

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
Editor & Compilador

SISTEMAS DE MANUFACTURA

PRIMERA EDICION MMXIX



Lima 2018

SISTEMAS
DE
MANUFACTURA
2018

SISTEMAS
DE
MANUFACTURA
2018

Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas
EDITOR & COMPILADOR

Sistemas de Manufactura

Editor: Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Dirección: Av. El Retablo 808 2do. Piso Urb. El Retablo, Comas. Lima-Perú

Correo electrónico: fjavierwongc@yahoo.es

Compilador: Dr. Francisco Javier Wong Cabanillas

Diseño y Redacción: Bach. Carlos Alberto Vega Vidal

ISBN: 978-612-00-4352-3

Primera edición digital: diciembre 2018

Libro electrónico disponible en: <http://ctscafe.pe>

**Análisis del modelo
6toc como la
integración de la
Teoría de
Restricciones, Lean
Manufacturing y Six
Sigma**



Juan Carlos Eyzaguirre Munarriz
Ingeniería Industrial - Pontificia Universidad Católica
del Perú Maestría en Docencia para la Educación
Superior - Universidad Andrés Bello, Chile
Doctorando en Ingeniería Industrial - Universidad
Nacional Mayor de San Marcos
Catedrático Universitario en Universidad Peruana de
Ciencias Aplicadas
Correo electrónico: jeyzaguirre@yahoo.com

Resumen: En el entorno de las empresas de manufactura, los cambios cada vez son más frecuentes y ello implica que sean dinámicas, pero generando que los negocios se tornen con ello cada vez más riesgosos por ser impredecibles. Bajo esas condiciones, se torna más difícil poder lograr, mantener y mejorar la ventaja competitiva. Para poder adaptarse a esos cambios y responder de manera eficaz a los stakeholders, las compañías deben realizar cambios estructurales de sus sistemas y organización desarrollando e implementando nuevos sistemas de información, estrategias de negocios, nuevos conceptos y métodos de gestión de procesos en empresas. En muchos casos, la aplicación de conceptos de negocios simples no es suficiente para resolver los cambios para mantener y mejorar el entorno de la empresa. Uno de los conceptos que pueden aplicarse con buenos resultados es la Teoría de Restricciones, técnica que se enfoca en los factores que restringen la producción en el proceso más lento o más débil (cuello de botella), para ello, se apoya en herramientas que se desarrollaron bajo el paraguas de Lean Manufacturing y de Six Sigma para mejorar y controlar dichos factores. El objetivo de este paper es analizar las posibilidades de aplicación de las herramientas de Lean Manufacturing y las técnicas de Six Sigma, integradas a la Teoría de Restricciones como una sola metodología para mejorar y mantener los sistemas de producción.

Palabras claves: Teoría de Restricciones/ Lean Manufacturing/ Six Sigma/ Sistemas de manufactura/ Integración de metodologías.

Abstract: In the environment of the manufacturing companies, the changes are increasingly frequent because they are in a globalized environment and of permanent competition. This implies that they are dynamic, but generating that businesses become increasingly risky because they are unpredictable. Under these conditions, it becomes more difficult to achieve, maintain and improve competitive advantage. In order to adapt to these changes and respond effectively to stakeholders, companies must make structural changes to their systems and organization by developing and implementing new information systems, business strategies, new concepts and methods of business process management. In many cases, the application of simple business concepts is not enough to solve the changes to maintain and improve the company's environment. One of the concepts that can be applied with good results is the Theory of Constraints, a technique that focuses on the factors that restrict production in the

slowest or weakest process (bottleneck), for this, it relies on tools that were developed under the umbrella of Lean Manufacturing and Six Sigma to improve and control these factors. The objective of this paper is to analyze the possibilities of application of Lean Manufacturing tools and Six Sigma techniques, integrated to the Theory of Constraints as a single methodology to improve and maintain production systems.

Keywords: Theory of Constraints/ Lean Manufacturing/ Six Sigma/ Manufacturing systems/ Methodologies integration.

