷ Nash, Mark A., 1959-Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes / Mark A. Nash and Sheila R. Poling

²⁸ Kanawaty (1996). Introducción al estudio del trabajo Ginebra, Oficina Internacional del Trabajo, cuarta edición (revisada)

n= tamaño de la muestra que se desea determinar.

n'= número de observaciones del estudio preliminar.

X= valor de las observaciones.

A continuación se muestra el tamaño de la muestra hallado para cada proceso:

Tabla 8 Tamaño de muestras para cada proceso

PROCESO	n
LLENADO DE TOLVAS*	-
urea	34
kcl	32
dap	16
sam	24
map	24
MEZCLA	0
EMPACADO	15
COSIDO	34
ARRUME	6
DESPLAZAMIENTO	377

Fuente: elaboración propia

Este número de muestra se determinó con el fin de establecer la cantidad adecuado de tomas que permitirá conocer los tiempos de ciclo cada uno de los procesos; luego de la realización del estudio de tiempos se obtuvo los siguiente valores, a partir del cálculo del promedio de cada una de las tomas de tiempo.

Tabla 9 tiempo promedio de ciclo de cada proceso

TIEMPO PROMEDIO DE CICLO HALLADO A PARTIR DE LA TOMA DE TIEMPOS					
Abastecimiento tolvas	Mezcla	Empacado	Cosido	Arrume	Desplazamiento a almacén
155,6	60	3,39	3,3	77,4	90

Fuente: elaboración propia

*Debido a la alta dispersión estándar presentada por el proceso de llenado de tolvas, se tomó la decisión de dividir el proceso en los tipos de producto que alimentan la tolva, para sí poder tener un tamaño de muestra que fuera posible alcanzar, caso contrario pasa con el proceso de desplazamiento hacia a almacén, ya que debido a que el producto es almacenado en diferentes espacios de la empresa la dispersión estándar es demasiado alta y se requiere un numero de tomas demasiado alto, el cual, por restricciones de entrada a la empresa no fue posible conseguir. (Ver anexo 2).

Una vez se consiguieron los tiempos de todas las actividades, procesos y subprocesos realizados en la línea de productos mezcla, se realizó el VSM del estado actual de la empresa a partir del llenado de tolvas hasta el desplazamiento a almacén del producto terminado.

Dentro de los procesos seleccionados se tendrán en cuenta los tiempos de ciclo en segundos, los tiempos de alistamientos asociados a cada producto, la cantidad de operarios que realiza el proceso pertinente, la disponibilidad de la maquinaria y el rendimiento de la misma.

En el VSM actual (ver gráfico 4) se inicia la cadena de suministros mediante la solicitud y compra de productos por parte de un cliente externo, el cual hace su pedido vía telefónica, este pedido queda registrado en la base de datos de la empresa en donde se genera una orden de compra, con la cual ventas genera una orden de producción con la cantidad demandada, una vez se verifique que el producto terminado no se encuentra en existencia, se procede a iniciar la producción con el proceso de llenado de tolvas, posteriormente mezclado de la materia prima, empaclado del producto, cosido, arrume y finalmente desplazamiento del producto terminado a almacén; periódicamente los jefes de las áreas de ventas, compras y producción se reúnen para determinar un pronóstico de demanda y así generar una orden de compra de materia prima, considerando los largos periodos de lean time que se tienen.

6.4.3. Resultado general de indicadores de estado actual.

Para entender cuáles son las condiciones actuales del proceso de producción de la organización, se determinaron y calcularon ciertos indicadores, para así, tener un punto de referencia y comparación considerando el estado futuro esperado, (ver Tabla 10)

Tabla 10. Indicadores actuales del proceso

INDICADORES DEL PROCESO		
INDICADOR	RESULTADO	INTERPRETACIÓN
Takt time	7,04	Tiempo promedio que debería tardar la producción de una unidad de producto terminado
Tiempo de ciclo	391,21	Tiempo promedio que se tarda la producción de 1 unidad de producto
Disponibilidad promedio de la maquinaria	100%	Porcentaje del tiempo que las maquinas se encuentran realizando la actividad mencionada
Promedio del tiempo de alistamiento maquinaria (seg)	710,8	Tiempo promedio que tardan todas las maquinas del proceso en encontrarse listas para operar
Tiempo promedio por fallas	0,43	Pasan 0,43 horas en promedio antes de la ocurrencia de una falla en la maquinaria
Índice de horas extras	0,3125	Porcentaje de horas extras trabajadas en el mes.

Fuente: elaboración propia

Se evidencia que el takt time y el tiempo de ciclo son considerablemente diferentes, por lo que es posible asumir que la empresa no logra cumplir con la demanda que se muestra, y teniendo en cuenta las observaciones y respuestas dadas por el jefe de planta, la empresa debe trabajar muchas horas extras al mes para poder cumplir con esta demanda y siempre se ven alcanzados de tiempo por lo que las entregas del producto se retrasan; en términos de capacidad instalada de la producción se considera que la empresa si puede cumplir con la demanda, ya que si se consideran los tiempos de ciclos de los procesos que inciden directamente en la creación del producto como tal que son empacado y cosido (tiempos presentados en la figura 4).

Los indicadores de disponibilidad de maquinaria y rendimiento de maquinaria, son datos proporcionados por la organización, por lo que no se realizó estudio de tiempos para su obtención.

6.5. Análisis del VSM estado actual

La información obtenida del VSM da una visión real de la situación actual de la empresa, realizando un análisis completo de todos los procesos que se involucran que lograr obtener una pieza de producto terminado, es importante considerar que por las condiciones del tipo de producto, los tiempos de espera para reabastecimiento de materia prima son muy largos, pero que esta problemática obedece a un factor externo que es imposible combatir con el alcance esperado del presente trabajo.

El programa de producción es operado por el ingeniero jefe de planta y con ayuda de dos auxiliares de producción, quienes una vez tienen claro el producto que se desea producir introducen la información de densidades y cantidades al sistema de la maquina mezcladora, considerándose así dentro del tiempo de alistamiento de este proceso.

Una vez se conoce la cantidad de cada materia prima requerida, se presenta la programación al operario encargado de la alimentación de tolvas, que es el primer proceso de transformación dentro de la cadena de valor analizada, este proceso presenta dificultades ya que la planta presenta una extensión considerable y por limitaciones de espacio en los corredores, solo es posible que un cargador realice este proceso, ocurriendo frecuentemente que las tolvas se desabastezcan mientras el operario se encuentra en camino de conseguir un producto diferente, lo que

representa una parada para la línea de producción; este proceso es el que marca el ritmo dentro de la cadena de valor ya que de él depende si el resto de actividades se pueden realizar o no.

Al momento que existe producto dentro de las tolvas de materia prima, la maquina mezcladora comienza su procesos en ciclos de 60 segundos cada uno, en donde dependiendo de la densidad y tipo de producto, realiza un numero de vueltas que por medio de un tornillo sin fin mezclan los materiales en este periodo de tiempo, para así garantizar la homogeneidad de la mezcla, en el momento en el que se presenta un faltante en alguna de las tolvas de alimentación de la máquina, esta no detiene sus ciclos de mezclado, lo que sucede es que el sensor detecta este faltante y no permite que el producto sea liberado en el proceso inmediatamente siguiente que es el proceso de empaclado, por lo que este proceso no representa ningún inconveniente para la línea de producción.

Una vez el producto mezclado para al proceso de empaqué, un operario se encarga de posicionar un costal especialmente fabricado para mantener en perfectas condiciones el producto y la máquina, mediante un sensor que detecta si el empaque está posicionado de manera adecuada, libera la mezcla en cantidades de 50 kg por empaque; aquí se puede evidenciar que en reiteradas ocasiones el producto no sale con el peso esperado por unidad y si bien se tiene un margen de error estimado, este constantemente supera este límite de tolerancia, haciendo que se genere un desperdicio de producto.

Una vez el producto se encuentra empaclado, una banda transportadora lo desplaza hasta el proceso de cosido en donde un operarios posiciona el empaque para que una maquina cosedora, comandada por un sensor de movimiento inicie el proceso de cierre del empaque; si bien este proceso según los análisis realizados no es el que más desperdicios genera por paradas o defectos, si se presenta una variedad de problemas asociados, entre ellos la ruptura de la aguja de costura, el exceso de utilización de hilos y los productos defectuosos que actualmente se encuentran en un 0,8% de la producción mensual, lo que equivale a un promedio de 1843 productos defectuosos por mes.

Finalmente se encuentran los procesos de arrume y desplazamiento a almacén, en el proceso de arrume la banda transportadora una vez sale del proceso de costura eleva el producto que caerá directamente a estibas en donde un operario

acomodará el producto terminado en arrumes de 200 kg, es decir 40 unidades de producto, este proceso se realiza de manera alterna por dos operarios, dando tiempo al montacargas encargado del desplazamiento a almacén de llegar para recoger las estibas arrumadas, debido a que no se tiene un lugar definido para el almacenamiento de los productos, los tiempos de desplazamiento varían significativamente, alargando el tiempo de ciclo final del producto terminado; además por limitaciones de espacio solo es posible el desplazamiento de un montacargas a la vez; finalmente aquí el producto ya se encuentra listo para ser entregado al cliente.

