



Trabajo de grado en modalidad de aplicación
Aplicación de una metodología Lean Manufacturing para
aumentar la productividad del chorizo en una empresa que
elabora productos cárnicos procesados

Pablo Canales^{a,c}, Andres David Cuervo^{a,c}, David Felipe Diaz^{a,c},

Lady Stephanie Martinez^{a,c}

Felipe Barreto^{b,c}

^aEstudiante de Ingeniería Industrial

^bProfesor, Director del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial

^cPontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia

Índice

1. Justificación y planteamiento del problema	3
2. Antecedentes.....	7
3. Objetivos.....	9
4. Cuerpo del documento	9
4.1 Definir	9
4.2 Medir.....	10
4.3 Analizar:	13
4.4 Mejorar	14
4.5 Controlar	17
5. Resultados.....	19
6. Conclusiones y recomendaciones.....	21
7. Glosario	23
8. Tabla de Anexos o Apéndices	24

Abstract

To establish in the current market, companies must be competitive and this implies to make the most with the resources they possess with the minimum of investment. Therefore, the application of the methodology Lean Manufacturing with the help of a simulation software allows to minimize the amount of defects during the production process without great amount of capital, time, staff, and the most important of all, it doesn't require to stop the process.

The challenge of being able to reduce waste began with a survey of information through visits to the company, direct observation and contact with the operators. This information was used for the realization of some industrial engineering

tools such as Value Stream Mapping (VSM), Operations chart, Flow chart, Route chart and a time and motion study, establishing the necessary parameters to perform the simulation for the actual process.

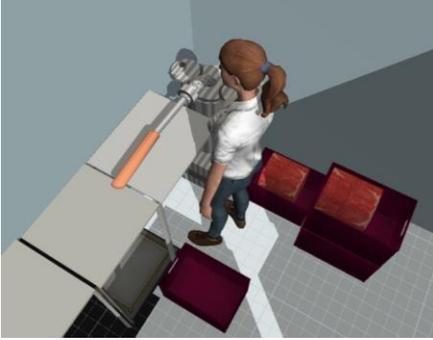
With this information, different tools of the Lean Manufacturing methodology were applied which included line balancing, Kanban, Takt Time and Just In Time in order to find different alternatives for improvement for the current process. The alternatives were presented to the management of the company to analyze its feasibility and viability and the proposals that were adapted to the interests and capabilities of the company were chosen. Subsequently, the simulation of the current model was used as the basis for making the proposed changes, providing the possibility of a comparison between the current and the proposed model. For this, 52 processes of production were simulated in order to represent the total runs that take place in a year and the following indicators were evaluated:

1. Total production of sausages
2. Distance Traveled by the Operators
3. Number of defective sausages

Based on the results obtained, the implementation of 7 different alternatives allowed to reduce defective sausages by 78.94%, going from an average of 19 to only 4 products per production day. this means that approximately 780 sausages are reduced per year, equivalent to \$ 1,092,000 COP. Another important aspect was the reduction of the distances traveled by the workers during a productive run from an average of 960 meters to 719 meters.

Finally, a financial analysis was carried out in which the alternatives chosen were evaluated economically and their viability was proven by returning the investment in the short term of 8 months.

Gráfico 0. Imagen del diseño

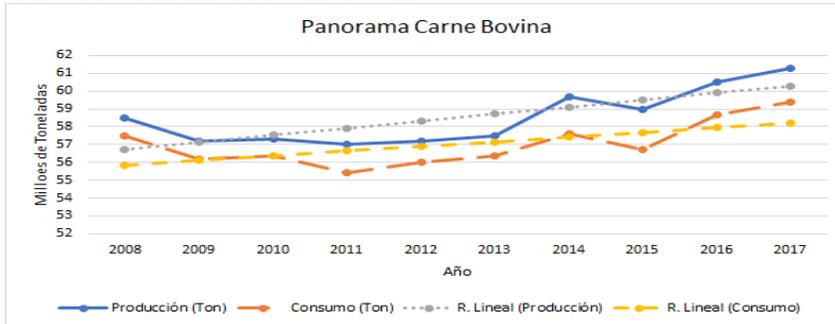


Palabras Clave: Lean Manufacturing, productivity, simulation, waste, Flexsim, sausage.

1. Justificación y planteamiento del problema

Es importante comprender cómo evoluciona el mercado de productos cárnicos en el mundo y en el país para analizar el comportamiento histórico de la producción y la demanda de este tipo de alimentos. En primer lugar, la producción mundial de carne de bovino en términos generales está aumentando. Mientras que en los países más desarrollados el crecimiento es discreto o nulo, los países en desarrollo representan el 80% del aumento. De esta manera, “el creciente mercado de la carne representa una importante oportunidad para los productores pecuarios y los elaboradores de carne de estos países. No obstante, el incremento de la producción ganadera y la elaboración y comercialización inocuas de carne y productos cárnicos conforme a las normas higiénicas supone un serio desafío.” (“Carne y Productos Cárnicos”, 2016). Como se muestra en la gráfica 1, Según FIRA y USDA (2017), entre 2008 y el 2016, la producción de carne bovina creció a una tasa promedio anual de un 0,4% y se espera que para el 2017, la producción mundial de carne ascienda a un récord de 61.3 millones de toneladas. Igualmente, se espera un aumento tanto en el consumo como en la producción de otros tipos de carne, durante los próximos años. Así mismo, la regresión muestra que, aunque la producción y en el consumo van incrementando, se espera un récord en ambas variables, de forma que crezcan a una tasa promedio anual de 0,26%. Recuperado de <https://www.fira.gob.mx/Nd/index.jsp>

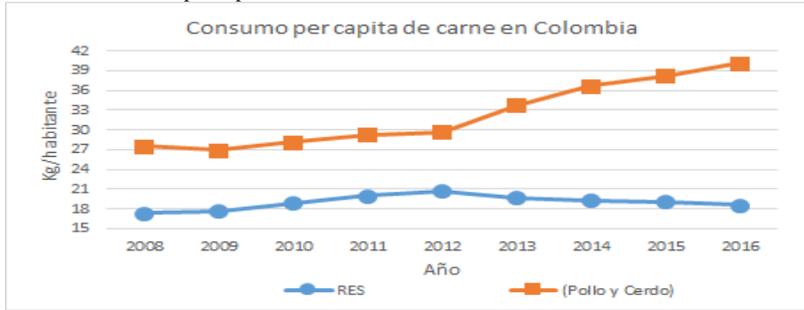
Gráfico 1: Panorama mundial de carne de bovino



Fuente: Propia, realizada con datos proporcionados de la FIRA y USDA Ver Anexo 2.

Por otro lado, se sabe que “en el 2016, Colombia produjo 855.000 toneladas de carne bovina, equivalentes a unos 4 billones de pesos.” (Lozano, 2017), lo que representó el 0,46% del PIB de dicho año. Sin embargo, si se analiza en la gráfica 2, según la Federación Nacional de Ganaderos (Fedegán), el consumo per cápita anual de carne roja ha disminuido debido al aumento del consumo de otras proteínas animales principalmente el pollo y el cerdo. Según esta información, se puede observar como desde el año 2012, el consumo per cápita de pollo y cerdo tuvieron un incremento sustancial, lo cual conforma la principal causa de la disminución del consumo de carne de res. Otro factor determinante en el crecimiento del consumo de estos tipos de proteína, es el alto precio de la carne de res. A juicio de Martínez F [1]: “La carne de cerdo es un poco más económica que la carne de res y cuando tenemos dificultad en nuestros ingresos puede llegar a ser una mejor alternativa.” (Alfonso, 2017). [1] Coordinador del área económica del Politécnico Gran colombiano.

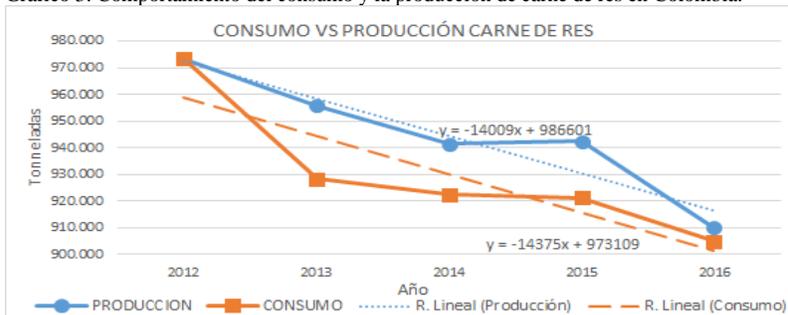
Gráfico 2. Consumo per cápita de carne en Colombia



Fuente: Propia. Realizada con datos proporcionados por FEDEGAN. Ver anexo 2.

Por otra parte, si se analiza la gráfica 3, según Fedegan (2017) se puede observar cómo se comporta el mercado de la carne de res, comparando su consumo y su producción. De acuerdo a esto, tanto la producción como el consumo de la carne de res, tienen una línea de tendencia negativa, la cual representa una desaceleración en la producción. Es decir que de acuerdo a la regresión se puede determinar que la producción se ha disminuido en cerca de 60.000 toneladas en los últimos cuatro años. La demanda también ha tenido el mismo comportamiento, lo cual demuestra que no es de interés ofrecer el chorizo realzando únicamente la carne de res. Recuperado de <http://www.fedegan.org.co/>

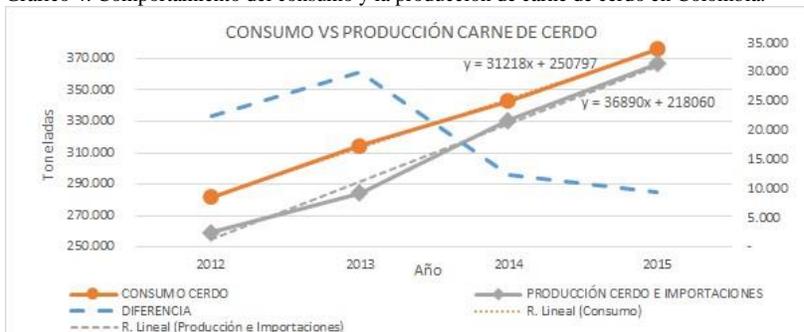
Gráfico 3. Comportamiento del consumo y la producción de carne de res en Colombia.



Fuente: Propia. Realizada con datos proporcionados por FEDEGAN. Ver Anexo 2.

A la vez, en la gráfica 4, se muestra el comportamiento del consumo, la producción e importación de carne de cerdo y la diferencia entre la producción y el consumo. De acuerdo a la regresión se evidencia un incremento del 33,5% del consumo en cuatro años con una tendencia positiva. También se observa que el consumo es mayor a la producción, lo cual demuestra que es posible que haya producción ilegal que el mercado está consumiendo y no se esté registrando por lo que la gráfica no lo expone.

Gráfico 4. Comportamiento del consumo y la producción de carne de cerdo en Colombia.