1. Introducción

En este documento se analizará una estrategia utilizando la fusión de metodologías que comprende a la Teoría de Restricciones (TOC), Lean Manufacturing (LM) y Six Sigma (SS). Existen estudios y también implementaciones de combinaciones de estrategias TOC y SS, LM y SS, TOC y LM, pero son muy pocas las que consideran a las tres estrategias combinadas porque se estimaba que en conjunto eran divergentes y no se enfocaban en el mismo objetivo. El propósito de esta investigación es analizar lo que mencionan varios autores acerca de la fusión, y las ventajas y desventajas de su utilización. Creasy y Less (2013) mencionan que el híbrido 6TOC tiene elementos TOC, LM y SS. SS se enfoca en la mejora de la calidad y reducir la variación de la producción, mientras que LM se enfoca en eliminar mermas y desperdicios en todas de sus siete formas (7 mudas); cuando estas dos filosofías se combinan con TOC y el enfoque es el cuello de botella, se genera una poderosa combinación si es correctamente administrada para incrementar la productividad. Usando los cinco pasos de TOC, los cuellos de botella son explotados y elevados con SS y herramientas de LM.

2. Revisión de literatura

Para entender de qué trata 6TOC, debemos analizar los conceptos involucrados en esta combinación de forma separada. En esta sección se proporciona una descripción de los conceptos de Teoría de Restricciones, Lean Manufacturing y Six Sigma, seguida de combinaciones TOC y LM, TOC y SS, LM y SS, y finalmente una introducción de 6TOC.

2.1. Teoría de Restricciones (TOC)

Cox, J. (2015), relata que Eliyahu Goldratt, el padre de la Teoría de Restricciones, al definir TOC lo hizo con una sola palabra: Enfoque, y que ello se debe entender como: hacer lo que se debe hacer. Los gerentes usan el principio de Pareto, también llamado la regla 80-20, que sostiene que el 80 por ciento de los resultados son dictados por el 20 por ciento de los elementos del sistema, para ayudarlos a identificar las acciones correctas. Sin embargo, en un entorno caracterizado por recursos dependientes y alta incertidumbre, Goldratt creyó que la regla debería ser que el 99.9 por ciento de los resultados son dictados por el 0.1 por ciento de los elementos del sistema. Goldratt llama a este 0.1 por ciento de elementos como restricciones, las restricciones no son ni malas ni buenas, simplemente marcan el rendimiento del sistema. Para mejorar rápidamente cualquier sistema, el administrador debe concentrarse en la restricción (el punto de apalancamiento del sistema o proceso que soporta el sistema). Goldratt definió aún más el enfoque como hacer lo que se debe hacer y no hacer lo que no se debe hacer. Hay literalmente miles de acciones que tendrían poco o ningún impacto, y en algunos casos un impacto negativo en el objetivo de la organización, por lo que no deberían ejecutarse dichas acciones, son un desperdicio de tiempo para los gerentes o administradores de la producción.

A continuación se proporcionan conceptos de enfoque y cómo identificar las acciones correctas e incorrectas. Para lograr el enfoque, TOC apela a tres Procesos de Mejora Continua llamados POOGI¹:

1. Los cinco pasos de enfoque.
2. La secuencia de cambio que consiste en tres preguntas.
3. La gestión del buffer o amortiguador.

La mayoría de los ingenieros industriales están familiarizados con los cinco pasos de enfoque al leer la novela *The Goal (La Meta)*, que fue escrita por Goldratt y Jeff Cox.

El primer POOGI son los cinco pasos de enfoque:

1. Identifique la (s) restricción (es) del sistema.
2. Decida cómo explotar la (s) restricción (es) del sistema.
3. Subordinar todo lo demás a la decisión anterior.
4. Elevar la (s) restricción (es) del sistema.
5. ¡Advertencia! Si en los pasos anteriores se ha roto una restricción, vuelva al paso uno, pero no permita que la inercia cause una restricción del sistema.

Los cinco pasos de enfoque son apropiados cuando un recurso físico es la restricción. Se han implementado con éxito en miles de organizaciones en todo el mundo, más recientemente en Europa del Este, India y China.