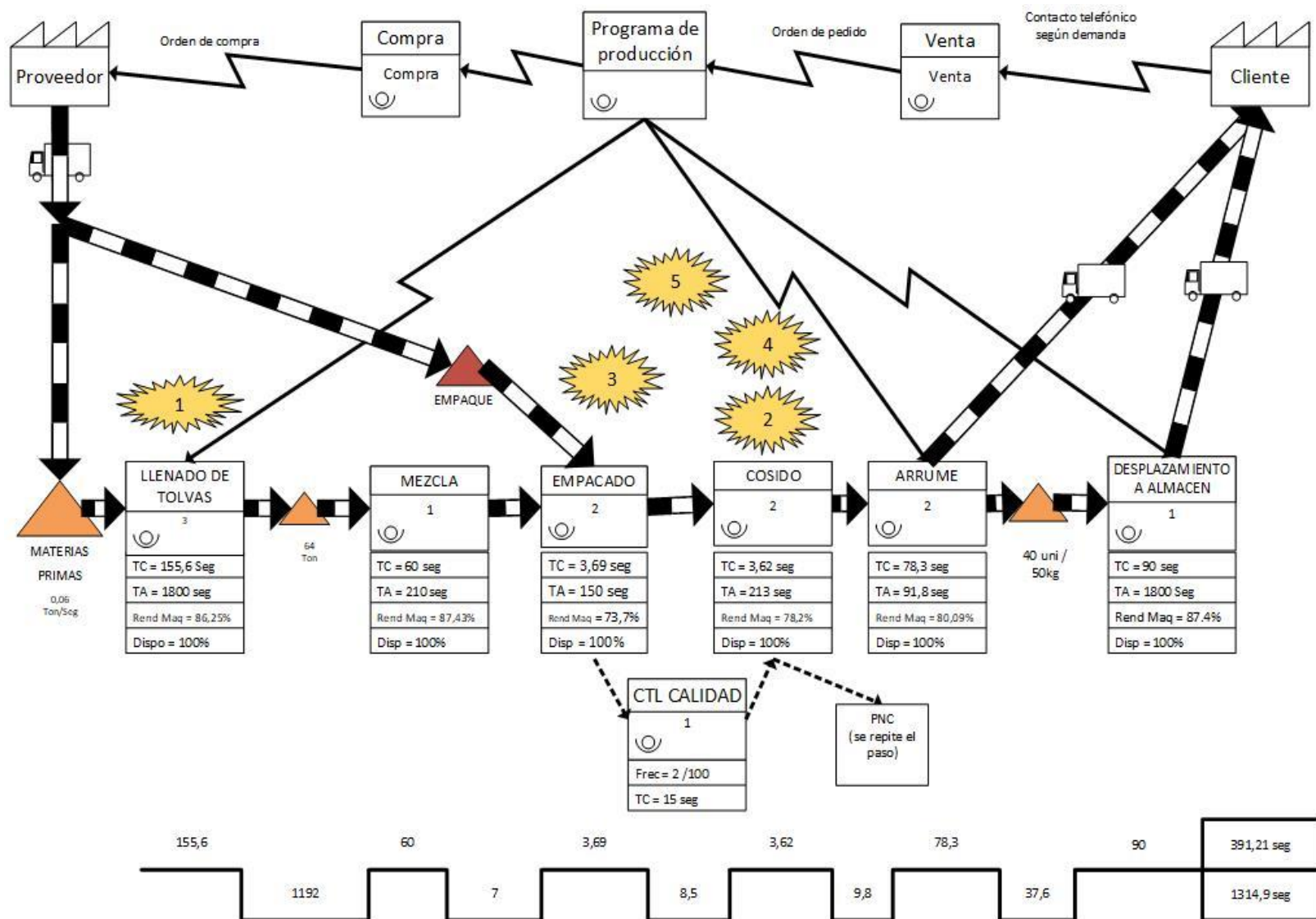


Figura 4. VSM del estado actual

6.5.1. Identificación de desperdicios

De acuerdo con el marco teórico presentado anteriormente, Toyota enuncia la existencia de 7 tipos de desperdicios que pueden ser encontrados dentro de la cadena de valor analizada, teniendo en cuenta esto se observa la presencia de los siguientes desperdicios.



Desabastecimiento de tolvas de materia prima.

El proceso de abastecimiento de tolvas es vital, ya que de ello depende el inicio de la producción, este proceso tiene un tiempo de ciclo promedio de 155,6 seg, lo cual alarga notoriamente el tiempo de ciclo final de producción por unidad; es importante resaltar que solo existe un cargador encargado de este proceso por restricciones de la espacio de la empresa, además el lugar de almacenamiento de las diferentes materias primas genera que el cargador tenga que recorrer distancias demasiado largas para encargarse del abastecimiento de la tolva de materia prima para producción, la cual en el momento en el que consume toda la materia prima de alguna de las tolvas y esta no se reabastece a tiempo, retarda el proceso de empaclado del producto terminado.



Desconfiguración de pesa interna

Durante el proceso de empaque, que es donde se evidencia por primera vez lo que será el producto terminado, se encuentra la actividad de pesado de la mezcla que se empaclará en cada uno de los bultos de 50 Kg, durante este proceso se separan algunas unidades de producto para realizar un control de peso, es allí donde se puede evidenciar variaciones de peso que se salen de los límites máximos y mínimo tolerados para garantizar la calidad del cliente; una vez se evidencia esta situación es necesario que la línea se detenga y se configure nuevamente la pesa interna de la máquina de llenado, retrasando no solo el proceso de llenado de los siguientes bultos sino que retrasa a su vez el resto de la línea.



Fallos en maquina cosedora

Una vez se encuentra el producto listo dentro del empaque y cumple con las indicaciones de peso, el proceso de costura o cosido como se conoce en la empresa toma lugar, pero en reiteradas ocasiones la maquina presenta fallos de dos tipos en partículas, que requieren que la línea se detenga constantemente, el primero de ellos y el más común es la ruptura de la aguja para coser y el segundo es el enredo del hilo de coser.



Defectos de costura

De nuevo en área de costura o cosido, se evidencia como un porcentaje del 0,5% de los bultos al mes, lo que equivale a 1152 unidades por mes, presentan defectos en la costura y deben ser reprocesados, esto si bien no genera que la línea de producción se detenga, si genera que el proceso de vuelva más lento, ya que retrasa el proceso de arrume y por ende el proceso de desplazamiento a almacén.



Cambio de rollo de hilo

Para la costura del bulto de producto terminado, se utilizan rollos de hilo industrial, los cuales alcanzan para alrededor de 2000 o 2500 unidades de producto, con un promedio de hilo utilizado por bulto de 200 cm, pero se pudo evidenciar que por cuestiones de la maquina cosedora y por factores humanos, se consume en promedio 253 cm de hilo por unidad de producto terminado, lo que genera que el hilo se termine con más frecuencia y la línea deba parar para realizar los cambios de rollo.

6.6. Selección de herramientas destinadas a la solución de los problemas mencionados

Teniendo en cuenta la revisión de la literatura presentada anteriormente en el marco referencial, se analiza la utilidad que tendrían las técnicas lean Manufacturing para la posible solución de las problemáticas planteadas.

Para esto, se realizó una matriz de comparación en la cual se enfrentaron los problemas detectados con las posibles herramientas de solución de Lean

Manufacturing, de acuerdo a su utilidad frente a la problemática, se genera una puntuación de 1, 3 ó 5, siendo 1 la calificación más baja, es decir, menor utilidad frente al problema y 5 la calificación más alta, que representa mayor utilidad frente al problema.

Tabla 11. Clasificación de herramientas lean

HERRAMIENTA	FUNCIÓN	CALIFICACIÓN					SUMA
		D1	D2	D3	D4	D5	
5'S	Estrategia que permite tener cada área de trabajo más limpia, más organizada y más segura, por medio de técnicas simples que permiten lograr el objetivo.	1	1	1	1	1	5
JIT	Filosofía de producción que consiste en terminar de producir el artículo o la parte al momento de ser requerido por el cliente, o por el siguiente centro de trabajo en el proceso de manufactura	1	1	1	1	1	5
TPM	Es un método de gestión de mantenimiento, que evita las paradas en las máquinas causadas por averías. El objetivo es conseguir cambiar la forma de pensar de los trabajadores, consiguiendo eliminar las averías, los defectos y los accidentes.	1	5	5	3	3	17
KANBAN	Es un sistema que permite regular el flujo de producción entre procesos y entre proveedores y clientes, basado en un reaprovisionamiento a través de señales que indican cuando se necesita más material.	1	1	1	1	1	5
REDISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA	La distribución en planta se define como la ordenación física de los elementos que constituyen una instalación sea industrial o de servicios. Ésta ordenación comprende los espacios necesarios para los movimientos, el almacenamiento, los colaboradores directos o indirectos y todas las actividades que tengan lugar en dicha instalación.	5	1	1	1	1	9

HERRAMIENTA	FUNCIÓN	CALIFICACIÓN					SUMA
		D1	D2	D3	D4	D5	
JIDOKA	Es una técnica que consiste en diseñar los equipos para automatizar parcialmente el proceso de producción, con el fin de que se pare cuando se detecta algún tipo de defecto. Es una forma de controlar los defectos automáticamente.	1	1	3	3	1	9
POKA YOKE	Un dispositivo Poka Yoke es cualquier mecanismo que ayude a prevenir los errores antes de que sucedan, o los hace evidentes para que sean advertidos por los operarios y sean corregidos a tiempo	1	1	1	3	3	9
KAIZEN	Su objetivo consiste en incrementar la productividad controlando el proceso de manufactura mediante la reducción del tiempo de ciclo, la estandarización de criterios de calidad, los métodos de trabajo por operación y la eliminación de desperdicios en cualquiera de sus formas.	1	1	3	3	1	9
ESTANDARIZAR	Consiste en definir una metodología a seguir para realizar los diferentes trabajos con las mejores prácticas y conseguir que todo el personal trabaje siguiendo esta metodología.	5	3	1	3	3	15
ESMED	Es una técnica empleada para disminuir los tiempos de cambios de utillaje en máquinas y herramientas.	1	3	1	1	1	7

Fuente: elaboración propia

Si bien se presenta un empate entre algunas de las herramientas analizadas, para la selección de las herramientas a utilizar se tendrá en cuenta la selección de los problemas críticos y sus causas asociadas, lo cual se presentará a continuación.

6.7. Selección de problemas críticos

Se seleccionaron los dos problemas más críticos por medio de la realización de un análisis multicriterio AHP.

6.7.1. Desarrollo del AHP

Se necesita seleccionar cuales de los problemas encontrados a partir del análisis VSM es de mayor relevancia y criticidad para las condiciones de la empresa y por ende cuál o cuáles de ellos deben ser solucionados de manera inmediata, los criterios seleccionados para tomar la decisión se seleccionaron considerando las condiciones particulares de la empresa, encontradas a partir de la toma de tiempos y con ayuda del jefe de producción que es el mayor conocedor de los procesos dentro de la organización; los problemas y criterios seleccionados son:

- Problemas encontrados
 - Desabastecimiento de tolvas de MP (D1)
 - Desconfiguración de pesa interna (D2)
 - Fallos en maquina cosedora (D3)
 - Defecto en costura (D4)
 - Consumo excesivo de hilo para coser (D5)
- Criterios de selección del problema a tratar
 - Frecuencia de ocurrencia
 - Tiempo de parada que genera
 - Criticidad según jefe de planta

Una vez realizados todas las relaciones de preferencia entre los problemas y los criterios y desarrollado el proceso habitual del análisis AHP (ver anexo 3) se obtiene como resultado lo siguiente:

Tabla 12. Resultado criterios finales

PROBLEMA	CRITERIO FINAL
D1	46%
D2	17%
D3	21%
D4	11%
D5	5%

Fuente: elaboración propia

Como se observa en la tabla 12 del criterio final de decisión del AHP, los dos problemas con más alta puntuación son el Problemas D1, desabastecimiento de tolvas y el Problema D3, fallos en la maquina cosedora, por lo que finalmente se resuelve realizar la propuesta de mejora aplicada a estas dos situaciones que se consideran críticas dentro de las condiciones actuales de la empresa.

7. PROPUESTA DE SOLUCIÓN PARA PROBLEMÁTICAS CRÍTICAS

Como se expresó en el numeral anterior, se decidió generar propuestas de mejora para los problemas de desabastecimiento de tolvas y para los fallos en la maquina cosedora, para esto primero se analizó lo dialogado en las entrevistas a los operarios encargados del proceso sobre cuáles son sus causas principales asociadas a estos problemas.

7.1. Desabastecimiento de tolvas

Luego de realizar un análisis de las causas asociadas a este problema con el jefe de planta, y teniendo en cuenta el análisis de herramientas Lean que se pueden utilizar para contrarrestarlo, se llegó a la conclusión de realizar una redistribución de las bodegas de almacenamiento que permitan reducir las distancias recorridas por el cargador para la recolección de materia prima.