Fuente: Propia. Realizada con datos proporcionados por PorkColombia. Ver Anexo 2.

En el contexto colombiano, según un estudio realizado por Adecco, las personas gastan aproximadamente el 30% del salario en alimentos ("colombianos gastan 50% del salario en alimentos y servicios", 2017), y específicamente el 5,46% del total de los ingresos en carnes según una investigación de la firma Raddar ("De cada 100 pesos, 32 se destinan a comprar comida", 2016). Por otra parte, la empresa está interesada en suplir

a mediano plazo las ciudades principales más cercanas a la planta de producción las cuales cuentan con una población de 85.000 personas para el caso de Tunja, 270.000 para Villavicencio y 4.120.000 para el caso de Bogotá (Dane, 2017) en donde actualmente se distribuye el producto. De esta manera, se puede calcular la expectativa de ventas de embutidos para el futuro mercado tomando el 5,46% del valor esperado del ingreso de los colombianos (ver tabla 1) por el número de habitantes de las ciudades a las cuales se espera suplir, procedimiento que se puede ver detalladamente en la tabla 2. De lo anterior, se puede concluir que el dinero que las personas de estas tres ciudades destinan a productos cárnicos, genera expectativas para el sector y sobre todo para la empresa.

Tabla 1. Porcentaje de colombianos que sus ingresos están dentro del rango

Porcentaje	Rango inferior	Rango superior	Promedio	Valor esperado
16%	- \$	600.000 \$	300.000 \$	48.000 \$
34%	600.001 \$	1.000.000 \$	800.001 \$	272.000 \$
29%	1.000.001 \$	2.000.000 \$	1.500.001 \$	435.000 \$
15%	2.000.001 \$	4.000.000 \$	3.000.001 \$	450.000 \$
3%	4.000.001 \$	6.000.000 \$	5.000.001 \$	150.000 \$
2%	6.000.001 \$	10.000.000 \$	8.000.001 \$	160.000 \$
1%	10.000.001 \$	más	10.000.000 \$	100.000 \$
			TOTAL	1.615.000 \$

Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por Trabajando.com

Tabla 2. Análisis de dinero disponible para mercado cárnico en Bogotá, Tunja y Villavicencio.

Valor esperado salario	Población ocupada Bogotá, Tunja y Villavicencio.	Porcentaje consumo de carne.	Dinero disponible para el mercado cárnico mensual en
1.615.000	4.432.000	5.46%	\$390.809.000.000

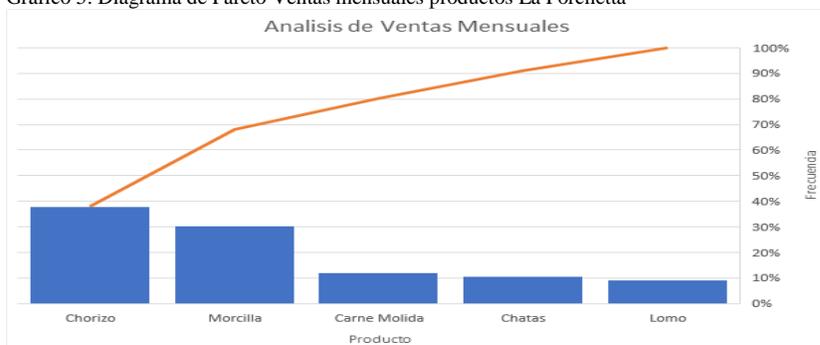
Fuente. Propia.

Ahora bien, se estima que para el 2017, el mercado de embutidos tenga un promedio de ventas de \$77.000.000.000 en el año ("Embutidos, un negocio con mercado para crecer", 2017), esto quiere decir que al tener un mercado de carnes mensual de \$390.809.000.000, los habitantes de estas tres ciudades consumen aproximadamente el 1.64 % en embutidos, como se observa en la ecuación, generando un mercado mensual de \$ 6.409.267.600.

$$77.000.000.000 / (390.809.000.000 * 12) = 0.0164$$

Como ya se caracterizó el mercado objetivo, es importante verificar qué aspectos se podrían mejorar en la empresa "Productos Cárnicos La Porchetta M&M" que es una empresa la cual es productora de productos cárnicos y embutidos, para obtener más información sobre la empresa (Ver Anexo 1); para poder sacar el máximo provecho a esta demanda; en especial realizando un diagrama de Pareto para identificar cuál es la línea de producción en la cual al realizarse un proceso de rediseño podría tener un mayor impacto en la compañía, se encontró que el Chorizo Paisa representa el 45% del total de unidades vendidas de la empresa, siendo el producto que más unidades vende.

Gráfico 5. Diagrama de Pareto Ventas mensuales productos La Porchetta



Fuente: Propia. Realizada con datos proporcionados por empresa La Porchetta. Ver anexo 2

Queriendo indagar más acerca de los problemas presentes en la producción del chorizo, se realizó una visita realizada a la empresa el día 11 de julio de 2017, en donde se encontró que el proceso de producción del

Chorizo Paisa tenía múltiples operaciones (que se representaron mediante un Diagrama de bloques - Ver Diagrama 1) con el propósito de determinar cuál de las unidades de proceso posee reprocesos actualmente. De esta visita se pudo determinar que el único bloque en donde existen re-procesos es la unidad de transformación de materias prima.

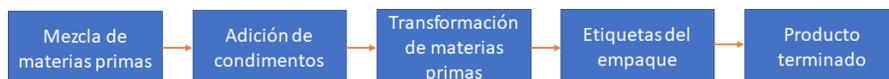
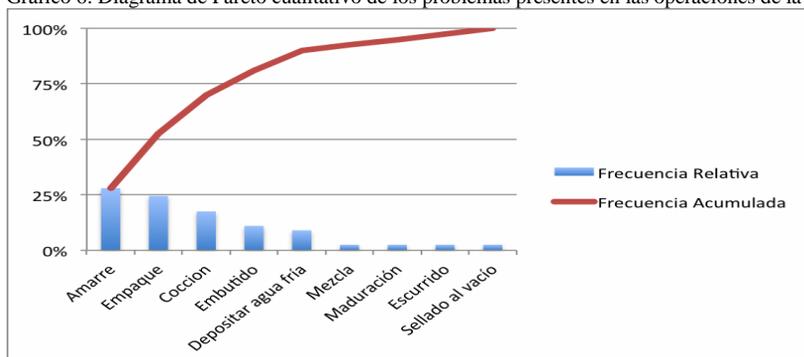


Tabla 3. Datos Pareto cuantitativo

Operación	Clasificación	Porcentaje dado	Peso	Frecuencia Relativa	Frecuencia Acumulada	Peso acumulado
Amarre	A	0,4	0,28	0,28	0,28	11,11
Empaque	A	0,35	0,25	0,25	0,53	22,22
Coccion	A	0,25	0,18	0,18	0,7	33,33
Embutido	B	0,55	0,11	0,11	0,81	44,44
Depositar agua fría	B	0,45	0,09	0,09	0,9	55,56
Mezcla	C	0,25	0,03	0,03	0,93	66,67
Maduración	C	0,25	0,03	0,03	0,95	77,78
Escurrido	C	0,25	0,03	0,03	0,98	88,89
Sellado al vacío	C	0,25	0,03	0,03	1	100

Fuente: Propia. Realizada con datos recolectados en la empresa La Porchetta. Ver anexos 2.

Gráfico 6. Diagrama de Pareto cualitativo de los problemas presentes en las operaciones de la línea de producción Chorizo Paisa



Fuente: Propia. Realizada con datos recolectados en la empresa La Porchetta. Ver anexo 2

Como se muestra en el Pareto cualitativo, de acuerdo a los datos recolectados en la empresa “Productos Cárnicos La Porchetta M&M”, las principales causas del reproceso del chorizo se dan en el amarre, empaque y la cocción. Estas tres etapas conforman el 70% de las causas y representan la mayoría de las fallas, en gran medida por el hecho de ser operaciones manuales. De esta manera, al no contar con una automatización, la productividad depende directamente del operario que está presente en el turno.

Según lo anterior, se puede afirmar que la empresa, no cuenta con herramientas que optimicen la producción de carnes procesadas; más, sin embargo, su principal ventaja es la calidad de sus productos, como es el caso del Chorizo Paisa. Este producto representa aproximadamente el 30% de los ingresos de la compañía, pero a su vez, cuenta con muchos errores en su producción, pues sólo el 85% de este alimento, termina en condiciones óptimas para ser entregado al cliente. Con la cantidad de alimento reprocesado calculado previamente, se pueden determinar las unidades del chorizo reprocesadas, con lo cual se logra calcular las pérdidas monetarias que está teniendo la empresa debido a esta situación. Si esta situación se pudiera mitigar, el margen de utilidad de la empresa se podría incrementar con respecto a lo obtenido en la tabla 4.

Tabla 4. Utilidad semanal Chorizo Paisa

Producto	Promedio Ventas semanales (COP)	Utilidad %	Utilidad (COP)
Chorizo Paisa	\$2.178.440	55%	1.198.142

Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

Es importante aclarar que actualmente la empresa procesa entre 1.5 y 2 toneladas de carne semanales, lo que permite suplir grandes demandas de producto por parte de los clientes. Al analizar la tabla 4, se concluye que,

dado el porcentaje de utilidad y la demanda manejada por la empresa, se puede aumentar la producción de Chorizo Paisa mediante un ejercicio de reingeniería de procesos basado en el método Lean Manufacturing. De esta manera, esta se empresa tiene un reto basado en expandirse hacia un mercado nacional, teniendo en cuenta que ese mercado es cada vez más competitivo y a la vez más accesible. Con base en todo lo anterior, esta investigación se plantea la siguiente pregunta:

¿Cómo rediseñar el proceso de producción del Chorizo Paisa de la empresa “Productos Cárnicos La Porchetta M&M” para expandirse a nuevos clientes y demandas, sin bajar la alta calidad con la cual es reconocido el producto, mediante un diseño de ingeniería?

2. Antecedentes

Hoy en día, cualquier tipo de negocio necesita optimizar sus procesos, recursos y personal para sobrevivir a un mercado competitivo y avanzado, pues es difícil mantenerse debido a que existe un incremento importante en la creación de empresas en Colombia. “En el primer trimestre de 2017 se crearon 96.611 unidades productivas: 20.676 sociedades y 75.935 personas naturales” (Guevara, 2017); es decir se observa un crecimiento del 15,2% con respecto al año anterior. Dado que Colombia, muestra un buen manejo de su economía y avance empresarial, hoy es el tercer país más competitivo de América Latina, después de Chile y México. (“Colombia, el tercer país más competitivo de Latinoamérica”, 2015). Por tal motivo, es importante para las empresas colombianas fortalecer los procesos, para lograr óptimos niveles de eficiencia y efectividad al menor costo posible con el propósito de ser competitivos y rentables. Adicionalmente es importante que cualquier negocio se distinga por la calidad de los procesos y el servicio al cliente, empleando herramientas metodológicas que permitan un trabajo ordenado, estandarizado y controlado sobre cualquier mejora efectuada.