El segundo POOGI es la secuencia de preguntas de cambio, que proporciona tres preguntas que deben responderse secuencialmente si se va a administrar el cambio dentro de un sistema.

Las preguntas son:

- 1.- ¿Qué cambiar?: Se deben cambiar los elementos que tengan mayor impacto en el logro del objetivo de la empresa para ganar más dinero, lograr la excelente satisfacción del cliente y la seguridad y/o satisfacción de los empleados.
- 2.- ¿A qué elemento se cambiará?: Esta pregunta se refiere a que existen muchas soluciones para cualquier problema; es necesario entender el problema antes de definir una solución muy rápida que podría no ser la ideal, entonces, primero entender el problema y sus relaciones con otros elementos del sistema y la solución debería ser simple, de sentido común y de bajo costo.
3. ¿Cómo realizar el cambio?: Con acciones que minimicen la resistencia al cambio.

El tercer POOGI es la gestión de búferes o amortiguadores, que es un mecanismo de control utilizado para identificar, durante la ejecución, donde pueden estar en peligro el Throughput o la fecha de vencimiento, o si puede ocurrir un stock out, etc. Este mecanismo de control es similar a un semáforo con colores verde, amarillo y rojo, se utiliza para indicar las acciones apropiadas, ayuda a los gerentes a tomar acciones proactivas. Tenga en cuenta que para cada POOGI, las acciones que deben tomarse se identifican, y las acciones que no deben tomarse se eliminan fácilmente.

2.2. Lean Manufacturing (LM)

Bailey, Motwani y Smedley (2012) mencionan que a pesar de que el concepto Lean fue introducido por Toyota en la década de 1950 como parte del Sistema de Producción de Toyota (TPS), esta metodología no se hizo famoso hasta que el libro de Jones más vendido “La máquina que cambió el mundo: La historia de la producción Lean”, fue publicado en 1990. El concepto Lean se puede definir como un proceso dinámico de cambio, impulsado por un conjunto de principios y mejores prácticas dirigidas a la mejora continua. Es un enfoque sistemático de identificación y eliminación de actividades que no agregan valor, con un enfoque en hacer fluir el producto de acuerdo al pedido del cliente en busca de la perfección.

¹ Processes Of Ongoing Improvement (POOGI)

Con el tiempo, el concepto Lean evolucionó y extendió su significado desde la producción Lean a un modelo empresarial completo, y finalmente incluso a un modelo empresarial Lean extendido que comprende cinco pasos fundamentales involucrados en la aplicación del concepto Lean que son:

1. Identificación de valor: el concepto Lean se centra en identificar lo que los clientes perciben como valor en productos y servicios.
2. Análisis del flujo de valor: en el enfoque Lean, una vez que se aclara el concepto de valor, la organización identifica su flujo de valor para productos y servicios, y se enfoca en eliminar cualquier actividad y proceso que no agregue valor.
3. Flujo: el paso de flujo se enfoca en asegurar de que los productos y servicios fluyan continuamente sin interrupciones en el flujo de valor.
4. Jalar (Pull): Los productos o servicios se producen solo después de que el cliente realiza un pedido.
5. Perfección: La organización se esfuerza por lograr la perfección y como parte del proceso de mejora continua, se centra en eliminar regularmente todas las actividades que no agregan valor.

Nave (2003), menciona que LM se enfoca en reducir desperdicio, que es definido como cualquier cosa no necesaria para realizar la producción del producto o servicio. Define que los pasos de LM son cinco:

1. Identificar las características que generan valor.
2. Identificar la secuencia de actividades llamada flujo de valor.
3. Hacer que fluyan las actividades.
4. Dejar que el cliente jale el producto o servicio a través del proceso.
5. Mejorar el proceso.

Estos cinco pasos son los mismos pero resumidos de los que define Bailey et.al. (2012), pero menciona también que al aplicar LM, se producen además beneficios secundarios como la mejora de la calidad de los productos o servicios. Los productos reducen su tiempo de procesamiento y ello evita que se produzcan daños en las líneas de procesamiento o que queden obsoletos. La simplificación de los procesos conlleva a reducir variaciones.