7.1.1. Distribución y diagrama de recorridos actual de la planta

- Distribución completa de la empresa

Actualmente la empresa cuenta con área de 34100 mts cuadrados distribuidos de la siguiente manera:



Figura 5. Distribución física actual

Para esta propuesta de solución, solo es necesario el análisis de las áreas de bodegas que son los lugares entre los cuales el cargador encargado del abastecimiento de las tolvas de materia prima se mueve.

- Diagrama de recorridos actual

Para la recolección y abastecimiento de materia prima, el cargador debe recorrer desde la bodega 1 que es donde se encuentra la línea de producción, hacia las otras bodegas para recoger cada una de las materias primas, las cuales se encuentran distribuidas de la siguiente manera

- Bodega 1 – MAP
- Bodega 2 – KCL
- Bodega 3 – DAP, SAM
- Bodega 4 – Urea
- Bodega 1 – Línea de producción

A continuación se presentan gráficamente los recorridos que realiza el cargador



Figura 6. Recorridos realizados por el cargador

La línea naranja representa el recorrido hacia la Urea, la línea amarilla el recorrido hacia el KCL, la línea gris hacia el DAP y el SAM, y la línea verde hacia el MAP.

Tabla 13. Matriz origen-destino estado actual

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	3900
	315	105	30	165	165	

Fuente: elaboración propia

Se realizó una matriz origen destino para cada una de las materias primas, relacionada con el área de producción que es lo que se desea analizar, en esta matriz se encuentra la cantidad de producto que se mueve en cada recorrido, que es calculada por la capacidad total de la pala cargadora y abajo se encuentra la distancia en metros recorrida por el cargador para llegar hasta el producto, cabe resaltar que este valor solo cuenta la distancia de ida, no la de regreso hacia el área de producción.

Es importante tener en cuenta que estos productos no son utilizados en la misma magnitud durante la producción por lo que unos afectan e incrementan el tiempo de ciclo debido a su utilización y distancia más que otros, por esta razón estos

recorridos se analizaron en un horizonte de tiempo mensual teniendo en cuenta un porcentaje de utilización mensual de cada materia prima otorgado por la empresa, obteniendo lo presentado en la siguiente tabla.

Tabla 14. Porcentajes de utilización

PRODUCTO	% UTILIZACIÓN	UTILIZACIÓN (ton/mes)	# RECORRIDOS
UREA	42%	2062,2	413
KCL	24%	1178,4	236
MAP	7%	343,7	69
DAP	10%	491	99
SAM	17%	834,7	167
TOTAL	100%	4910	984

Fuente: elaboración propia

El porcentaje de utilización se multiplica a la demanda mensual de los productos de la cadena de valor estudiada que es de 4910 ton/mes y así poder obtener la utilización en toneladas de cada una de las materias primas; a partir de este valor y considerando que por cada recorrido lo máximo que el cargador puede recolectar es 5 ton, se determinó el número de recorridos aproximados por mes y mediante el uso de la matriz de origen destino, se determinó un costo total de recorridos por mes.

Tabla 15. Matriz Costo-Utilización estado actual

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	1004175
	130095	24780	2070	16335	27555	

Fuente: elaboración propia

Para el cálculo del costo total, se asume un valor de \$1 por metro recorrido, ya que no se conoce el valor real de este recorrido en términos de combustible, energía entre otros insumos que se utilizan y que influyen en el recorrido del cargador.

7.1.2. Propuestas de redistribución del almacenamiento en bodegas

Se proponen tres posibles nuevas distribuciones para las bodegas con sus respectivos diagramas de recorridos, esperando encontrar la que genere menor costo total de recorrido, estas distribuciones cumplen con restricciones propias de la empresa que son:

- La bodega 4 no es apta para ser la bodega de producción debido a las complicaciones de acceso y por la amplia distancia que hay entre ella y la oficina de producción que dificultaría la supervisión del proceso.
- Los únicos productos que pueden almacenarse por tiempo y cantidades indefinidas son el DAP y el SAM, por lo cual estos productos siempre serán almacenados en la misma bodega.
- Por cuestiones de cantidades y espacio el único producto que puede ser almacenado en la misma bodega en la que se encuentra la línea de producción es el MAP ya que cantidades mayores de materia prima dificultarían el desplazamiento de los cargadores y montacargas, poniendo en riesgo la seguridad de los operarios.
- Si bien las bodegas 2 y 3 se encuentran conectadas internamente por un agujero en la pared divisora, el cargador por motivos de seguridad no puede cruzar por este espacio, siempre debe utilizar las entradas exteriores de las bodegas.

Estas restricciones son importantes para la empresa y se cumplirá al momento de presentar las propuestas de mejora con el fin de obtener una distribución que la empresa efectivamente pueda cumplir en el momento que lo desee.

- Propuestas de redistribución #1

Se plantea el cambio de la ubicación de la línea de producción hacia la bodega 3 y por consiguiente también el MAP y el SAM y DAP que se encontraban en la bodega 3 ahora son reubicados a la bodega 1, el KCL y la Urea se mantienen en la misma ubicación, como se observa en el siguiente gráfico.

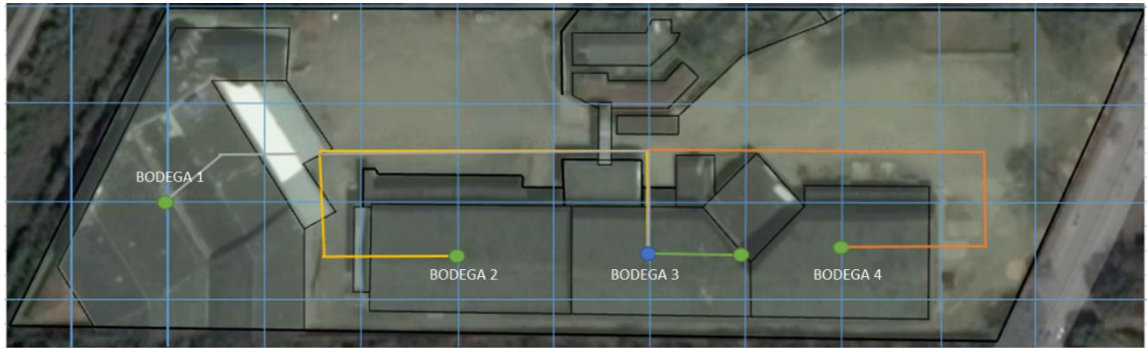


Figura 7. Propuesta de redistribución 1

- Bodega 1 – DAP, SAM
- Bodega 2 – KCL
- Bodega 3 – MAP – Línea de producción
- Bodega 4 – Urea

Una vez se ha determinado el nuevo recorrido, mostrado gráficamente a través de las líneas de colores presentadas en la Figura 7, se realiza la matriz origen destino, con su respectivo costo y porcentaje de utilización.

Tabla 16. Matriz origen- destino propuesta 1

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	4050
	210	210	30	180	180	

Fuente: elaboración propia

Tabla 17. Matriz Costo-Utilización propuesta 1

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	931200
	86730	49560	2070	17820	30060	

Fuente: elaboración propia

La correspondiente matriz origen destino muestra un aumento del costo total unitario, pero analizando la segunda matriz, que considera las cantidades de recorridos que se realizan, se ve una disminución del 7% del costo total por mes, lo que quiere decir que las distancias recorridas disminuyen y a su vez el tiempo promedio de ciclo.

- Propuestas de redistribución #2

En esta propuesta se propone el cambio de la bodega de producción hacia la bodega 2 y por consiguiente el MAP a esta misma bodega, ahora la Urea se ubicaría en la bodega 3, el KCL en la bodega 1 y el SAM y DAP en la bodega 4.

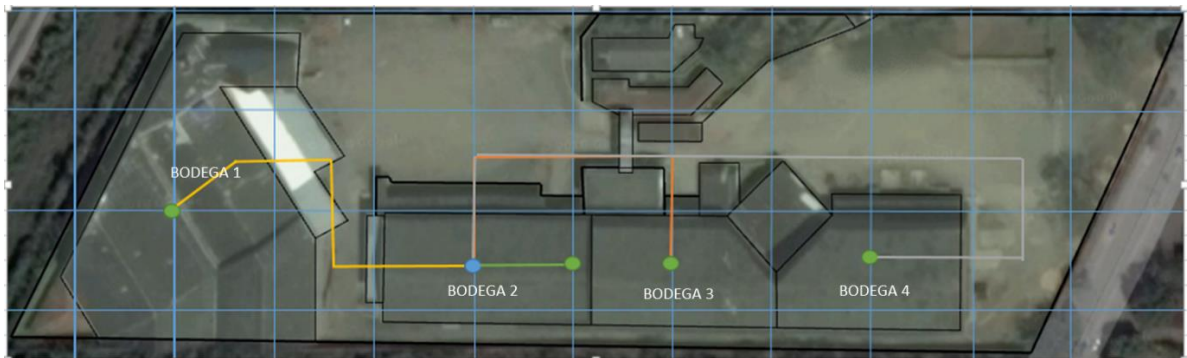


Figura 8. Propuesta de redistribución dos.

- Bodega 1 – KCL
- Bodega 2 – MAP – Línea de producción
- Bodega 3 – Urea
- Bodega 4 – DAP, SAM

Cuando el nuevo recorrido se encuentra determinado, como se muestra gráficamente a través de las líneas de colores presentadas en la Figura 8 se realiza la matriz origen destino, con su respectivo costo y porcentaje de utilización.

Tabla 18. Matriz origen-destino propuesta 2

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	4050
	120	120	30	270	270	

Fuente: elaboración propia

Tabla 19. Matriz Costo-Utilización propuesta 2

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	TOTAL
PRODUCCIÓN	5	5	5	5	5	758850
	49560	28320	2070	26730	45090	

Fuente: elaboración propia

El costo total en la primera matriz origen destino, al igual que la propuesta anterior muestra un valor mayor que la distribución actual, pero al analizar la segunda matriz que involucra el porcentaje de utilización de los productos se ve una disminución del 24,4% del costo total frente al costo total de la distribución actual, lo que indica una reducción considerable en el recorrido realizado por el cargador y en el tiempo de ciclo del producto.

- Propuestas de redistribución #3

Se decide mantener la línea de producción en la bodega 1 y por consiguiente el MAP, y se propone redistribuir la Urea hacia la bodega 2 y el KCL hacia la bodega 3, reubicando entonces el SAM y DAP en la bodega 4.

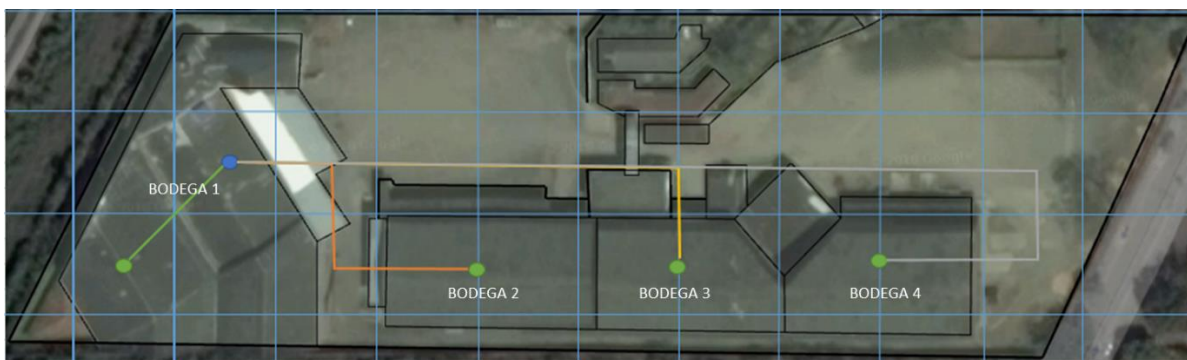


Figura 9. Propuesta de redistribución tres.