Indagando en aplicaciones previas, enfocadas en el incremento de la producción de diferentes empresas, se elaboró una tabla (Ver Tabla 5) que resume diferentes métodos, metodologías y resultados obtenidos de trabajos anteriores. De esta forma se realizó una revisión de antecedentes como marco de referencia para comparar las diferentes técnicas y metodologías utilizadas en la actualidad para mejora de procesos; para así de esta forma poder escoger una o varias técnicas que se pudieran aplicar para el caso de la empresa; en donde se enfatizará en la aplicación de herramientas de ingeniería en la elaboración de una herramienta que sea de uso práctico en la misma.

Tabla 5. Antecedentes de trabajos realizados previamente acerca de mejora de procesos.

Fecha Autor	Método	Metodología	Resultados
Martín Tanco Javier Santos Jose Luis Rodrigue Juan Reich 2012	Lean Manufacturing	En este estudio de caso se aplicaron varias técnicas y análisis tales como el mapeo de flujo de valores (VSM), la eficiencia general del equipo, diagramas de espaguetis, balance de trabajo y simulación de eventos discretos. Finalmente, se mapeo el futuro estado VSM, donde se consolidaron la mayoría de las ideas de mejora identificadas a lo largo del proyecto.	Disminución del tiempo de avance esperado de 18 a 3 días. Esta mejora significativa de 15 días se obtiene principalmente a través de inventarios WIP. Envíos diarios del producto terminado a los clientes, por lo que el stock disminuiría de 5 a 0,5 días Inventario de barras de turrón en el flowpack podría caer de 10,4 a 0,25 días en promedio

Biman Das Uday Venkatadri Pankajkumar Pandey 2014	Lean Manufacturing	La implementación de LMS generalmente comienza con el mapeo del nivel de rendimiento del proceso actual usando VSM. Luego, dependiendo de la naturaleza de la mejora sugerida, se aplican varias herramientas de manufactura esbelta como SMED, Kaizen, justo en el tiempo, balanceo de líneas y pruebas para resolver la causa raíz de la ineficiencia. Debe aplicarse los principios y conceptos de análisis de ingeniería, como el diseño de trabajo y la ingeniería de métodos de trabajo.	Lean Manufacturing se empleó con éxito para mejorar la productividad de fabricación de la bobina o la producción en un 77% o de 121 bobinas a 214 bobinas por turno. El tiempo de configuración de la máquina de expansión de bobina pasó de 60 a 20 minutos, una mejora del 67%
Anas Atieh Hazem Kaylani Ahmad Almuhtady Omar AlTamimi 2016	Lean Manufacturing	Comienza con la correlación de flujo de valores (VSM) para visualizar el flujo del proceso, así como para identificar el estado de producción y cualquier alerta potencial. A continuación, el esquema emplea un modelo de simulación de eventos discretos para estimar con precisión el impacto de estas alertas potenciales. Los resultados de la simulación se utilizan para identificar todos los posibles cuellos de botella. Un algoritmo de mejora se utiliza entonces para sugerir sistemáticamente cambios que apuntan a aliviar el sistema y producir un mejor tiempo de fabricación y / o aumentar su rendimiento tomando en consideración la factibilidad.	La aplicación del esquema prescrito en la empresa de fabricación de vidrio no sólo reveló un cuello de botella oculto, sino también los cambios sugeridos redujeron el plazo de fabricación en un 6% y aumentó el rendimiento del cuello de botella primario en un 32%.
Lee, Kuo-Liang Su, Yang 2013	Six Sigma	En este estudio de caso, los ingenieros capacitados miden los factores clave que afectan el proceso mediante la aplicación de mapeo de procesos, matriz de C & E, FMEA y análisis lógicos de cribado de factores clave que causan las grietas. El software de simulación FEA ABAQUS se integró en el enfoque Six Sigma para ayudar a verificar las variables clave.	Los resultados de la investigación mostraron que una separación de 1 cm entre el tablero y la estructura principal redujo efectivamente las grietas. En consecuencia, la insatisfacción del cliente de la compañía disminuyó de 87 a 11%. El costo anual de reelaboración para la reparación de grietas de paredes divisorias ligeras está drásticamente por debajo de NTD 1,700,000 a 94,000.
Nabeel Mandahawi Rami H. Fouad Suleiman Obeidat 2012	Six Sigma	La metodología de gestión de proyectos DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) y varias herramientas lean se utilizan para agilizar los procesos y mejorar la productividad. Se emplean dos medidas de rendimiento, la tasa de producción y la eficacia general del equipo (OEE) para evaluar el rendimiento de las máquinas de corte y de impresión antes y después del ciclo DMAIC.	Los resultados obtenidos indican un incremento de la tasa de producción para máquinas de impresión en un 5% y para las máquinas de corte en un 10%. Además, el OEE para las máquinas de impresión y corte se ha incrementado en un 21.6% y 48.45% respectivamente

Fuente: Propia utilizando información de base de datos de la Pontificia Universidad Javeriana

3. Objetivos

Rediseñar el proceso productivo del Chorizo Paisa en la empresa “Cárnicos la Porchetta” mediante la aplicación de una metodología Lean Manufacturing que permitan controlar la cantidad de desperdicios, defectos e irregularidades transformando el proceso de manera teórica mediante una técnica de simulación.

1. Identificar las variables críticas que afectan el proceso de fabricación de Chorizo Paisa mediante un Pareto cualitativo y cuantitativo que determine su importancia.
2. Establecer un diagnóstico de la situación actual del proceso productivo mediante un mapeo del proceso actual.
3. Rediseñar y definir el proceso de producción del Chorizo Paisa mediante la elaboración de herramientas de mejora continua que permita determinar la nueva configuración del proceso y los parámetros a incorporar en la instancia de simulación.
4. Efectuar una simulación del nuevo diseño que permita analizar el impacto del proceso productivo usando la herramienta Flexsim.
5. Generar una evaluación financiera del proyecto que permita establecer el valor presente neto y la tasa interna de retorno de esté.
6. Ejecutar un control del proceso mediante la elaboración de los gráficos de control estadísticos del proceso e indicadores de gestión.

4. Cuerpo del documento

La implementación de la metodología Lean Manufacturing en la empresa “La Porchetta” se realizó siguiendo el modelo DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), una metodología que busca la mejora continua de un proceso mediante los ~~estos~~ cinco pasos.

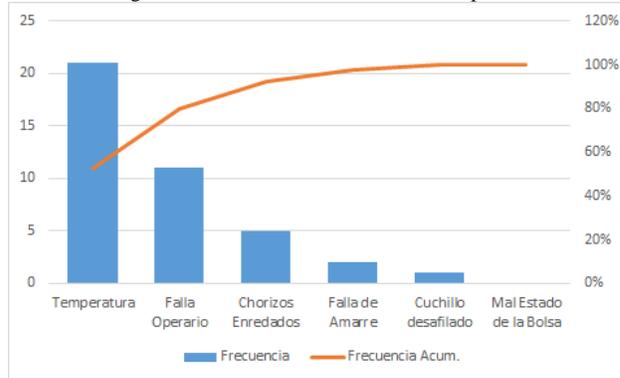
4.1 Definir

Para definir el problema, se utilizó la herramienta de Pareto, que se basa en que en todos los procesos de verificación o control hay un promedio de 20% de factores críticos, que al ser tratados podrán garantizar el cubrimiento del 80% de la actividad total. Se realizó un diagrama de Pareto cuantitativo para identificar cuál era el producto que mayores ventas representaba y adicionalmente uno cualitativo que buscaba responder cuáles eran las operaciones que tenían mayor riesgo de presentar fallos según las entrevistas realizadas a operarios y jefes de producción para así considerar la opinión de expertos.

El Pareto cuantitativo (Ver Gráfico 5) evidencia que la línea de producción en la cual debe realizarse un proceso de rediseño es la del Chorizo Paisa debido a que este producto representa el 38% del total de unidades vendidas de la empresa y al intervenir podría generar un impacto significativo. Por otro lado, el Pareto cualitativo (Ver Gráfico 6) se realizó teniendo en cuenta las operaciones que tenían una mayor tendencia a presentar errores durante el proceso productivo. Se realizó una clasificación ABC (siendo A: las operaciones con mayor error y C: las operaciones con menor error). Posterior a esto, se identificó que el 70% de los errores se encontraban en el amarre, empaque y cocción, las cuales representan el 33,33% del total de operaciones.

Adicional a estos Paretos, se realizó un Pareto cuantitativo de causas de los posibles errores que pueden ocurrir dentro de la producción de chorizo. Para realizarlo, se tuvieron en cuenta todos los posibles factores que podían generar errores dentro de cada operación.

Gráfico 5. Diagrama de Pareto causas de errores en la producción de chorizo paisa.



Fuente. Propia. Realizada con datos tomados en la empresa La Porchetta.

Como se puede observar, las causas que generan el mayor número de errores son la alta temperatura a la que se cocinados los chorizos, las fallas de manipulación por parte del operario y los chorizos reventados cuando se retiran de la olla. (ver Anexo 2)