Es importante señalar que la metodología LM asume lo siguiente:

- Las personas valoran el efecto visual del flujo, esto quiere decir que se percibe que todo fluye más rápido sin necesidad de hacer cálculos complejos.
- El desperdicio es la principal restricción de la eficiencia.
- Pequeñas mejoras en rápidas sucesiones, son más beneficiosas que estudios y análisis complicados para ser aplicados en un mediano o largo plazo.
- Los problemas de la interacción de los procesos se resolverán mejorando la cadena de valor.

2.3. Six Sigma (SS)

Bailey et.al. (2012) menciona que el enfoque SS se desarrolló inicialmente en Motorola y se mejoró sustancialmente durante su aplicación en General Electric. Los enormes ahorros reportados por General Electric aumentaron el interés por SS a fines de la década de 1990. SS se refiere a la capacidad de un proceso para entregar unidades dentro de los límites de calidad establecidos. Para que una compañía sea clasificada como una compañía SS, no debe tener más de 3.4 defectos por millón de oportunidades en cualquier proceso, producto o servicio. Si una empresa se enfoca en lograr SS, trata de eliminar sistemáticamente los defectos de un proceso para poder acercarse lo más posible a la perfección. A lo largo del tiempo, SS se ha

convertido en una iniciativa de Cambio de Procesos de Negocios (BPC²), que combina herramientas de control estadístico y gestión de calidad total con un enfoque en la satisfacción del cliente. Harmon (2007), sostiene que SS se convirtió en un programa de capacitación integral que buscó crear conciencia del proceso por parte de todos los empleados en una organización. Las organizaciones que abrazan SS no solo aprenden a usar una variedad de herramientas SS, también adoptan toda una cultura dedicada a la capacitación de los empleados para apoyar el cambio de procesos en toda la organización.

Bailey et.al. (2012) concluyeron que existen dos metodologías principales utilizadas en SS. Six Sigma DMAIC es un proceso que define, mide, analiza, mejora y controla los procesos existentes, mientras que Six Sigma DMADV, define, mide, analiza, diseña y verifica nuevos procesos o productos que intentan alcanzar la calidad SS.

Las fases de DMAIC incluyen lo siguiente:

- Definir: esta fase define el proceso o producto que necesita mejoras. Se identifican los requisitos críticos de los clientes y se crea un mapa de los procesos que deben mejorarse.
- Medir: esta fase implica seleccionar las características del producto, mapear los procesos respectivos, realizar las mediciones necesarias y registrar los resultados del proceso.
- Analizar: En esta fase, se crea un plan de acción para cerrar la "brecha" entre cómo funcionan las cosas actualmente y cómo la organización desea que funcionen para cumplir los objetivos de un producto o servicio en particular.
- Mejorar: esta fase implica mejorar los procesos y/o características de rendimiento del producto para lograr los resultados y objetivos deseados.
- Controlar: esta fase requiere que las condiciones del proceso estén debidamente documentadas y monitoreadas a través de métodos estadísticos de control del proceso.

3. Combinación de Metodologías

3.1. TOC y LM combinadas

Se tienen los siguientes puntos de similitud entre los enfoques TOC y LM:

- El objetivo común es aumentar las ganancias
- El valor es definido por el cliente
- El factor calidad es esencial para ambos.
- Apoyan la producción en lotes más pequeños.
- Apuntan al flujo continuo y al aumento de la capacidad.
- Buscan minimizar el inventario.
- La participación de la fuerza laboral juega un papel importante en el despliegue exitoso del método y las herramientas.