- Bodega 1 – MAP – Línea de producción
- Bodega 2 – Urea
- Bodega 3 – KCL
- Bodega 4 – DAP, SAM

Una vez se define el nuevo recorrido, como se muestra gráficamente a través de las líneas de colores presentadas en la Figura 9, se realiza la matriz origen destino, con su respectivo costo y porcentaje de utilización.

Tabla 20. Matriz origen-destino propuesta 3

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5 105	5 165	5 30	5 315	5 315	4650

Fuente: elaboración propia

Tabla 21. Matriz Costo-Utilización propuesta 3

	UREA	KCL	MAP	DAP	SAM	COSTO TOTAL
PRODUCCIÓN	5 43365	5 38940	5 2070	5 31185	5 52605	840825

Fuente: elaboración propia

Al igual que las dos propuestas anteriores, el costo total unitario es mayor, es el mayor de las propuestas presentadas pero teniendo en cuenta el número de recorridos que realiza mensualmente el cargador, se ve una disminución del 16,3% frente al costo total de la distribución actual, lo que significa que igualmente se evidencia una disminución considerable de las distancias recorridas y del tiempo de ciclo.

- Propuesta seleccionada

Como es claro, la propuesta que más reducciones en términos de costos de recorridos es la propuesta # 2 por lo cual es seleccionada como la propuesta de redistribución que más beneficios representa para la empresa y se estima que reducirá el tiempo de ciclo del proceso de abastecimiento de tolvas de 155,6 seg a 118,7 seg aproximadamente.

7.1.3. Propuesta de implementación de la mejora

Teniendo en cuenta que no se realizarán cambios en la infraestructura de la empresa, se considera aplicables los cambios que se deben realizar y se pueden realizar manera gradual.

- Para el cambio de la línea de producción de la bodega 1 a la bodega producción es importante tener en cuenta que ninguno de los elementos se encuentra empotrado o fijado al piso o a las paredes y columnas de la bodega por lo que con ayuda de los montacargas y el personal de la empresa es posible su desplazamiento.
- Es importante realizar un lavado completo de las bodegas antes de cambiar los productos de lugar ya que de no ser así, estos podrían generar reacciones químicas indeseadas por la empresa.
- Capacitar al personal de descargue de materia prima sobre la nueva distribución de las bodegas y al personal encargado de conducir el cargador encargado del abastecimiento de tolvas de producción

- En consenso con el jefe de planta se acordó que la mayoría de los productos no generan una reacción al encontrarse cerca o en contacto por poco tiempo, así que es posible reubicarlos momentáneamente para proceder a realizar el lavado de las bodegas, esto se planea realizarlo en el siguiente orden.
- ✓ Almacenar urea en la bodega 2 para realizar el respectivo lavado de la bodega cuatro.
- ✓ Una vez se encuentre lista la bodega 4 se procede a mover el DAP y el SAM hacia la bodega 4 que será su bodega definitiva.
- ✓ Al mover el SAM y el DAP la bodega 3 queda disponible para limpieza.
- ✓ Al finalizar la limpieza de la bodega 3, es posible mover nuevamente la urea para su bodega de almacenamiento final.
- ✓ Cuando la bodega dos se encuentre libre de la urea, se procede al desplazamiento de la línea de producción hacia la bodega 2.
- ✓ Teniendo en cuenta que las cantidades del MAP son considerablemente más pequeñas que las de los otros insumos, este elemento se dispondrá en big bags (empaques de 200 kilogramos) lo que dejará disponible la bodega 1 para realizar el lavado correspondiente.
- ✓ Cuando la bodega 1 se encuentre en condiciones, se realizará el traslado del KCL.
- ✓ Finalmente se acomodará el MAP en la bodega 2, cabe resaltar que no es necesario desempacar los sacos big bag ya que a medida que vaya siendo necesario es posible con el montacargas abastecer las tolvas desde el empaque.

Se debe tener en cuenta que se propone realizar todos estos cambios el mismo día o los días que sea necesario pero de manera continua, esto para evitar reacciones químicas de los insumos y pérdida del producto, se sugiere al jefe de planta la realización de un cronograma de actividades que permita realizar estos cambios de manera que no se ponga en riesgo las operaciones productivas normales de la empresa.

7.2. Fallos en la maquinaria

Teniendo en cuenta las opiniones expresadas por los trabajadores de la empresa, quienes son los que conocen de primera mano las condiciones de trabajo que se manejan dentro de la empresa, se decide proponer el uso de un plan de mantenimiento básico para la máquina cosedora y para el medidor volumétrico, que es el elemento que controla la pesa interna de la máquina mezcladora, con el fin de eliminar las fallas que generan paradas en la línea.

Actualmente estas máquinas no poseen ningún programa de mantenimiento preventivo, dependiendo de la falla se decide si es posible que el operario la solucione o si es necesario que venga un tercero a repararla, existe una particularidad en la empresa y es que tienen en existencia dos máquinas de coser de pedestal las cuales, dado el caso de que una falle de manera compleja de reparar, se posiciona la otra, esto reduce el tiempo perdido por paradas, más no la frecuencia de las paradas por fallas de este equipo.

7.2.1. Plan de mantenimiento preventivo para maquinarias seleccionadas

Se investigó con ayuda del jefe de planta una lista de tareas que deben ser realizadas para garantizar el buen funcionamiento de las máquinas y se llegó a la siguiente tabla.

Tabla 22. Lista de tareas mantenimiento preventivo

INFORMACIÓN								
ITEM	CANTIDAD	EQUIPOS Y MÁQUINAS	IMAGEN	PREVENTIVO	FRECUENCIA	TIEMPO ESTÁNDAR (MIN)	RESPONSABLES	
							GESTIÓN	EJECUCIÓN
11	2	COSEDORAS DE PEDESTAL		Limpieza general	Diario	10	COSEDOR	COSEDOR
				Revisión general de funcionamiento		5		
				Revisión técnica (Calibración, ajuste y cambio de piezas)	Mensual	30	OPERARIO DE MANTENIMIENTO	OPERARIO DE MANTENIMIENTO
13	1	VOLUMÉTRICO		Limpieza	Diario	15	OPERARIO DE MANTENIMIENTO	OPERARIO DE MANTENIMIENTO
				Limpieza completa	Semanal	50	OPERARIO DE MANTENIMIENTO	OPERARIO DE MANTENIMIENTO
				Lubricación, ajustes, inspección de desterrador, cribas, controles visuales, sensores y peso.		30		

Fuente: elaboración propia

En la tabla 22 se observa como dos labores sencillas de realización diaria al empezar el turno de trabajo podría eliminar las paradas por fallas de esta máquina. (Ver plan de mantenimiento completo en anexos)

7.2.2. Cálculo de la carga de mantenimiento

La empresa Nutrición de Plantas S.A. no cuenta con un sistema de mantenimiento ni con un historial de información de averías y problemas que se hayan presentado en las diferentes máquinas, por ende no fue posible hallar la carga de mantenimiento correctivo, teniendo en cuenta las actividades enunciadas en la Tabla 22. Lista de tareas, así pues, se realizó un cálculo de la carga de mantenimiento preventivo pero únicamente para las cosedoras de pedestal y para el medidor volumétrico que es el encargado de controlar la pesa interna de la maquina mezcladora que como se observa en la descripción de los problemas encontrados, presenta fallas ocasionalmente.

Tabla 23. Frecuencia de realización de mantenimiento

UND	MÁQUINA	FRECUENCIA	TIEMPO ESTÁNDAR (MIN)	TIEMPO TOTAL (MIN/MENSUAL)	CARGA DE MTO PREVENTIVO (MIN/MENSUAL)
2	COSEDORAS DE PEDESTAL	DIARIA	15	300	360
		MENSUAL	30	60	
		TOTAL		360	
1	MEDIDOR VOLUMÉTRICO	DIARIA	15	300	620
		SEMANAL	80	320	
		TOTAL		620	
					980

Fuente: elaboración propia

Adicionalmente se realiza el cálculo del número de operarios que deben estar involucrados en el mantenimiento, pero es importante resaltar que el mantenimiento diario de las cosedoras y del medidor serán realizados por el personal encargado de la labor de costura y de empackado respectivamente y así fomentar prácticas de mantenimiento autónomo.

Tabla 24. Calculo de la carga de mantenimiento.

MANO DE OBRA	
CARGA PREV.	980
HORAS TRABAJADAS AL MES	192
MIN. TRABAJADOS AL MES	11520
OPERARIOS A CONTRATAR	0,09

Fuente: elaboración propia

El número de operarios necesario para la realización de estas actividades es un número muy pequeño debido a que no se trata del mantenimiento de todas las máquinas de la organización sino que únicamente se tienen en cuenta el mantenimiento necesario para dos máquinas.

Con la realización de estos mantenimientos se pretende reducir al menos en un 50% la ocurrencia de fallas que generan paradas en la línea de producción y demoran el proceso de producción, reduciendo así el tiempo de ciclo actual, mejorando el rendimiento de la maquinaria, entre otros beneficios.

7.3. Propuesta de mejora presentada por la organización.

Al presentar los problemas encontrados con el jefe de planta de la empresa, se llegó a la conclusión de que el tiempo de ciclo del proceso de mezcla que actualmente es de 60 seg, es demasiado alto; él plantea la disminución de este tiempo a 45 seg, esto es debido a reducir el tiempo no afecta la calidad de la mezcla del producto, se comenta en entrevistas realizadas que la razón por la cual actualmente se tiene este alto tiempo de ciclo es porque desde el inicio de la organización se ha realizado de esta manera, utilizando el tiempo que venía especificado en la maquina mezcladora, y aunque se ha analizado la situación encontrando que es posible disminuir el tiempo, la gerencia se ha visto reacia a cambiarlo.

Se toma en cuenta esta propuesta ya que esto ayuda considerablemente a la mejora de los indicadores, como se busca desde el inicio de la investigación.

7.4. VSM ESTADO FUTURO

A partir de las propuestas de mejora planteadas, se llega a un nuevo cálculo de los indicadores presentados en la sección 6, con ello se realiza una comparación entre los indicadores actuales y los indicadores futuros planteados.