4.2 Medir

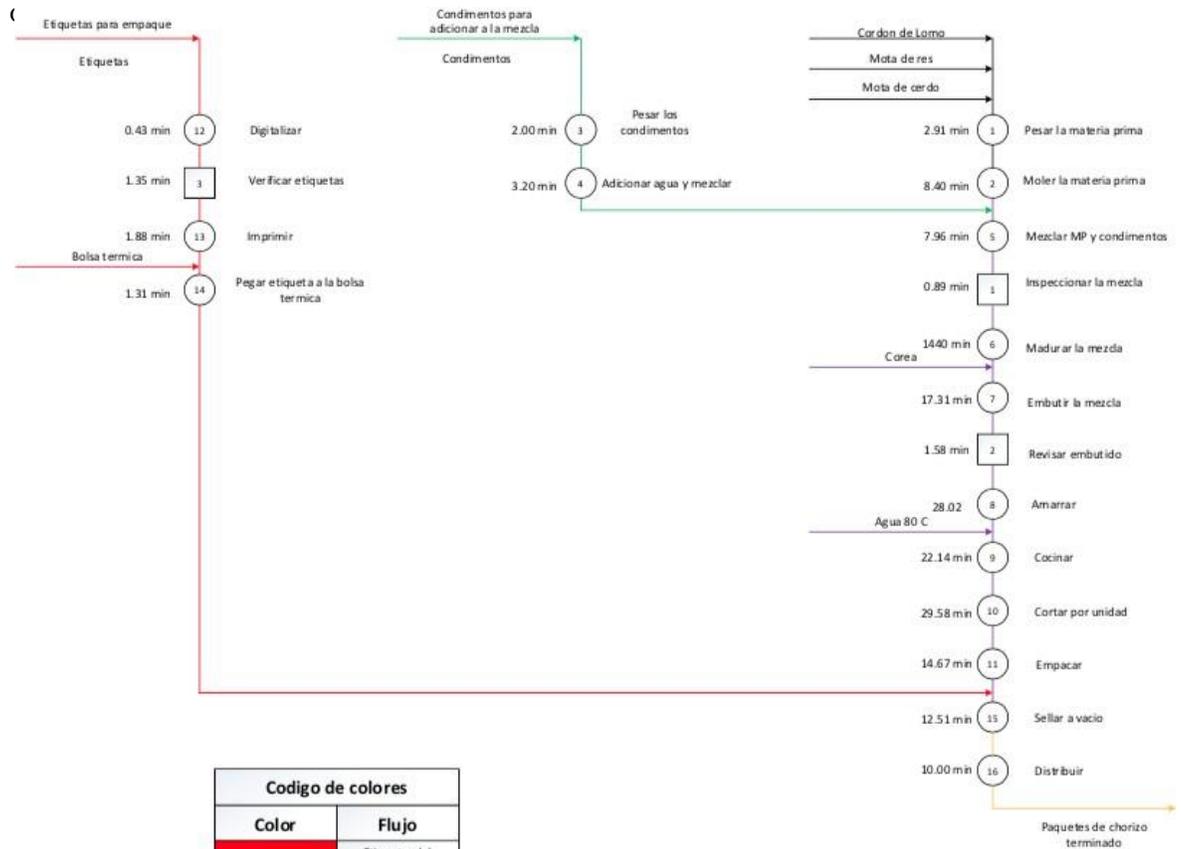
Se utilizaron diferentes herramientas de ingeniería industrial para una mayor comprensión e información sobre el proceso. Como primera medida se realizó un Value Stream Mapping (VSM), una herramienta que se utiliza para determinar las cantidades de materia prima en un flujo del proceso y de esta manera expresarlas de forma gráfica para facilitar su seguimiento y entendimiento, haciendo evidente en ella los cuellos de botella.

Para poder realizar el VSM fue necesaria la identificación de todas las actividades que lo componen, así como la ejecución de la toma de tiempos y de la tabla de suplementos para determinar el tiempo estándar de cada actividad que se refiere al tiempo que toma realizar una operación en un proceso productivo. Como para este proyecto es prioridad detectar en qué parte del proceso se encuentran cuellos de botella y los errores en la calidad, los indicadores utilizados buscaban conocer el tiempo entre cada unidad producida, tiempo total de una operación, y porcentaje de unidades con la calidad deseada al primer intento. Esta herramienta también se utiliza para entender cómo se manejan las órdenes de compra y cuánto tiempo tarda la empresa en completar un pedido, lo que se realiza de acuerdo al Lead Time (tiempo entre la recepción de una orden y el despacho de la misma). Para ver el VSM ver Anexo 3.

Con la información obtenida y con el fin de conocer el proceso a mayor profundidad se realizaron las siguientes herramientas:

- ❖ Diagrama de operaciones: El diagrama de operaciones o de proceso muestra la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, materiales y tiempos que se utilizan en un proceso, desde que llega la materia prima hasta que se empaqueta el producto terminado. Para realizar este diagrama se utilizan dos símbolos; un cuadrado y un círculo, los cuales representan inspecciones y operaciones respectivamente. Las operaciones suceden cuando hay transformación de materia prima y las inspecciones ocurren cuando se examina la materia para determinar su cumplimiento con un estándar de calidad.

Inicialmente se realiza una línea horizontal que indica que las materias primas o insumos necesarios entran al sistema para realizar cada una de las operaciones. Estas líneas serán colocadas cada vez que la materia prima ingrese al proceso. Los tiempos serán situados al lado izquierdo de cada símbolo según corresponda.

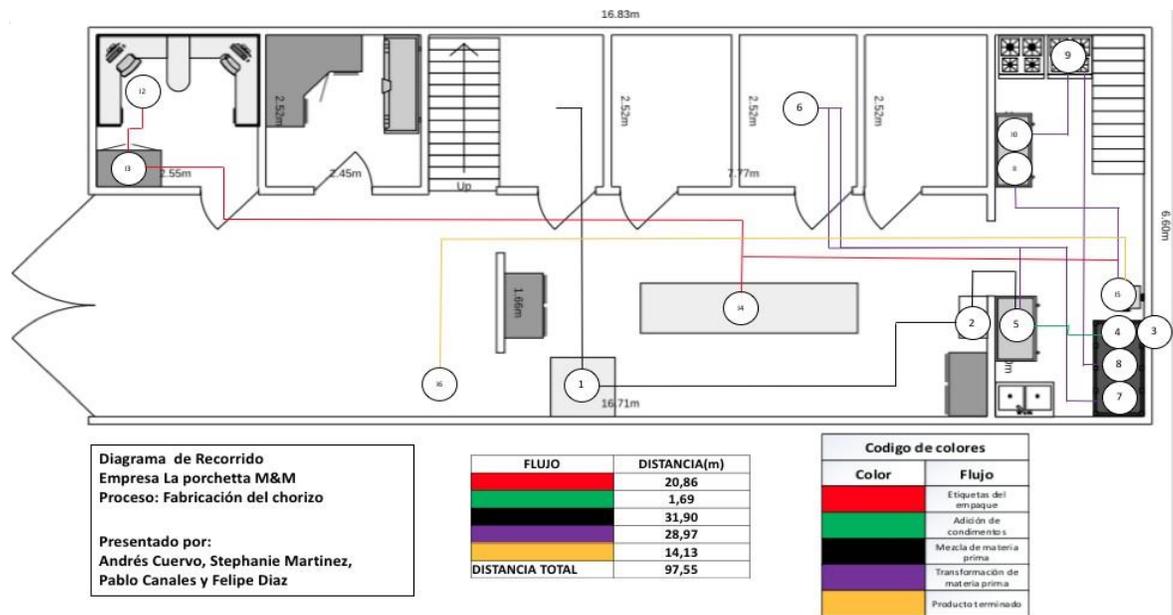


Codigo de colores	
Color	Flujo
Red	Etiquetas del empaque
Green	Adición de condimentos
Black	Mezcla de materia prima
Purple	Transformación de materia prima
Yellow	Producto terminado

Diagrama de Operaciones Actual				
Elaborado por:	Andrés Cuervo, Stephanie Martínez, Pablo Canales y Felipe Díaz			
Numero de Operaciones	16	Tiempo Total de Operacion	1602.32 Min	Tiempo Total del proceso: 1606.14 Min
Numero de Inspecciones	3	Tiempo Total de Inspecciones	3.82 Min	

Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

- ❖ **Diagrama de flujo:** El diagrama de flujo de proceso muestra además de las operaciones e inspecciones, retrasos, transporte y almacenamiento, situaciones a las que el producto se expone cuando recorre la planta. Para realizar este diagrama se utilizan además de los símbolos de inspección y operación, una flecha que representa transporte, una letra D mayúscula para el retraso, el cual ocurre cuando el producto no puede ser procesado inmediatamente en la próxima estación de trabajo, y un triángulo para el almacenamiento. El diagrama de flujo se encuentra en el Anexo 3.
- ❖ **Diagrama de recorrido:** El diagrama de recorrido es un esquema de distribución de planta en un plano bidimensional o tridimensional a escala, el cual muestra en donde se realizan todas las actividades del proceso. La ruta de los movimientos se señala por medio de líneas, cada actividad es identificada y localizada en el diagrama con el símbolo correspondiente y numerada. Puede realizarse para seguimiento al material o a los trabajadores.



Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

- ❖ Diagrama de relación y precedencia: Este diagrama nos muestra restricciones reales en el orden cronológico de las operaciones. Esto se hace mostrando las tareas en orden descendente de tal modo que se pueda observar cuáles deben hacerse como prerequisite de otras, para así identificar las dependencias entre operaciones. El diagrama de relación y precedencia se encuentra en el Anexo 3.
- ❖ Estudio de tiempos y movimientos del proceso: El estudio de tiempos y movimientos es una técnica de medición del trabajo empleada para registrar los tiempos y ritmos de trabajo correspondientes a los elementos de una tarea definida, efectuada en condiciones determinadas y para analizar los datos con el fin de averiguar el tiempo requerido para efectuar la tarea según una norma de ejecución preestablecida.

Primero, se realizó la toma de medidas de tiempos con cronómetro de cada una de las operaciones consignadas en el diagrama de operaciones. Cabe resaltar que para mayor precisión se dividió cada operación en distintas sub-operaciones que la componían logrando tener una mayor precisión en los tiempos. Aunque no era necesario tomar 30 mediciones por operación, realizamos este tamaño de muestra para obtener una distribución de probabilidad confiable. Adicionalmente, los tiempos fueron tomados por cada canasta en las operaciones de pesaje, molido, condimento, mezclado, embutado, amarrado, cocinado y cortado. Para las operaciones de empaclado y sellado al vacío se manejaron canastas terminadas que constaban de 70 empaques cada una.

Según los datos registrados, se obtuvo el tiempo total y mediante observación se registró el Rating Factor para estabilizar el tiempo promedio y así obtener el tiempo normal; para finalizar con el tiempo estándar se calculó un suplemento teniendo en cuenta variables y parámetros tales como las tolerancias constantes, la iluminación, las condiciones atmosféricas, la atención estricta, el nivel de ruido, el esfuerzo mental y la monotonía. El estudio de tiempos se encuentra en el Anexo 4.

- ❖ Balanceo de línea: El balanceo de línea es una herramienta que permite efectuar iteraciones de la distribución del proceso con el fin de encontrar el número de operarios óptimos necesarios para cada

actividad. Su objetivo principal es lograr igualar los tiempos de operación en las diferentes estaciones que lo componen el proceso productivo.

4.3 Analizar:

Después de utilizar las diferentes herramientas de ingeniería industrial y tomando toda la información del proceso productivo del chorizo paisa, se analizó cada uno de los hallazgos con el fin de encontrar oportunidades de mejora que permitieran disminuir los productos defectuosos y mejorar la producción. A continuación se examinará cada una de las herramientas.