Los puntos comunes de TOC y LM son:

- La percepción del valor desde la perspectiva del cliente: el valor LM está claramente definido en la TOC; en ambos casos se afirma que las percepciones de valor del cliente son un factor clave para aumentar la ganancia del producto.
- Value Stream: Lean adopta el término Value Stream (valor añadido), y TOC adopta el término valor agregado para aclarar que el valor percibido por el cliente está definido por una cadena de interdependencias entre la fábrica y los proveedores.
- Jalar la Producción: ambos ofrecen técnicas para controlar el flujo utilizando el concepto de jalar la demanda del mercado. LM jala de forma secuencial, se inicia con la misma venta hasta llegar a la orden de trabajo que es la señal para que inicie el flujo de producción (kanban). En TOC, jalar la producción es la esencia de DBR (Drum-Buffer-

² Business Process Change (BPC)

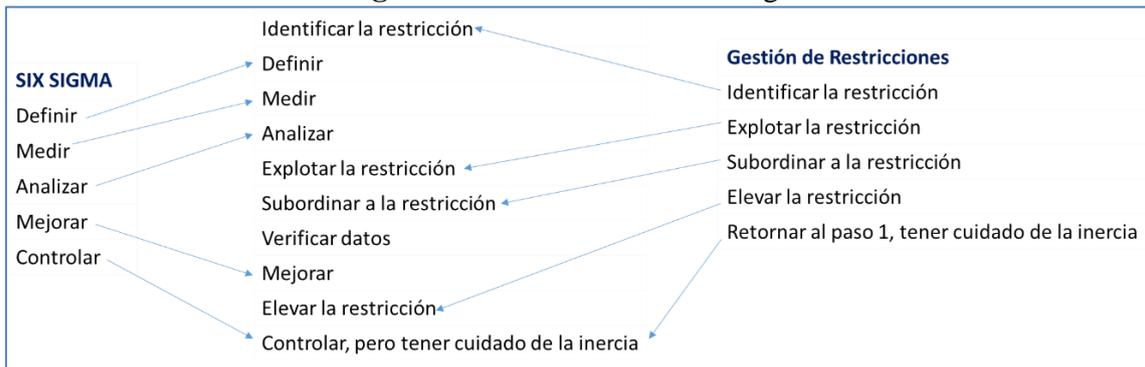
Rope), que sincroniza el cuello de botella con la demanda del mercado y se libere material en el sistema.

- La búsqueda de la perfección: la mejora continua es la única forma que una empresa prospere después de un cambio.

Se muestran continuación resultados de análisis de haber utilizado TC y LM:

- Lean opera con menos inventario y tiempos de entrega, mientras que TOC genera una mayor productividad.
- TOC es adecuado para sistemas con variabilidad y tiempo de inactividad relativamente altos (no hay disponibilidad del producto), mientras que LM es mejor para reducir la variabilidad y el tiempo de inactividad del sistema.
- El rendimiento de TOC es mejor que LM. LM tendría que eliminar prácticamente toda la variabilidad del sistema para que el rendimiento sea similar al de TOC.
- El uso combinado de LM y TOC puede dar como resultado un mayor rendimiento en comparación con el uso de los enfoques individuales.
- TOC es más tolerante a la variabilidad, tiene menos tiempo de entrega y necesita en promedio un 50% menos que el inventario LM para la misma productividad. Esta información se basa en la estrategia de enfocarse en la gestión del cuello de botella, en lugar de gestionar por igual todos los recursos del sistema productivo.
- Existen técnicas específicas para abordar el problema de la sincronización: la lógica Drum-Buffer-Rope (DBR) para TOC, y Kanban para LM.
- Ambos están relacionados con la mejora continua de los sistemas productivos.
- En cuanto a los costos, el objetivo de LM es reducir los costos fijos y variables, mientras que para TOC la reducción de costos es limitada y la generación de ganancias es ilimitada.
- TOC acepta la variabilidad e inestabilidad de la demanda y las operaciones estratégicas utilizando el búfer o amortiguador (tiempo, capacidad), mientras que LM busca constantemente reducir la variabilidad.
- Existe una superposición sustancial entre los paradigmas del pensamiento LM y el TOC, donde el TOC proporciona un marco o guía para guiar los esfuerzos, y LM evita toda acción innecesaria.

El modelo combinado TOC y LM sigue la secuencia mostrada en la Figura 1.