Tabla 25 comparación de indicadores del proceso

INDICADORES DEL PROCESO			
INDICADOR	ACTUAL	FUTURO	INTERPRETACIÓN
Takt time	7,04	7.04	Se mantuvo estable ya que no hay un cambio en la demanda ni en el tiempo disponible para la operación.
Tiempo de ciclo	391,21	337,8	se disminuye considerablemente el tiempo de ciclo gracias a las propuestas planteadas
Disponibilidad promedio de la maquinaria	100%	100%	Se mantiene debido a que la maquinaria solamente se utiliza para la labor seleccionada
Promedio del tiempo de alistamiento maquinaria (seg)	710,8	810,8	el tiempo promedio de alistamiento aumenta debido a la propuesta de mantenimiento autónomo
Tiempo promedio por fallas	0,43	0,86	En el estado esperado, el tiempo de fallas aumenta en un 50%
Porcentaje de horas extras	31%	16%	Con la creación de un turno extra se pretende eliminar las horas extras

Fuente: elaboración propia

Con la definición de los indicadores de estado futuro, se llega a la creación de un mapa estado de futuro en el cual se evidencia una reducción del 13,65% en el tiempo de ciclo total de una unidad de producto terminado, esta disminución se debe principalmente a que el tiempo de ciclo del proceso de abastecimiento de tolvas disminuye considerablemente con la nueva propuesta de distribución del almacenamiento de las materias primas, así mismo se asume que al disminuir la

distancia y el tiempo que debe recorrer el cargador para abastecer las tolvas, éstas no generarán paradas en la línea, por lo cual el tiempo de ciclo del proceso de empaque también disminuye, ayudando a la disminución del tiempo total.

También en términos de la disminución del tiempo de ciclo total del producto, la eliminación de los fallos de la máquina cosedora y en la pesa interna de la maquina mezcladora, aporta beneficios, debido a que disminuir estas paradas, reduce el tiempo de ciclo que tarda el proceso de cosido y de arrume.

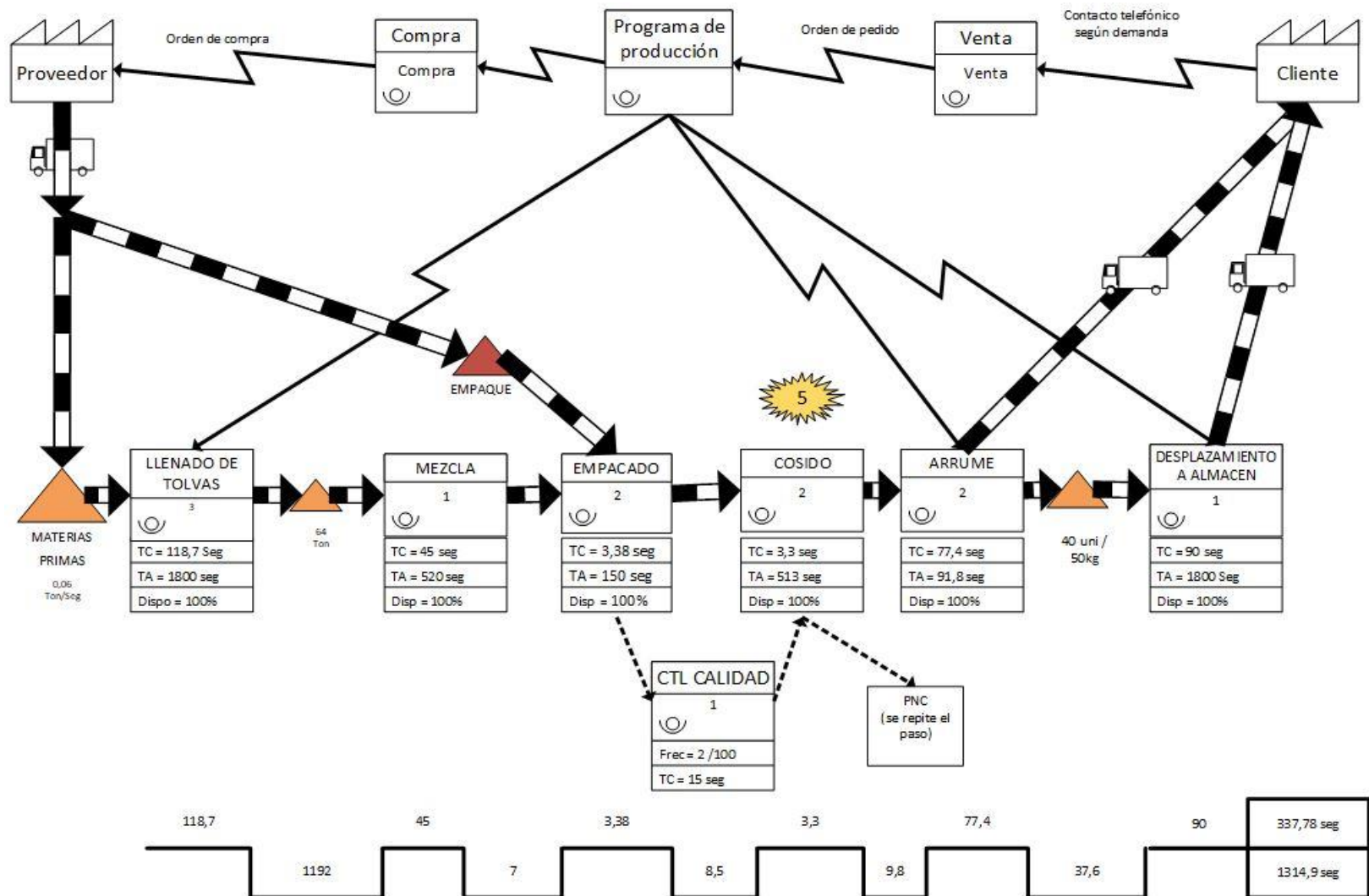


Figura 10. VSM del estado futuro.

8. RESULTADO SIMULACIÓN

Utilizando el los mapas de estado actual y futuro, se realizó una simulación de estos escenarios mediante el plug in de Visio (programa en el que se realizaron los VSM) llamado Process Simulator, este programa toma los diagramas de flujo que se presentan y mediante el ingreso de los datos de tiempo de ciclo, variación del tiempo de ciclo, tiempo de recorrido y espera, entre otros, simula en un horizonte de tiempo en este caso de 40 horas, genera un análisis que puede compararse.

A continuación se encuentra una comparación entre la simulación realizada para el mapa de estado actual y la simulación del mapa de estado futuro.

8.1. Análisis de tiempo de ciclo y unidades producidas

Este indicador nos presenta cual es el tiempo de ciclo y la cantidad de unidades producidas en promedio arrojado por la simulación en un horizonte de tiempo de 40 horas, teniendo en cuenta variaciones de tiempo que se ingresaron al sistema; esto es debido a que los procesos en la vida real no son perfectamente uniformes sino que tienen variaciones con el tiempo, entre unidad y unidad.

Tabla 26 tiempo de ciclo y unidades producidas

Fuente: Process Simulator

Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
Work Unit	919,00	7,65	6,55

Nombre	Total Salidas	Tiempo En Sistema Promedio (Min)	Tiempo En Operación Promedio (Min)
Work Unit	1.205,00	6,89	5,62

En la tabla 26, el tiempo de ciclo se observa una reducción del 14,19% en el tiempo promedio de ciclo, siendo este un valor muy aproximado al 13,61% de reducción en tiempo que se obtuvo de manera manual; lo que permite que en un horizonte de tiempo de 40 horas puedan producirse un aproximado de 286 unidades adicionales.

Lo anterior se puede expresar de manera gráfica,

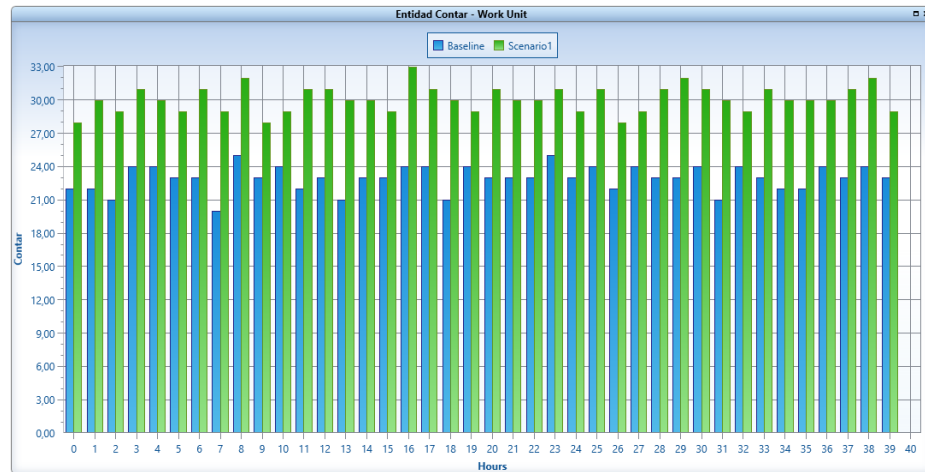


Gráfico 1 número de unidades producidas; fuente: Process Simulator

La línea azul (Baseline) hace representación del estado actual de la organización, mientras que la línea verde (Scenario1) representa el estado futuro planteado; aquí se observa claramente como hay un aumento considerable en las unidades de producto terminado que se realizan.

8.2. Análisis de la utilización del proceso general

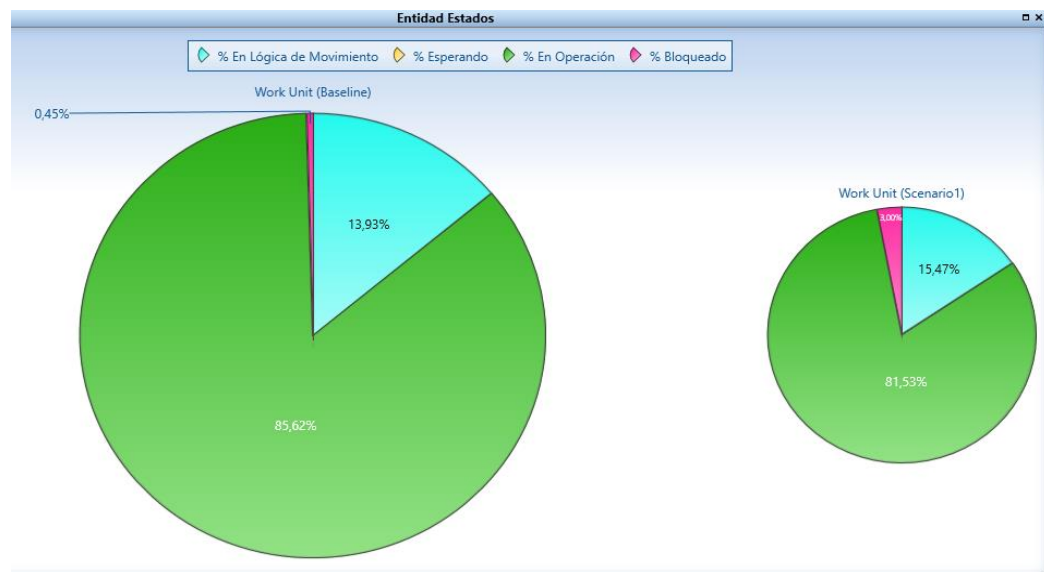


Gráfico 2 Porcentaje de utilización del proceso; fuente: Process Simulator

Como se puede ver en el gráfico 2, se disminuye en aproximadamente 4% el porcentaje del tiempo de ciclo que se encuentra en utilización, esto es debido a que toma menos tiempo realizar ciertos procesos dentro de la fabricación de producto terminado, pero algunos procesos conservan su tiempo igual que en el estado actual y se generan cuellos de botella o bloqueos como lo enuncia la gráfica; en esta grafica el estado actual está igualmente representado por Baseline y el estado futuro por Scenari01.