- Mediante el VSM, se pudo determinar que el proceso de producción de chorizo paisa contaba con dos operaciones donde era posible intervenir para mejorar la producción, así como también la implementación de un sistema Kanban para poder hacer un mejor seguimiento a la materia prima. El proceso actual de la empresa consta de una producción semanal de cuatro canastas de materia prima la cual pesa 120 kilogramos (entre carne de res y de cerdo), y son transformadas en Chorizo Paisa pasando por diferentes operaciones donde se le agregan otros tipos de materia prima como lo son el condimento y la corea artificial. Al final de la producción, el resultado obtenido es de aproximadamente 2800 chorizos, donde en promedio 19 son productos defectuosos.
- Basándose en el diagrama de recorrido, se encontraron dos inconvenientes que no permitieron encontrar nuevas propuestas de mejora. Primero, el proceso está organizado con una distancia adecuada entre operaciones. Segundo, existen restricciones para poder proponer una distribución de planta libremente porque la empresa se divide en tres zonas: cuartos fríos, zona fría y zona caliente, y no es posible la manipulación de productos cárnicos en temperaturas superiores a los 15 grados centígrados, por este motivo ciertas operaciones tales como la cocción no se pueden realizar dentro de la zona fría.
- Al analizar el diagrama de relación y precedencia se observa que cada operación requiere que su antecesora sea realizada, por lo tanto no es susceptible a cambios.
- El balanceo de línea nos permite concluir que actualmente el personal que trabaja en la línea de producción del chorizo consta de 4 empleados y son más que suficientes para lograr cumplir la demanda de 16 canastas mensuales y podrían ser capaces de producir 18,48 canastas por mes. Después de realizar las iteraciones y buscar el mejor porcentaje de ocupación de los operarios, sería posible cumplir con la demanda actual con dos empleados trabajando durante todo el tiempo destinado a la producción de chorizos, produciendo 17,46 canastas por mes. Sin embargo, no es factible ya que el flujo de condimentos requiere de una persona especial e irremplazable porque las medidas son secretas. Igualmente se necesita otro trabajador adicional para las operaciones de digitalización e impresión porque de acuerdo al manual de procesos de la compañía estas deben ser realizadas por un asistente y no un operario. Ver anexo 4.

Gracias a los datos obtenidos mediante los diagramas y mediciones, se tuvo conocimiento de cuáles herramientas Lean podrían ser aplicadas para tener una mejora continua en cada uno de los elementos que afectan al proceso de producción. A continuación, encontrará un listado de las herramientas propuestas

- 5S
- Kanban
- Takt-Time

- ❖ Kaizen
- ❖ TPM (Mantenimiento Productivo Total)
- ❖ AMEF

Adicional a las herramientas Lean, se decidió realizar una simulación por medio del software Flexsim, en el cual, por medio de corridas de producción, permitiría obtener datos resultantes de las propuestas de mejoras y tomar decisiones al comparar con los datos tomados del proceso actual.

4.4 Mejorar

Aprovechando la fase de análisis de las herramientas de ingeniería de procesos, se determinaron una serie de propuestas (ver anexo 5), adicionalmente se procedió con la elaboración de las herramientas Lean previamente mencionadas con la finalidad de determinar nuevas mejoras que se aplicarán y simularán en el Flexsim.

- ❖ 5s: Una de las principales metodologías que deben ser aplicadas en un proceso de Lean Manufacturing, es la llamada “Metodología de las 5s”. Esta tiene como objetivo principal minimizar el desperdicio, crear las condiciones de trabajo que permitan realizar las labores de forma organizada, limpia y ordenada, creando un ambiente productivo más eficiente y seguro, base para la implementación de una manufactura esbelta. Lo anterior, se logra reforzando los hábitos y el comportamiento de los trabajadores, creando así un ambiente de trabajo productivo y eficiente.

Esta metodología se compone básicamente de cinco principios fundamentales: Seri, Seiton, Seisó, Seiketsu y Shitsuke. Cada una de estas 5s fue implementada en la empresa, contribuyendo a mejorar el orden, limpieza y organización de cada uno de los procesos, aplicando herramientas como Andon “control visual”, listas de verificación e instructivos. (Ver anexo 7)

Adicionalmente, se realizó una entrevista a la Jefe de producción en donde contaba cuál ha sido su experiencia y cómo estas metodologías han ayudado no solo a la empresa, sino a los operarios mismos a facilitar su labor en la compañía. (Ver anexo 9)

- ❖ Kanban: Esta herramienta es una guía para determinar la trazabilidad del proceso desde que inicia hasta su distribución y así tener un mayor control. Se decidió implementar esta herramienta puesto que la empresa no cuenta con un proceso que cumpla esta función. Para implementar Kanban en el proceso del chorizo paisa se identificaron las tres materias primas, utilizando tres cordeles de diferentes colores para diferenciar los tipos de carne (Ver Tabla 7):

Tabla 7. Metodología Kanban tipo de carne

Materia Prima	Color
Cordón de Lomo	Amarillo
Mota de res	Naranja
Mota de cerdo	Azul

Fuente. Propia

Tabla 8. Metodología Kanban día de pedido

Día	Color	Día	Color
Lunes	Rosado	Jueves	Rojo
Martes	Verde	Viernes	Violeta
Miércoles	Gris	Sábado	Negro

Fuente. Propia

Además, fue indispensable saber qué día arribó el pedido de la materia prima, con el fin de conocer el tiempo de maduración de esta. Por esto, se utilizaron seis cordeles de diferentes colores, identificando los seis días de la semana que funciona la planta (Ver Tabla 8).

- ❖ Takt-Time: Ayuda a determinar el tiempo que debe pasar entre la producción de un producto en comparación con el siguiente para así garantizar el cumplimiento de la orden del cliente. Para calcular el Takt-Time es necesario determinar la cantidad de horas por turno, el número de turnos diarios que se utilizan para realizar el producto y cuántos días a la semana se realiza este proceso. Después de determinar estos tres factores es necesario especificar cuánto tiempo se desperdicia en

paradas programadas. Dichas paradas se pueden determinar como paradas por mantenimiento, técnicas, y por comida. Determinados todos estos tiempos, es posible calcular el tiempo de producción que va a ser igual al tiempo bruto de producción menos el tiempo de paradas programadas. Finalmente, el Takt-Time se calcula dividiendo este tiempo por la demanda semanal. Como se puede apreciar en las tablas, el tiempo entre cada producto terminado debe ser de aproximadamente 1,79 bolsas de 10 unidades de chorizo paiza por minuto. La empresa cumple actualmente con este tiempo de producción y tiene margen para suplir nuevas demandas.

Tabla 9. Takt-Time

Tiempo bruto de producción = Número de horas por turno x Numero de turnos diarios x Número de días semanales	
TB	10 * 1 * 1
TB	10
Paradas programadas = Paradas por mantenimiento + Paradas Técnicas + Paradas por comida	
PP	0,25 + 0,25 + 1
PP	1,5
Tiempo de producción = Tiempo bruto de producción - paradas programadas	
TP	10 - 1,5
TP	8,5
Takt Time =	10 - 1,5
	284
Takt Time =	0,029929577
	1,79 unid x minuto

Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

- ❖ Kaizen: Esta filosofía involucra a todas las personas dentro de una organización las cuales reconocen una necesidad hacia el cambio constante. El objetivo fundamental del Kaizen es la eliminación de los obstáculos que impiden el uso más eficiente y seguro de todos los recursos que posee la empresa, mediante la implementación de pequeñas mejoras.

Para efectuar Kaizen en la empresa La Porchetta, fue necesario aplicar una herramienta PDCA (Plan, Do, Check, Action) enfocada a reducir errores en el proceso de producción. (Ver Anexo 7)

- ❖ TPM: El mantenimiento productivo total es una herramienta que busca reducir la cantidad de errores y demoras en un proceso de producción por culpa de las máquinas y el mal estado de estas. Dentro de la empresa La Porchetta, las máquinas que deben tener cuidado especial son la embudidora, la amarradora, la mezcladora, el molino y la máquina de sellado al vacío. Las máquinas son usadas durante la jornada de producción y es indispensable que terminen limpias y listas para usar al día siguiente. Esta herramienta busca mediante 6 pasos implementar una política de limpieza y mantenimiento, son ayuda de los operarios (Ver Anexo 7).
- ❖ AMEF: Análisis de Modo y Efecto de Fallos (AMEF) es un método y una forma de identificar problemas potenciales (errores) y sus posibles efectos en un SISTEMA para priorizarlos y poder concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta.

Después de recolectar información del proceso, se realiza un listado de todas las posibles fallas. A cada una de ellas se le otorga la calificación entre 1 y 10 puntos según la severidad, ocurrencia y detección, y para finalizar se obtiene el RPN (Risk Priority Number), que es el producto de multiplicarlas.

Cuando el RPN es superior a 100 es un claro indicador de que deben implementarse acciones de prevención o corrección para evitar la ocurrencia de las fallas de forma prioritaria. Sin embargo, el objetivo general es el de tratar todas las fallas; muchos expertos coinciden en que un RPN superior a 30 requiere de un despliegue enfocado en el tratamiento del modo de falla.

Al obtener los resultados de AMEF se tomarán acciones en las operaciones de:

Cocción: Debido a la falla de sobre cocción en donde se pierde una canasta de chorizo, se tomarán acciones de control mediante control visual, esto quiere decir que se marcarán en el termómetro las temperaturas permitidas y las que no facilitando la inspección por parte del operario.

Cocción: Al momento de retirar los chorizos de la olla se les aplica una fuerza que los rompe ya que estos son jalados. Por tal motivo, se incluyó una nueva herramienta que elimina esa fuerza gracias a una malla metálica resistente a altas temperaturas en la cual son depositados los chorizos para ser cocinados.

Corte: Posiblemente una de las mayores causantes de falla es el instrumento con el cual se realiza la operación de corte. Por eso se realizó un ANOVA que determinó que al cambiar el cuchillo por unas tijeras, el desperdicio de chorizos disminuyera y así se redujera la posibilidad de falla. (Ver Anexo 7)

- ❖ Flexsim: Debido al tiempo limitado con el que se contaba para la implementación de las herramientas de mejoramiento, se decidió elaborar una simulación en un software especializado llamado Flexsim que permite establecer todos los parámetros de la producción, las máquinas a utilizar y el espacio físico de la planta logrando tener un modelo acertado del comportamiento del proceso productivo, así mismo este modelo permitiría evaluar las mejoras planteadas a largo plazo para verificar su efectividad. Al crear la simulación del proceso de producción actual, el programa permite obtener información del comportamiento de las colas, la identificación del cuello de botella y el desplazamiento del operario por la planta a través del tiempo. El proceso de identificar cada movimiento que realiza el operario en la planta para lograr simularlo en el software permitió detectar movimientos innecesarios y recorridos que podrían ser eliminados con un objeto que permitiera transportar más de una canasta de producto a la vez.

La realización de la simulación requirió de diversos pasos para lograr elaborar una representación confiable del proceso productivo a intervenir. En primer lugar, se realizó una medición de las instalaciones de la fábrica y de las máquinas que eran utilizadas en cada uno de los procesos de la elaboración de chorizo paisa. Luego fue necesario contar con un mapa de flujo de valor para entender el proceso de producción. Finalmente, se utilizó un software de modelado para poder simular el entorno de la planta con las medidas exactas que permitieran realizar un modelo real del ambiente de la empresa.