Figura N°3: Fusión de metodologías TSS

Fuente: Kai .J et. al, (2009)

Diego (2015), realiza el análisis de TSS afirmando lo siguiente:

- El proceso de pensamiento del análisis de TOC y la resolución de problemas utiliza un lenguaje que requiere una guía intelectual compleja por parte de expertos calificados y un enfoque diferente para la administración y para los operadores.
- El enfoque de SS es el cliente y el enfoque de TOC es la organización.
- SS requiere soluciones en profundidad, TOC puede encontrar cuellos de botella y evitarlos.

La forma común de integración entre TOC y SS es identificar la restricción de la empresa y usar SS para reducir su variación o resolver este problema.

La combinación de los dos enfoques tiene las siguientes ventajas:

1. La restricción se analiza, se mide y se controla mediante un conjunto de herramientas estadísticas, lo que aumenta la comprensión del problema y las decisiones.
2. El cuello de botella es el primer punto que se analiza, por lo tanto la generación de una mayor ganancia financiera para la compañía y el proyecto SS no será elegido por una sola área de negocios, sino por la visión general de que el TOC generará los resultados del proyecto en todo el sistema.

Las desventajas de la combinación:

1. No siempre la reducción de la variación aumentará la capacidad de restricción.
2. Cuando la reducción de la variación aumenta la tasa de producción del cuello de botella, los procesos posteriores pueden generar mayores tasas de rechazo, ya que el enfoque se estableció únicamente en el cuello.
3. Existe incertidumbre de aplicar primero los principios de TOC y luego el diseño SS o viceversa.
4. El modelo de integración TSS asume un entorno con un presupuesto limitado para las mejoras y la aplicación de SS en los recursos posteriores a los cuellos de botella garantiza la calidad y la eficiencia.

Existen similitudes entre los procesos de mejora de SS (DMAIC) y TOC (Cinco pasos de enfoque).

1. El paso inicial es la identificación de restricciones para ambos enfoques.
2. El siguiente paso sigue la lógica de TOC utilizando su capacidad para explotar las fases de medida de SS y analizarlas como soporte.
3. El siguiente paso también adopta la capacidad de explorar la lógica de TOC utilizando su "Fase de mejora" de SS y sus herramientas estadísticas para eliminar los problemas y las causas indicadas en el paso anterior.

4. El paso cuatro utiliza el paso subordinado de TOC y el "control" de SS para garantizar que todas las acciones tomadas anteriormente se apliquen en el sistema.
5. En el paso cinco, se realizan esfuerzos para aumentar la capacidad de la restricción.
6. El último paso evalúa la siguiente restricción para evitar la inercia del sistema.

3.3. LM y SS combinadas (LSS)

Bailey, Motwani y Smedley (2012) definen LSS como la combinación de las mejores características de LM y SS en la búsqueda de una mejora sostenida. Es una metodología de mejora empresarial que se centra en maximizar el valor al lograr tasas más rápidas de mejora de la satisfacción del cliente, tales como el costo, la calidad, la velocidad del proceso y el capital invertido. Muchas organizaciones importantes y líderes mundiales como Xerox Corporation, General Electric, Johnson y Johnson y Dell, han implementado con éxito el enfoque LSS en sus organizaciones. La Tabla 1 muestra los principios de LM, SS y LSS.

Table 1 Overview of Lean, Six-Sigma and LSS

Approach	Lean	Six Sigma	LSS
Objectives	Provide high value to the customer by reducing waste	Product and process improvement, minimisation of variation	Reduce Variation Speed up production Reduce waste
Principles	Use the best practices and processes to improve efficiency, reduce costs and speed up the process	Keep the number of defects below 3.4 per million opportunities	Use the best practices of Six Sigma and Lean Increase market share of the organisation
View of waste	Non-value adding activities	Variation	Variation Non-value adding activities
Methodology	Identify value Define value stream Determine flow Define pull Improve process	Define Measure Analyse Improve Control	Tools used in Six Sigma and Lean
Tools and Techniques	Value stream mapping, work cell design, 5S, mistake proofing, set-up reduction, takt modelling, visual controls, and other TPS tools	Statistical process control charts (histograms, normal distribution graphs, flowcharts, etc.) and quality management tools (activity network diagrams, affinity diagrams, etc.)	Tools used in Six Sigma and Lean
KPI	Value provided to the customer	Number of defects Customer satisfaction	Customer satisfaction Market share

Source: Modified from Bhuiyan et al. (2006)

Diego (2015) analiza LM, SS y LSS. Afirma que existe un límite para la integración porque la estrategia utilizada para la mejora depende del problema a resolver, por lo tanto, debe haber alineación entre los dos enfoques para lograr resultados efectivos. SS debería usarse para impulsar la implementación de los esfuerzos LM.