8.3. Análisis de capacidad individual



Gráfico 3 análisis de capacidad individual de cada proceso; fuente: Process Simulator

En cuanto a la capacidad individual de cada operación, relacionada con su porcentaje de operación se ve como hay un aumento considerable de las actividades de arrume y de desplazamiento a almacén, entre el estado actual (Baseline) y el estado futuro (Scenari01); esto indica que más producto terminado está llegando a estas actividades por lo que se puede suponer que los niveles de producción aumentaron, mientras que las demás actividades permanecen constantes en ambos escenarios

Lo anterior se puede demostrar de manera individual para cada proceso y así poder identificar mejor las variaciones.



Gráfico 4 análisis de capacidad proceso de arrume

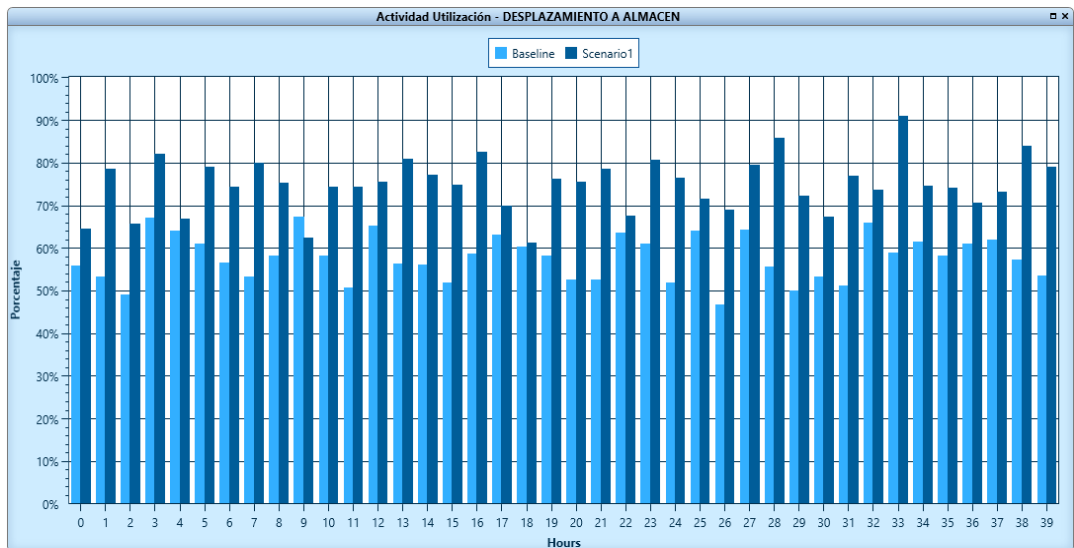


Gráfico 5 análisis de capacidad proceso de desplazamiento a almacén

9. CONCLUSIONES

Gracias a la observación y a la participación de los operarios involucrados en el proceso de producción, fue posible conseguir una caracterización completa del proceso realizado en la línea de fabricación de Productos mezclas, esto permitió realizar un análisis multicriterio con el cual se clasificaron las problemáticas críticas en las cuales la empresa debe enfocar su atención para obtener beneficios a futuro.

Dentro del análisis multicriterio se definió que la problemática principal que actualmente afecta la organización es el proceso de abastecimiento de tolvas de producción en el cual, presenta desperdicios de tiempo y movimientos a causa de los largos recorridos que el cargador debe realizar para cumplir su labor, se logró reducir considerablemente mediante la propuesta de una nueva distribución de las materias primas que se almacenan en cada una de las bodegas existentes actualmente en la empresa; de esta forma se puede disminuir el tiempo de ciclo del producto terminado y generar un ahorro de los insumos utilizados para el funcionamiento de la maquinaria ya que se redujo la distancia de recorrido.

Al realizar entrevistas con los operarios de la organización, se identificó que la causa principal para el daño de la maquina cosedora es la falta de revisión antes del inicio del proceso de producción, por lo que la implementación de las actividades de mantenimiento autónomo planteadas en el plan de mantenimiento preventivo, ayudarán a disminuir los paros por fallas como rotura de aguja, mala ubicación de la máquina, mala calibración entre otros, además de que generará sentido de pertenencia y participación para los operarios encargados de este proceso y evitará que se presenten lesiones y accidentes laborales por descuido y mal manejo de la maquinaria.

Se obtuvo una comparación entre el estado actual y el estado futuro resultante de la aplicación de las propuestas planteadas, mediante el uso de software de simulación, donde se vio una reducción de aproximadamente 14.19% en el tiempo de ciclo, esto no solo resulta en un incremento de las unidades producidas sino que aumenta el porcentaje de utilización de las actividades que se ven directamente implicadas en el manejo del producto terminado.

Si bien se presentó una disminución considerable en el tiempo de ciclo del producto terminado con las propuestas planteadas en la investigación, la empresa de seguir trabajando en la disminución de este tiempo para lograr que cumpla las condiciones que el Takt Time que presenta y así poder alcanzar los niveles de

demanda previstos sin incurrir en incrementos de los costos de producción por pago de horas por fuera de la jornada laboral y pérdida de clientes y pedidos por retrasos de entregas; para ello se recomienda analizar la posibilidad de implementar un turno extra de trabajo, que permita incrementar el tiempo de trabajo disponible y así aumentar el takt time, reduciendo la brecha entre este y el tiempo de ciclo.