Por otro lado, se realizó un seguimiento detallado a las operaciones del proceso productivo apoyándose en las herramientas utilizadas anteriormente, especialmente el diagrama de flujo y el de operaciones. Adicionalmente, se analizó el diagrama de recorrido para así determinar cuál era la ruta que seguían los operarios en la planta y así poder agregarlo a la simulación. Seguidamente, se tomaron los datos del estudio de tiempos y movimientos explicado anteriormente y se introdujeron en un software de ajuste de distribución llamado ExpertFit para así obtener la distribución de probabilidad con la cual se comporta cada una de las máquinas y operaciones del proceso de producción de chorizo paisa.

De esta manera, se lograron calcular los parámetros necesarios para poder simular el comportamiento de una orden de producción teniendo en cuenta el tiempo que requiere cada una de las operaciones y transporte correspondiente. Luego se realizó un análisis para poder identificar la naturaleza de cada

proceso teniendo en cuenta las diferentes opciones de recursos que permite el software de simulación Flexsim; el procesador, el combinador y el separador. Así mismo, debido al manejo de las canastillas y las bolsas termo encogibles durante el proceso, era de vital importancia simular el tiempo y los recorridos que implica ubicar el producto en la canastilla y desempacar de la misma por esta razón se utilizaron recursos adicionales. También, se establecieron los horarios de los empleados y su capacidad de carga para lograr determinar cómo era su comportamiento durante la producción.

Posteriormente, se utilizó una herramienta de Flexsim que permite establecer las estadísticas del proceso suministrando información sobre la distancia recorrida por los operarios, el número de chorizos defectuosos, el tiempo total de producción y el tiempo de transporte entre operaciones. Finalmente, se realizaron 52 iteraciones de una corrida de producción que representa el número de veces que se produce chorizo al año y que representa dos jornadas laborales por corrida desde que entra la materia prima hasta que el producto es despachado al cliente. Ver anexo 6.

Por otra parte, se realizó un análisis a las mejoras propuestas en donde se clasificaban dependiendo de la factibilidad y en compañía de las directivas de la empresa, se eligieron 6 alternativas que podrían mejorar el proceso productivo para reducir el tiempo de producción y la cantidad de chorizos defectuosos. De esta forma, se añadieron las alternativas a la simulación aumentando la capacidad de carga del operario principal ya que utilizará una carretilla metálica que permitirá transportar las 4 canastillas de una producción al mismo tiempo, aumentando el tiempo de proceso de la cocción (debido a que se disminuye la temperatura de cocido), cambiando la ubicación del cuarto frío y disminuyendo la probabilidad de chorizos defectuosos. Por último, se realizaron el mismo número de iteraciones de la simulación actual y se obtuvieron los estadísticos para así poder comparar los dos modelos. La simulación se encuentra en el siguiente link: <https://drive.google.com/open?id=1P0WRsYFC6dyVnCSqI2BX1oxbUYurBqQ4>

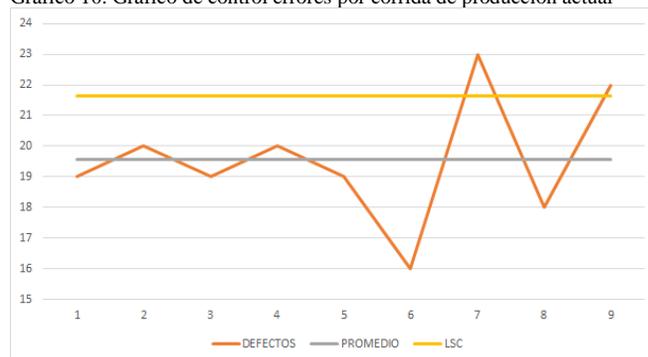
4.5 Controlar

Como último paso de la metodología y después de realizar el análisis de la simulación, se continuó con el control del proceso de producción propuesto bajo dos procedimientos:

- Gráficos de control:
Los gráficos de control sirven para determinar las variaciones de determinada característica deseada. En este caso se pretende analizar las distintas variaciones que se tienen respecto a cantidad de chorizos defectuosos por canasta al final del proceso.

Para determinar esto, se utilizaron los datos obtenidos en los gráficos de control, donde se sumaron todas las unidades defectuosas durante el proceso de producción. Al tener el resultado de la media y la desviación estándar, se generó el límite superior y con esto se creó el gráfico a continuación. (Ver Anexo 10)

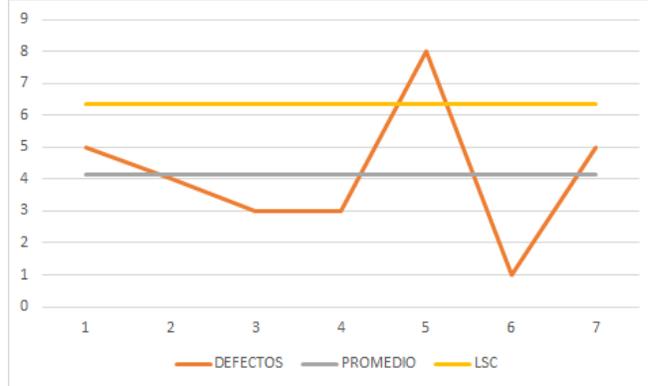
Gráfico 10. Gráfico de control errores por corrida de producción actual



Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

Como se puede apreciar en el gráfico 10, el intervalo en el cual se mueven actualmente las unidades defectuosas por la empresa es elevado e incluso en dos mediciones se sobrepasa el límite superior. En total, de 9 corridas de producción, 2 están por fuera de los límites. Esto quiere decir que el proceso no es controlado y que por ende es necesaria una intervención.

Gráfico 11. Gráfico de control errores por corrida de producción propuesto



Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

Después de la intervención realizada, se lograron reducir los chorizos defectuosos por corrida de producción en más de un 75%. Aunque el proceso aún no se puede considerar como controlado, se disminuyó la cantidad de mediciones por encima del promedio.

- Indicadores de Gestión:

Los Indicadores de Gestión son parámetros que miden el comportamiento y desempeño de un proceso, los cuales inicialmente serán comparados con los datos del proceso actual con el objetivo de tomar acciones correctivas o preventivas según el caso.

Los indicadores a seguir son los siguientes:

PORCENTAJE DE CHORIZOS DEFECTUOSOS EN UNA CORRIDA DE PRODUCCION

$$\% \text{ chorizos defectuosos} = \left(\frac{\text{chorizos defectuosos en la corrida de producción}}{\text{producción Total de chorizos en la corrida de producción}} \right) * 100$$

PORCENTAJE DE CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MAQUINARIA

$$\% \text{ chorizos defectuosos en maquina} = \left(\frac{\text{cd selladora} + \text{cd embutidora} + \text{cd amarradora} + \text{cd coccion}}{\text{Total de chorizos defectuosos en la corrida de producción}} \right) * 100$$

PORCENTAJE DE CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MALA MANIPULACIÓN POR PARTE DEL OPERARIO

$$\% \text{ chorizos defectuosos por mala manipulacion} = \left(\frac{\text{cd en operación de corte} + \text{cd en operación de empaque}}{\text{Total de chorizos defectuosos en la corrida de producción}} \right) * 100$$

CANTIDAD DE MATERIA PRIMA DESPERDICIA DA EN EL PROCESO

$$\text{Materia prima desperdiciada} = (\text{numero de chorizos defectuosos en corrida de producción} * \text{peso unidad de chorizo})$$

PORCENTAJE DE DEMANDA SUPLIDA SEMANALMENTE

$$\% \text{ demada suplida} = \left(\frac{\text{producción Total de chorizos en la corrida de producción}}{\text{Cantidad de chorizos producidos semanalmente}} \right) * 100$$

Adicionalmente, se le otorgó a la empresa una macro en Visual Basic la cual les permitirá ingresar los datos del proceso de producción en un formulario con el fin de ahorrar tiempo y reducir fallas al momento de calcularlos. Este formulario estaría compuesto por los siguientes campos: producción total, demanda semanal y número de chorizos dañados en las operaciones críticas.

Otra función de la macro es ir guardando los resultados en una tabla para que cada vez que haya una corrida de producción se puedan comparar los indicadores obtenidos con los anteriores con el fin de tomar acciones según el caso. (ver anexo 10)

5. Resultados

Para llegar a la proposición de nuevas mejoras para aumentar la productividad y disminuir los desperdicios de la empresa La Porchetta, se desarrollaron diferentes herramientas de ingeniería industrial y luego se realizó una simulación computarizada usando el Software Flexsim para determinar si eran efectivas o no. Se generaron 52 iteraciones para el modelo actual y el mismo número para el modelo propuesto, logrando simular las corridas de producción que se realizan a lo largo de un año. Los indicadores que se tuvieron en cuenta, fueron:

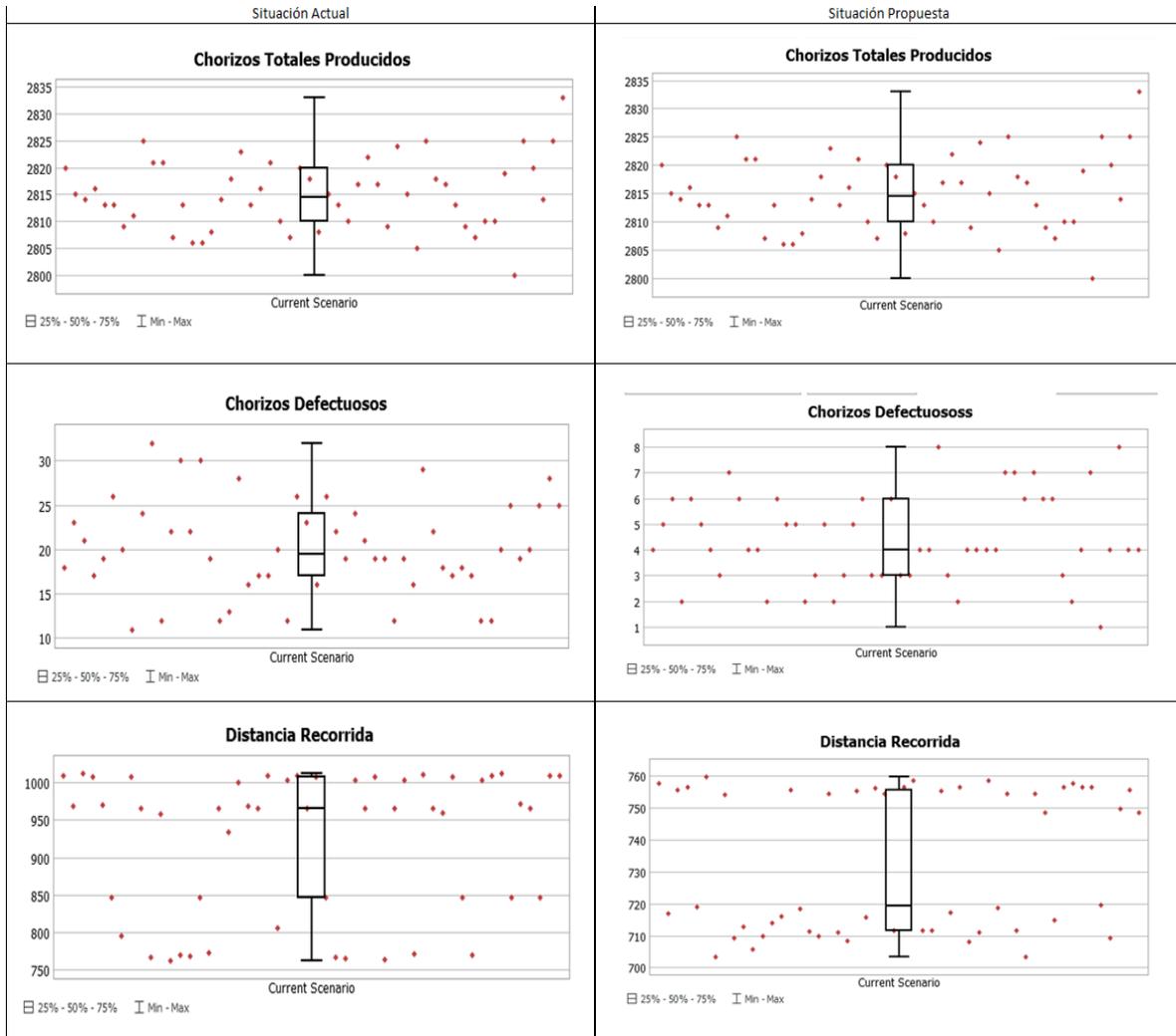
- Distancia recorrida por los operarios encargados del proceso de producción
- Número de chorizos producidos en una jornada de producción
- Número de chorizos defectuosos al final de una jornada de producción