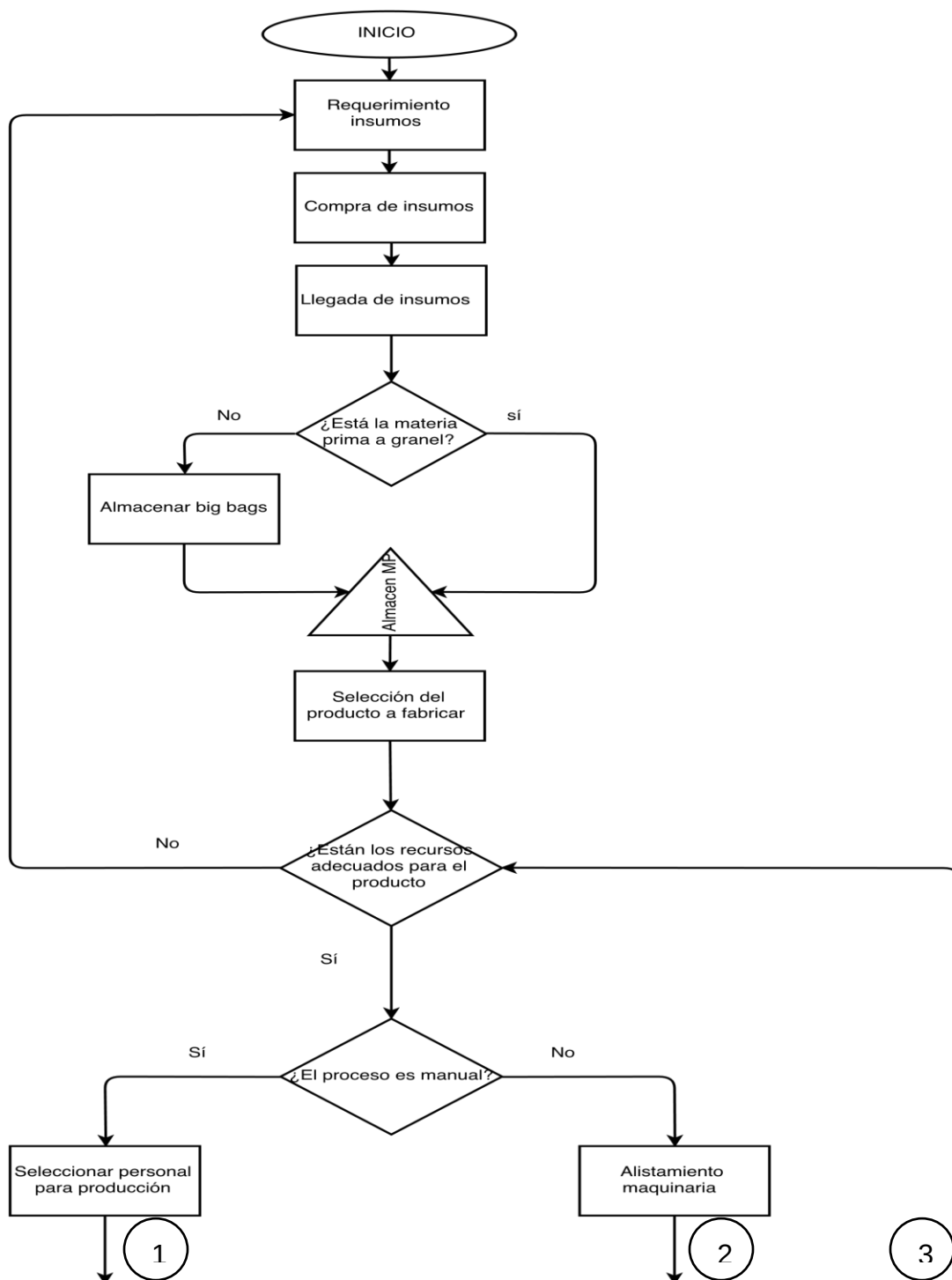
10. BIBLIOGRAFÍA

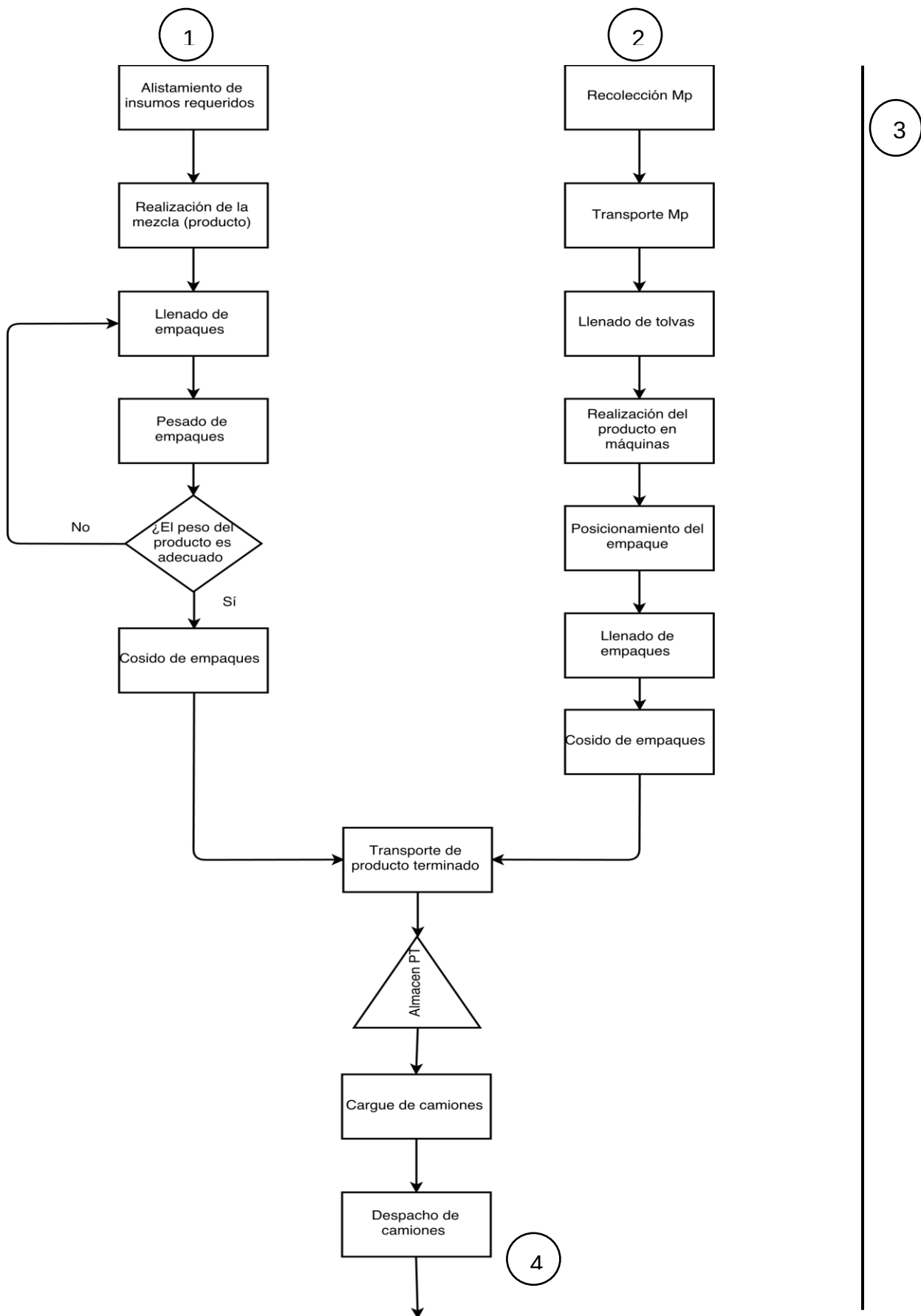
- [1] ARRIETA, J, et al. Aplicacion Lean Manufacturing en la Industria Colombiana, Revision de Literatura en Tesis y Proyectos de Grado. En: Conferencia Latinoamericana y del Caribe, 2011. Medellín.
- [2] BHASIN, W y BURCHER, P. Lean viewed as a philosophy. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2006.
- [3] CABRERA, C. Manual de lean Manufacturing TPS americanizado, 2014.
- [4] CABRERA, R. VSM Value Stream Mapping, análisis de la cadena de valor. 2011.
- [5] COONEY, R. Is "Lean" a universal production system? Batch production in the automotive industry. En: International Journal of Operations & Production Management, 2002.
- [6] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION, citado por Pérez, J. Uso de los fertilizantes y su impacto en la producción agrícola. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, 2014.
- [7] GHOSH, M. Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2012. vol. 24.
- [8] GURUMURTHY, A & KODALI, R. Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation, a case study. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2013.
- [9] HERNANDEZ, J y VIZÁN, A. Lean Manufacturing conceptos, técnicas e implantación. Madrid: Fundación EOI, 2013.
- [10] HILLIER, f y LIEBERMAN, G. Introducción a la investigación de operaciones. México: Mc Graw Hill, 2010.
- [11] Kanawaty (1996). Introducción al estudio del trabajo Ginebra, Oficina Internacional del Trabajo, cuarta edición (revisada)
- [12] KARIM, A & ZAMAN, K. A methodology for effective implementation of lean strategies and its performance evaluation in manufacturing organizations. En: Business Process Management Journal, 2013.
- [13] LIKER, J. Las claves del éxito de Toyota, 14 principios de gestión del fabricante más grande del mundo. Barcelona: Grupo planeta, 2010.

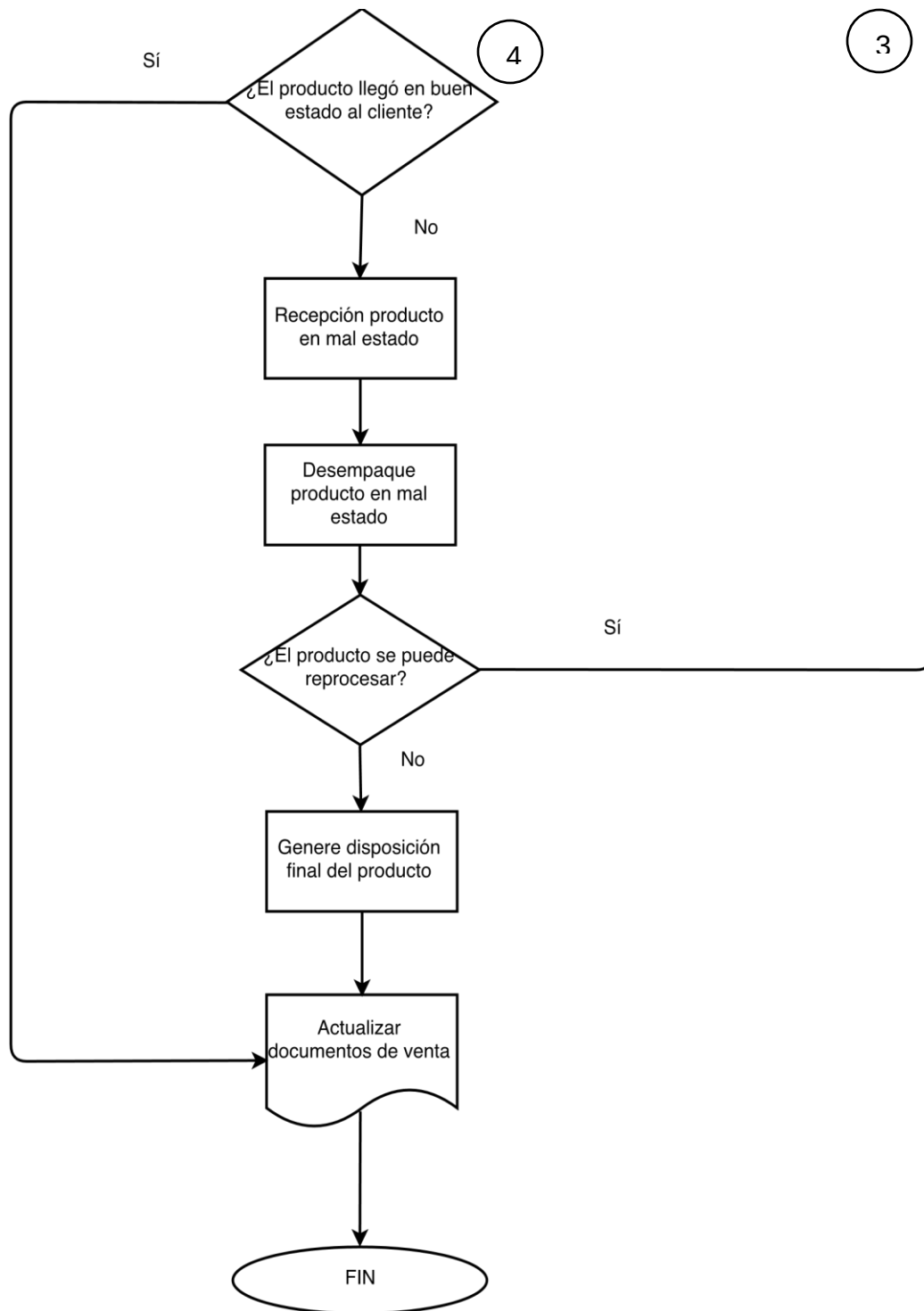
- [14] MALDONADO, G. Herramientas y técnicas de Lean Manufacturing en sistemas de producción y calidad. Mexico Df, 2008.
- [15] MATT, D. Adaptation of the value stream mapping approach to the design of lean engineer-to-order production systems, a case study. En: Journal of Manufacturing Technology Management, 2014.
- [16] MINISTERIO DE AGRICULTURA. Los dueños de los fertilizantes en Colombia. Recuperado de: El espectador. Bogotá, 2014.
- [17] MONTERO, A. Simulación de procesos empresariales. Junio 2011, Available from Internet: <https://simulaciondeprocesosempresariales9.wordpress.com/category/b-simulacion/>.
- [18] Nash, Mark A., 1959-Mapping the total value stream: a comprehensive guide for production and transactional processes / Mark A. Nash and Sheila R. Poling
- [19] OMOGBAI, O & SALONITIS, K. Manufacturing system lean improvement design using discrete event simulation. En: Elsevier, 2016.
- [20] RAJADELL, M y SANCHÉZ, J. Lean Manufacturing, la evidencia de una necesidad. New York. 2010.
- [21] ROTHER, M & SHOOK, J. Learning to see – Value Stream Mapping to create Value and eliminate muda. Cambridge: Lean Enterprise, 1998.
- [22] SCHONBERG, R. Japanese manufacturing techniques: nine hidden lessons in simplicity. New York: Free Press, 1982.
- [23] SINGH, B; SHARMA, S & GREWAL, C. Lean implementation and its benefits to production industry. En: International Journal of Lean Six Sigma, 2010.
- [24] TAHA, A. Investigación de operaciones. México: Pearson Educación, 2012. p.652.
- [25] VILLASEÑOR, A y GALINDO, E. Manual de Lean Manufacturing, guía básica. Mexico DF: Editorial Limusa S.A., 2007.
- [26] WOMACK, J; JONES, D y ROOS, D. La máquina que cambió el mundo. En: Revista de economía aplicada, 1993,
- [27] WOMACK, J y JONES, D. Lean thinking. New York: Free Press, 1996.

11. ANEXOS

Anexo 1: diagrama de flujo del proceso completo







Anexo 2. Estudio de tiempos procesos de producción.