Con base en el objetivo general del trabajo de grado que buscaba aumentar la productividad de chorizos a través de herramientas Lean Manufacturing, se logró cumplir con los anteriores indicadores como se muestra en el Gráfico 12.

Al analizar este gráfico, se puede concluir que la cantidad de chorizos defectuosos por jornada de producción disminuyó en un promedio de 19 a 4 chorizos, debido a las mejoras aplicadas en la simulación propuesta. Adicionalmente, el 50% de las jornadas de producción, oscilaban entre 17 y 24 chorizos defectuosos, mientras en la propuesta dicho resultado cambió a 3 y 6 respectivamente.

Otro aspecto importante es la reducción de las distancias recorridas por los operarios en la jornada de producción. El 50% de las jornadas de producción actualmente oscilan entre 850 y 1.010 metros y las mejoras hicieron que los nuevos recorridos estuvieran alrededor de 711 y 755 metros.

Cabe resaltar que la producción total de chorizos no aumenta porque es suficiente para suplir la demanda actual, pero se disminuyeron los recorridos de los operarios reflejándose en un menor tiempo de producción total, además al disminuir los chorizos defectuosos por jornada de producción, se aumentaron los producidos en aproximadamente 15 unidades por corrida y 780 unidades al año, mejorando la productividad del proceso.



Fuente Propio con resultados obtenidos de la simulación en Flexsim

Adicional a esto, los indicadores realizados se muestran a continuación en las siguientes tablas que tienen como finalidad comparar las dos situaciones en la empresa.

Tabla 10. Resultados indicadores actual

CHORIZOS DEFECTUOSOS EN UNA CORRIDA DE PRODUCCIÓN	CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MAQUINARIA	CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MALA MANIPULACIÓN POR PARTE DEL OPERARIO	MATERIA PRIMA DESPERDICADA EN EL PROCESO (Gramos)	CHORIZOS DEMANDADOS
0,75%	71%	29%	1470	102,15%
0,71%	75%	25%	1400	101,16%
0,60%	65%	35%	1190	100,79%
0,68%	74%	26%	1330	99,64%
0,75%	76%	24%	1470	102,26%

Fuente. Propia, realizado con la macro entregada a la empresa

Tabla 11. Resultados indicadores propuestos

CHORIZOS DEFECTUOSOS EN UNA CORRIDA DE PRODUCCIÓN	CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MAQUINARIA	CHORIZOS DEFECTUOSOS POR MALA MANIPULACIÓN POR PARTE DEL OPERARIO	MATERIA PRIMA DESPERDICIADA EN EL PROCESO (Gramos)	CHORIZOS DEMANDADOS
0,14%	75%	25%	280	100,47%
0,18%	80%	20%	350	100,07%
0,18%	80%	20%	350	100,21%
0,14%	100%	0%	280	102,19%
0,07%	100%	0%	140	100,36%

Fuente. Propia, realizado con la macro entregada a la empresa

Como se puede apreciar en las siguientes tablas, se redujo la cantidad de chorizos defectuosos, así como también se redujo la cantidad de materia prima desperdiciada. Los errores por maquinaria hacen referencia a errores que no son causados por el operario, como la temperatura o el sellado al vacío. Los errores por mala manipulación han sido reducidos de una manera considerable gracias a las tijeras y a una mejor concientización de que cada chorizo perdido tiene un gran impacto al final del año. El cumplimiento de las órdenes se mantiene igual, lo que significa que no se ha afectado el cumplimiento con la demanda del cliente.

Análisis Financiero: El valor presente neto es un criterio de inversión que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o del dinero invertido para conocer si se va a ganar, perder o mantener. La inversión del nuevo proyecto se acepta si el VPN es positivo; esto quiere decir que se recuperará la inversión inicial. Por otro lado, la tasa interna de retorno es el interés o rentabilidad que ofrece una inversión y debe ser mayor al costo de oportunidad, que en el caso de cárnicos La Porchetta, equivale a una tasa mensual del CDT Bancolombia (la cual corresponde al 0,15%).

Para realizar el cálculo del valor presente neto (VPN) fue necesario calcular el costo de inversión y la tasa de oportunidad. El costo de inversión se determinó al sumar el costo de todas las propuestas que se decidieron realizar en la empresa, cumpliendo con el presupuesto establecido por la empresa. Este valor se calculó en un costo total de \$694.700 pesos. El costo de oportunidad se determinó teniendo en cuenta que la empresa actualmente depositaría en un CDT el presupuesto para las mejoras.

Por otro lado, el flujo de caja se calculó al identificar cuántos chorizos en promedio salían defectuosos por jornada de producción antes y después de las mejoras propuestas. La diferencia entre ambos escenarios es de 15,6 chorizos por jornada de producción, en un mes se realizan 4 jornadas de producción, y cada chorizo a precio de venta de \$1.400 pesos, por lo tanto, se calcula que el flujo de caja es de \$87.360 pesos.

Tabla 13. Análisis Financiero

Tasa de interés		0,15%											
Inversión Inicial	Flujos de Caja												
Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12	
\$ 694.700	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	\$ 87.360	
VPN	\$ 87.229	\$ 87.099	\$ 86.968	\$ 86.838	\$ 86.708	\$ 86.578	\$ 86.448	\$ 86.319	\$ 86.189	\$ 86.060	\$ 85.931	\$ 85.803	
VPN	\$ 343.470												
TIR	6,98%												

Fuente. Propia. Realizada con datos proporcionados por la empresa La Porchetta

Al tener un VPN positivo se traduce en que el proyecto es viable y debe realizarse, ya que la inversión se recupera en 8 meses. Adicionalmente, la tasa interna de retorno (TIR) es de 6,98% mensual y al ser mayor que la tasa de oportunidad, que es del 0,15%, se aceptará el proyecto debido a que esta dará una inversión mayor al costo de oportunidad.

6. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones:

- Aunque el Pareto cualitativo muestra que las operarias consideran las tareas de amarre y empaque como las más complejas, el Pareto cuantitativo de causas mostró que en estas operaciones ocurren muy pocas fallas. Esto quiere decir que la complejidad de la tarea no es proporcional con la cantidad de errores cometidos.
- Mediante el desarrollo de los diagramas de Pareto no fue necesario intervenir todas las operaciones del proceso de producción debido a que la totalidad de las fallas ocurren durante las operaciones que hacen parte del flujo de transformación de materia prima.
- A través del VSM se pudo determinar que el proceso de producción de chorizo paisa está implementado de manera estandarizada dentro de la empresa, pero así mismo mostró las falencias del proceso en cuanto al desorden (Kanban), transportes innecesarios, falta de control sobre la materia prima y reprocesos.
- Kaizen fue la herramienta que tuvo un mayor impacto sobre los chorizos defectuosos, pues por medio de las ANOVAs se comprobó que su implementación reducía en más de un 75% las unidades defectuosas. Esto pudo ser nuevamente comprobado en la simulación generada en el Software de Flexsim.
- Al implementar 5s dentro de la empresa, no solo se mejoró el proceso de producción de chorizo paisa, sino que tuvo un impacto significativo dentro de la planta que además de quedar mejor organizada ahora cuenta con herramientas que facilitan el trabajo del empleado, siendo más limpio y ordenado.
- El AMEF y los Paretos mostraron exactamente el mismo diagnóstico, lo que facilitó, por medio de la herramienta Kaizen, atacar los factores críticos dentro del sistema de producción y mejorando así el proceso productivo.
- La simulación mostró resultados favorables en comparación con la situación actual. Estos resultados son una prueba tangible para la empresa del cambio positivo que tendrá su proceso productivo y una razón para la implementación de estos.
- Realizar una simulación en un Software como Flexim, permitió probar distintas soluciones en un corto tiempo, sin interrumpir el proceso de producción y a un costo muy bajo.
- La inversión realizada por la empresa La Porchetta es baja ya que gastó el 8,42% del presupuesto máximo. Inclusive los dos indicadores financieros analizados arrojaron resultados favorables, la tasa interna de retorno permite concluir que esa inversión se recupera entre 8 y 9 meses y el valor presente neto confirma la factibilidad del proyecto ya que esta tasa es mayor a la tasa de oportunidad en la cual se invierten las utilidades de la empresa.
- La metodología Lean Manufacturing busca eliminar desperdicios a un bajo costo. Como quedó demostrado en este trabajo, se logró reducir la cantidad de unidades defectuosas a un muy bajo costo y sin necesidad de comprar maquinaria nueva, eliminar partes del proceso, o crear nuevas estaciones.

Recomendaciones:

- Se recomienda el uso de la macro dejada a la empresa, para que así ellos puedan llevar un registro de sus corridas de producción. Adicional a esto, deben llevar un registro de los gráficos de control para mirar el estado actual del proceso.
- Se recomienda seguir utilizando la metodología de mejora continua dentro de la empresa, para así poder mejorar progresivamente los procesos realizados. Herramientas como Kaizen y 5S pueden ser utilizadas nuevamente en cualquier momento.

- La empresa puede aumentar actualmente su capacidad de producción. Por este motivo, se recomienda aumentar su demanda de chorizos, ya que es el producto que más utilidad les genera.
- Es importante concientizar a los operarios de la razón por la cual es necesaria la implementación de la metodología Lean Manufacturing con el fin de que los resultados sean los esperados. Sin la ayuda de los operarios las herramientas Lean no tendrán la misma efectividad.

7. Glosario

FEDEGAN: Sigla perteneciente a la Federación Colombiana de Ganaderos.

FIRA: Sigla perteneciente a la Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura

INVIMA: Es el Instituto Nacional de Vigilancia de Medicamentos y Alimentos, es una entidad de vigilancia y control de carácter técnico científico, que trabaja para la protección de la salud individual y colectiva de los colombianos, mediante la aplicación de las normas sanitarias asociada al consumo y uso de alimentos, medicamentos, dispositivos médicos y otros productos objeto de vigilancia sanitaria.

ISO: Sigla perteneciente a la Organización Internacional para la Estandarización

Lean Manufacturing: Es “una filosofía /sistema de gestión sobre cómo operar un negocio”. Enfocando esta filosofía/sistema de herramientas en la eliminación de todos los desperdicios, permitiendo reducir el tiempo entre el pedido del cliente y el envío del producto, mejorando la calidad y reduciendo los costos.

OSHSAS: Sigla perteneciente en inglés a Occupational Health and Safety Assessment Series (Salud Ocupacional y Series de Evaluación de la seguridad)

SMED: Sigla perteneciente a Single Minute Exchange of Die

USDA: Sigla perteneciente a United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de Estados Unidos)

VSM: Sigla perteneciente a Value Stream Map (Mapa del flujo del valor)

Pareto: El diagrama de Pareto es una gráfica para organizar datos de forma que estos queden en orden descendente, de izquierda a derecha y separados por barras. Permite asignar un orden de prioridades.

Flexsim: Flexsim es un software para la simulación de eventos discretos, que permite modelar, analizar, visualizar y optimizar cualquier proceso industrial, desde procesos de manufactura hasta cadenas de suministro. Además, Flexsim es un programa que permite construir y ejecutar el modelo desarrollado en una simulación dentro de un entorno 3D desde el comienzo.

Expertfit: Es un software de distribución ajustada que encuentra una distribución fácil. Una buena representación estadística puede ser medida por Expertfit y tiene mucha más precisión que un análisis hecho por hoja de cálculo.

Rating factor: La clasificación de desempeño se puede definir como el procedimiento en el cual el ingeniero de tiempo estudia el desempeño de los operadores bajo observación con el desempeño normal y determina un factor llamado factor de calificación.

Suplementos: Suplementos o Tiempos suplementarios, se considera el tiempo que se le concede al trabajador con el objetivo de compensar los retrasos, las demoras y los elementos contingentes que se presentan en la tarea o proceso.

SolidWorks: SolidWorks es un software CAD para modelado mecánico en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp.

8. Tabla de Anexos o Apéndices

No. Anexo	Nombre	Desarrollo	Tipo de Archivo	Enlace corto (https://goo.gl/)	Relevancia para el documento (1-5)
1	La Porchetta M&M	Propio	PDF	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	2
2	Panorama, Consumo, y Paretos	Propio	Excel	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	2
3	Value stream mapping y diagramas	Propio	PDF	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
4	Estudio de tiempos y Balanceo de Línea	Propio	Excel	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
5	Mejoras Lean	Propio	Excel	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
6	Flexsim Dashboard	Propio	Video	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
7	Herramientas Lean	Propio	PDF	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
9	Entrevista a trabajador	Propio	Video	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
10	Indicadores y Gráficos de control	Propio	Excel (Macro)	https://drive.google.com/drive/folders/1fwH3bErHHFhNsHtnXkFV234syfwQNSZS?usp=sharing	5
8	Simulación	Propio	Flexsim	https://drive.google.com/open?id=1P0WRsYFC6dyVnCSqI2BX1oxbUYurBqQ4	5

Referencias

Carne y Productos Cárnicos. (2016). Fao.org. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html>

De cada 100 pesos, 32 se destinan a comprar comida. (2016). Portafolio.co. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.portafolio.co/mis-finanzas/colombianos-destinan-gran-parte-de-su-salario-a-la-comida-499044>

Guevara, J. (2017). 15,2% aumentó la creación de empresas en el primer trimestre de 2017. Confecamaras.org.co. Recuperado el 1 Noviembre 2017, de: <http://www.confecamaras.org.co/noticias/522-15-2-aumento-la-creacion-de-empresas-en-el-primer-trimestre-de-2017>

Colombia, el tercer país más competitivo de Latinoamérica. (2015). elpais.com.co. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.elpais.com.co/economia/colombia-el-tercer-pais-mas-competitivo-de-latinoamerica.ht>

Alhuraish, I., Robledo, C., & Kobi, A. (2017). A comparative exploration of lean manufacturing and six sigma in terms of their critical success factors. *Journal Of Cleaner Production*, 164325-337. doi:10.1016/j.jclepro.2017.06.146

Colombianos gastan 50% del salario en alimentos y servicios. (2017). Vanguardia.com. Recuperado el 2 Noviembre de 2017, de: <http://www.vanguardia.com/economia/nacional/389531-colombianos-gastan-50-del-salario-en-alimentos-y-servicios>

Una empresa en Colombia vive en promedio 12 años. (2014). Dinero. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.dinero.com/empresas/articulo/mortalidad-empresas-colombia/200984>

Alfonso, K. (2017). Los colombianos comen 31 kilos de pollo, 18 de res y ocho de cerdo cada año. Larepublica.co. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <https://www.larepublica.co/economia/los-colombianos-comen-31-kilos-de-pollo-18-de-res-y-ocho-de-cerdo-cada-ano-2482001>

Lozano, R. (2017). Frigoríficos facturan \$ 4 billones en el país con la carne bovina. *El Tiempo*. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.eltiempo.com/economia/sectores/frigorificos-facturan-4-billones-en-colombia-con-carne-bovina-35566>

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. (2017). Es.wikipedia.org. Recuperado el 2 Noviembre de 2017, de: https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Agricultura_de_los_Estados_Unidos

Embutidos, un negocio con mercado para crecer. (2017). *Revista Alimentos - para la industria de alimentos en Colombia*. Recuperado el 2 Noviembre de 2017, de: <http://revistaalimentos.com/ediciones/ediciones-2014/edicion-45/sector-destacado-23/embutidos-un-negocio-con-mercado-para-crecer.htm>

Bembibre, V. (2009). Definición de ISO. Definición ABC. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <https://www.definicionabc.com/economia/iso.php>

¿Qué es SMED?. (Sin fecha). MTM Ingenieros. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://mtmingenieros.com/knowledge/que-es-smed/>

Lean Manufacturing. (Sin fecha). Leansolutions.co. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.leansolutions.co/conceptos/lean-manufacturing/>

¿Qué es la norma OHSAS 18001 Seguridad y Salud Laboral?. (Sin fecha). Bsigroup.com. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <https://www.bsigroup.com/es-ES/Seguridad-y-Salud-en-el-Trabajo-OHSAS-18001/>

Panorama Agroalimentario / Carne de bovino 2015. (2015). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/61948/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_Bovino_2015.pdf

Panorama Agroalimentario / Carne de bovino 2017. (2017). Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200639/Panorama_Agroalimentario_Carne_de_bovino_2017_1_.pdf

Consumo aparente per cápita anual (023). (2017). Fedegan.org.co. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/consumo-0>

¿Qué es norma ISO 27001?. (Sin fecha). 27001 Academy. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <https://advisera.com/27001academy/es/que-es-iso-27001/>

Cubillos, R. (2017). Colombia: de un magnifico café a un cerdo de excelencia. 3tres3.com. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: https://www.3tres3.com/situacion-mercado-porcino/colombia-de-un-magnifico-cafe-a-un-cerdo-de-excelencia_37553/

Producción de carne - Colombia (048). (2017). Fedegan.org.co. Recuperado el 2 Noviembre de 2017, de: <http://www.fedegan.org.co/estadisticas/produccion-0>

¿Sabes qué significa OHSAS?. (2015). Blog Calidad ISO. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <http://blogdecalidadiso.es/que-significa-ohsas/>

Escada Villalobos, I., Jara Valés, P., & Letzkus Palavecino, M. (2016). MEJORA DE PROCESOS PRODUCTIVOS MEDIANTE LEAN MANUFACTURING. *Trilogía*, 28(39), 26-55

Pérez-Vergara, I. G., Marmolejo, N., Mejía, A. M., Caro, M., & Rojas, J. A. (2016). Mejoramiento mediante herramientas de la manufactura esbelta, en una Empresa de Confecciones. *Ingeniería Industrial*, 37(1), 24-35

Tanco, M., Santos, J., Rodríguez, J. L., & Reich, J. (2013). Applying lean techniques to nougat fabrication: a seasonal case study. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 68(5-8), 1639-1654. doi:10.1007/s00170-013-4960-7

Das, B., Venkatadri, U., & Pandey, P. (2014). Applying lean manufacturing system to improving productivity of airconditioning coil manufacturing. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 71(1- 4), 307-323. doi:10.1007/s00170-013-5407-x

Atieh, A., Kaylani, H., Almuhtady, A., & Al-Tamimi, O. (2016). A value stream mapping and simulation hybrid approach: application to glass industry. *International Journal Of Advanced Manufacturing Technology*, 84(5-8), 1573-1586. doi:10.1007/s00170-015-7805-8

Tejeda, Anne Sophie; (2011). Mejoras de Lean Manufacturing en los sistemas productivos. *Ciencia y Sociedad*, XXXVI Abril-Junio, 276-310.

Garcia, J., & Sanchez, V. (2015). Diferencia entre Lean Management y Six Sigma.. Javier Garcia - Verdugo Sanchez. Recuperado el 1 Noviembre de 2017, de: <https://javiergarciaverdugosanchez.wordpress.com/2015/11/07/diferencia-entre-lean-management-y-six-sigma/>

Mandahawi, N., Fouad, R. H., & Obeidat, S. (2012). An Application of Customized Lean Six Sigma to Enhance Productivity at a Paper Manufacturing Company. *Jordan Journal Of Mechanical & Industrial Engineering*, 6(1), 103-109.

Lee, K., & Su, Y. (2013). Applying Six Sigma to Quality Improvement in Construction. *Journal Of Management In Engineering*, 29(4), 464-470. doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000155

SolidWorks. (s.f.). Recuperado 10 junio, 2018, de <https://es.wikipedia.org/wiki/SolidWorks>

Simulación de proceso mediante flexsim. (s.f.). Recuperado 4 junio, 2018, de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/20587/1/Simulacion_de_un_proceso_industrial_mediante_FlexSim.pdf

Expertfit Información general. (s.f.). Recuperado 2 abril, 2018, de <https://www.flexsim.com/es/expertfit/>

Performance rating. (s.f.). Recuperado 2 junio, 2018, de <http://nptel.ac.in/courses/112107142/9>

Estudio del trabajo. (s.f.). Recuperado 2 junio, 2018, de <https://sites.google.com/site/et111221057312211582/suplementos>

Valor presente neto. (s.f.). Recuperado 16 junio, 2018, de <http://economipedia.com/?s=valor+presente+neto>