TIEMPOS DE RECORRIDO CARGADOR				TIEMPOS DE RECORRIDO CARGADOR			
RECORRIDO	PRODUCTO	TIEMPO (min)	TIEMPO (Seg)	RECORRIDO	PRODUCTO	TIEMPO (min)	TIEMPO (Seg)
1	Urea	3,7	222,0	1	KCL	2,45	147
2	Urea	3,08	184,8	2	KCL	2,02	121,2
3	Urea	4,35	261,0	3	KCL	2,09	125,4
4	Urea	4,23	253,8	4	KCL	2	120
5	Urea	4,11	246,6	5	KCL	2,07	124,2
6	Urea	3,32	199,2	6	KCL	2,34	140,4
7	Urea	4,4	264,0	7	KCL	2,3	138
8	Urea	5,32	319,2	8	KCL	2,47	148,2
9	Urea	4,37	262,2	9	KCL	2,93	175,8
10	Urea	4,04	242,4	10	KCL	2,97	178,2
11	Urea	3,58	214,8	11	KCL	2,33	139,8
12	Urea	3,52	211,2	12	KCL	2,46	147,6
13	Urea	3,47	208,2	13	KCL	2,31	138,6
14	Urea	4,63	277,8	14	KCL	2,07	124,2
15	Urea	3,32	199,2	15	KCL	3,24	194,4
16	Urea	4,25	255,0	16	KCL	3,08	184,8
17	Urea	4,29	257,4	17	KCL	2,96	177,6
18	Urea	4,08	244,8	18	KCL	2,97	178,2
19	Urea	4,44	266,4	19	KCL	2,54	152,4
20	Urea	3,84	230,4	20	KCL	3,02	181,2
21	Urea	3,27	196,2	21	KCL	2,76	165,6
22	Urea	3,58	214,8	22	KCL	2,98	178,8
23	Urea	3,75	225,0	23	KCL	2,45	147
24	Urea	3,48	208,8	24	KCL	3,05	183
25	Urea	4,32	259,2	25	KCL	2,19	131,4
26	Urea	4,67	280,2	26	KCL	2,17	130,2
27	Urea	4,37	262,2	27	KCL	2	120
28	Urea	4,77	286,2	28	KCL	2,47	148,2
29	Urea	4,08	244,5	29	KCL	2,43	145,8
30	Urea	4,22	253,2	30	KCL	2,03	121,8
31	Urea	4,29	257,4	31	KCL	2,78	166,8
32	Urea	4,37	262,2	32	KCL	2,32	139,2
33	Urea	4,69	281,4				
34	Urea	4,33	259,8				
PROMEDIO		4,07	244,5	PROMEDIO		2,51	150,5

TIEMPOS DE RECORRIDO CARGADOR				TIEMPOS DE RECORRIDO CARGADOR			
RECORRIDO	PRODUCTO	TIEMPO (min)	TIEMPO (Seg)	RECORRIDO	PRODUCTO	TIEMPO (min)	TIEMPO (Seg)
1	SAM	2,3	138	1	MAP	1,18	70,8
2	SAM	2,36	141,6	2	MAP	1,05	63
3	SAM	2,18	130,8	3	MAP	1,09	65,4
4	SAM	2,33	139,8	4	MAP	0,76	45,6
5	SAM	2,07	124,2	5	MAP	1,12	67,2
6	SAM	3,02	181,2	6	MAP	1,22	73,2
7	SAM	2,99	179,4	7	MAP	1,24	74,4
8	SAM	2,51	150,6	8	MAP	1,08	64,8
9	SAM	2,6	156	9	MAP	1,14	68,4
10	SAM	2,72	163,2	10	MAP	1,27	76,2
11	SAM	2,7	162	11	MAP	1,17	70,2
12	SAM	2,4	144	12	MAP	1,19	71,4
13	SAM	2,32	139,2	13	MAP	2,07	124,2
14	SAM	2,78	166,8	14	MAP	1,32	79,2
15	SAM	2,27	136,2	15	MAP	0,89	53,4
16	SAM	2,08	124,8	16	MAP	0,93	55,8
17	SAM	2,34	140,4	17	MAP	1,09	65,4
18	SAM	2,28	136,8	18	MAP	1,12	67,2
19	SAM	2,36	141,6	19	MAP	1,19	71,4
20	SAM	2,44	146,4	20	MAP	1,03	61,8
21	SAM	2,43	145,8	21	MAP	0,92	55,2
22	SAM	3	180	22	MAP	0,97	58,2
23	SAM	3,02	181,2	23	MAP	1,11	66,6
24	SAM	3,13	187,8	24	MAP	1,23	73,8
PROMEDIO		2,53	151,58	PROMEDIO		1,14	68,45

TIEMPOS DE RECORRIDO CARGADOR			
RECORRIDO	PRODUCTO	TIEMPO (min)	TIEMPO (Seg)
1	DAP	2,55	153
2	DAP	2,37	142,2
3	DAP	2,9	174
4	DAP	2,98	178,8
5	DAP	3	180
6	DAP	3,07	184,2
7	DAP	2,97	178,2
8	DAP	2,54	152,4
9	DAP	2,9	174
10	DAP	3,4	204
11	DAP	2,37	142,2
12	DAP	2,87	172,2
13	DAP	2,99	179,4
14	DAP	2,56	153,6
15	DAP	2,69	161,4
16	DAP	3,02	181,2
17	DAP	3,07	184,2
PROMEDIO		2,84	170,29

Tiempos de ciclo de empackado, cosido y arrume

EMPACADO		COSIDO / COSTURA		ARRUME	
#TOMA	TIEMPO	#TOMA	TIEMPO	#TOMA	TIEMPO
1	3,8	1	3,3	1	76,3
2	4,3	2	2,9	2	79,4
3	3,8	3	3,2	3	80,7
4	3,5	4	3,5	4	73,0
5	3,2	5	3,5	5	75,0
6	3,3	6	3,3	6	72,4
7	3,5	7	3,0	7	81,2
8	3,3	8	2,6	8	88,6
9	3,2	9	4,0	9	74,3
10	3,2	10	3,3	10	72,9
11	3,2	11	3,2	PROMEDIO	77,4
12	3,2	12	3,44		
13	3,0	13	3,3		
14	3,0	14	3,3		
15	3,3	15	2,95		
PROM	3,38	16	3,5		
		17	3,3		
		18	3,7		
		19	3,4		
		20	3,3		
		21	3,4		
		PROMEDIO	3,3		

TIEMPOS DESPLAZAMIENTO A ALMACÉN							
# TOMA	To (min)	# TOMA	To (min)	# TOMA	To (min)	# TOMA	To (min)
1	1,4	26	1,19	51	2,34	76	1,03
2	1,19	27	1,15	52	3,68	77	1
3	1,81	28	1,09	53	0,91	78	0,93
4	0,87	29	1,03	54	0,97	79	0,88
5	0,82	30	1	55	1	80	0,55
6	1,15	31	1	56	0,97	81	3,67
7	2,37	32	0,97	57	2,01	82	3,05
8	3,71	33	0,94	58	2,5	83	2,49
9	0,94	34	0,87	59	3,06	84	2,2
10	1	35	0,82	60	1,26	85	1,87
11	1,03	36	0,49	61	1,06	86	1,85
12	1	37	3,61	62	0,94	87	1,64
13	2,04	38	2,99	63	0,46	88	1,59
14	2,53	39	2,43	64	1,99	89	0,92
15	3,09	40	2,27	65	1,36	90	1,03
16	1,29	41	1,94	66	1,73	91	0,87
17	1,09	42	1,92	67	1,46	92	0,8
18	0,97	43	1,71	68	1,45	93	1,25
19	0,49	44	1,66	69	1,35	94	0,49
20	2,02	45	2,4	70	1,25	95	0,52
21	1,39	46	2,19	71	1,21	96	0,58
22	1,76	47	2,81	72	1,15	97	0,83
23	1,4	48	1,87	73	1,09	98	1,02
24	1,39	49	1,82	74	1,06	99	0,97
25	1,29	50	1,12	75	1,06	100	0,95

Anexo 3: Desarrollo de AHP para la selección de problemas críticos.

FRECUENCIA DE OCURRENCIA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1,00	4,00	7,00	7,00	9,00
D2	0,25	1,00	3,00	3,00	5,00
D3	0,14	0,33	1,00	1,00	5,00
D4	0,14	0,33	1,00	1,00	3,00
D5	0,11	0,20	0,20	0,33	1,00
Suma	1,65	5,87	12,20	12,33	23,00

MATRIZ NORMALIZADA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	0,61	0,68	0,57	0,57	0,39
D2	0,15	0,17	0,25	0,24	0,22
D3	0,09	0,06	0,08	0,08	0,22
D4	0,09	0,06	0,08	0,08	0,13
D5	0,07	0,03	0,02	0,03	0,04

VECTOR	SUMA	SP/VP
PRIORIDAD	PONDERADA	
56%	3,07	5,44
21%	1,11	5,40
10%	0,53	5,06
9%	0,45	5,20
4%	0,19	5,08
100%		

Lambda	5,24
CI	0,06
CR	5,30%

TIEMPO DE PARADA QUE GENERA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1,00	4,00	0,33	7,00	6,00
D2	0,25	1,00	0,17	5,00	3,00
D3	3,00	6,00	1,00	8,00	7,00
D4	0,14	0,20	0,13	1,00	0,33
D5	0,17	0,33	0,14	3,00	1,00
Suma	4,56	11,53	1,77	24,00	17,33

MATRIZ NORMALIZADA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	0,22	0,35	0,19	0,29	0,35
D2	0,05	0,09	0,09	0,21	0,17
D3	0,66	0,52	0,57	0,33	0,40
D4	0,03	0,02	0,07	0,04	0,02
D5	0,04	0,03	0,08	0,13	0,06

VECTOR	SUMA	SP/VP
PRIORIDAD	PONDERADA	
28%	1,58	5,69
12%	0,65	5,29
50%	2,82	5,69
4%	0,18	5,12
7%	0,33	5,05
100%		

Lambda	5,37
CI	0,09
CR	8,21%

CRITICIDAD SEGÚN JEFE DE PLANTA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	1,00	6,00	5,00	0,50	6,00
D2	0,17	1,00	0,33	0,14	0,50
D3	0,2	3,00	1,00	0,25	5,00
D4	2,00	7,00	4,00	1,00	8,00
D5	0,17	2,00	0,20	0,13	1,00
Suma	3,53	19,00	10,53	2,02	20,50

MATRIZ NORMALIZADA					
	D1	D2	D3	D4	D5
D1	0,28	0,32	0,47	0,25	0,29
D2	0,05	0,05	0,03	0,07	0,02
D3	0,06	0,16	0,09	0,12	0,24
D4	0,57	0,37	0,38	0,50	0,39
D5	0,05	0,11	0,02	0,06	0,05

VECTOR	SUMA	SP/VP
PRIORIDAD	PONDERADA	
32%	1,83	5,67
5%	0,24	5,19
14%	0,73	5,38
44%	2,40	5,45
6%	0,28	5,01
100%		

Lambda	5,34
CI	0,08
CR	7,59%

RELACIÓN ENTRE CRITERIOS			
	C1	C2	C3
C1	1,00	3,00	5,00
C2	0,33	1,00	3,00
C3	0,20	0,33	1,00
Suma	1,53	4,33	9,00

MATRIZ NORMALIZADA			
	C1	C2	C3
C1	0,65	0,69	0,56
C2	0,22	0,23	0,33
C3	0,13	0,08	0,11

VECTOR	SUMA	SP/VP
PRIORIDAD	PONDERAD	
63%	1,95	3,07
26%	0,79	3,03
11%	0,32	3,01
100%		

Lambda	3,04
CI	0,02
CR	3,34%

RESULTADOS			
	C1	C2	C3
D1	56%	28%	32%
D2	21%	12%	5%
D3	10%	50%	14%
D4	9%	4%	44%
D5	4%	7%	6%
TTL	1,00	1,00	1,00

VECTOR
PRIORIDAD
63%
26%
11%
100%

Problema	Criterio final
D1	46%
D2	17%
D3	21%
D4	11%
D5	5%