- Los dos paradigmas aceleran el cambio y pueden ser una herramienta poderosa para alinearse con los aspectos culturales de los proyectos LSS.
- SS se usa típicamente para resolver problemas complejos para los que se desconoce la solución. Es importante recordar que el objetivo es encontrar las causas del bajo rendimiento y no solo centrarse en los síntomas. En este caso, el punto de vista del flujo esbelto contribuye al uso de SS y sugiere el uso simultáneo de enfoques.

Características clave que contribuyen al rendimiento cuando LM y SS se aplican de forma sinérgica:

- Generan resultados financieros positivos.
- Las gerencias participan activamente.
- Utilizan un enfoque disciplinado (DMAIC).
- Sus proyectos se concluyen rápidamente.
- La visión es clara.
- El recurso humano tiene objetivos alineados.
- Enfoque a clientes y procesos
- Uso de un enfoque estadístico.

Consideraciones a tomar en cuenta:

- Los proyectos de mejora de Lean se pueden gestionar utilizando la metodología DMAIC.
- LSS es un modelo que captura la filosofía de la mejora continua y el sistema de conocimiento profundo.
- Existe una diferencia entre los dos sistemas debido a que SS es administrado por unos pocos individuos específicos dentro de una empresa, mientras que en LM, la capacitación involucra a todos los niveles de la empresa para identificar y eliminar actividades sin valor agregado.
- Las compañías que adoptan sistemas LM utilizan datos cuantitativos para tomar decisiones y un enfoque más científico para evaluar la calidad dentro del sistema, mientras que las compañías que utilizan SS necesitan un enfoque de sistemas más amplio, considerando los efectos de las mermas en el sistema como un todo.
- Con el tiempo, LM y SS se han convertido en filosofías mal definidas, dando como resultado una eficacia reducida y muy a menudo las metodologías presentadas se combinan sin una explicación lógica y sin ninguna explicación o base teórica para la elección de las técnicas.
- Muchos proyectos que han intentado implementar LM y SS, no los culminaron obteniendo resultados negativos, el tiempo fue su peor enemigo.

A partir de las consideraciones anteriores, tener en claro que:

- i. Los dos enfoques son complementarios y es factible evaluar la integración entre los dos enfoques.
 - ii. La integración, la gestión del proyecto y la estrategia corporativa deben alinearse en orden para evitar tener sistemas separados con enfoques LM y SS.
 - iii. También se observó que, si se implementa LM individualmente, faltarían herramientas específicas para aprovechar todo su potencial de acuerdo con la complejidad del problema bajo análisis. Del mismo modo, si se implementa un proyecto SS sin la visión sistémica de LM, se olvida el enfoque en el flujo global y se compromete la mejora del rendimiento del proyecto.
-

3.4. Combinación de las metodologías: 6TOC

Diego (2015) menciona que las metodologías TOC, LM y SS se enfocan en la mejora continua, y utilizadas en forma independiente han alcanzado su límite de desempeño con respecto a la competitividad actual. Entonces, se hace necesario encontrar elementos de otros enfoques que tornen más robustas a las estrategias actuales para la mejora continua. Se han realizado análisis de diversos enfoques para proporcionar modelos integrados de mejora continua, es así que se encontraron las siguientes conclusiones:

- i. LM presenta un paradigma más alto basado en la producción “jalar” en comparación con el basado en la producción “empujar”.
- ii. Es posible desarrollar modelos que integren LM y otras metodologías de gestión de calidad.
- iii. La combinación de TOC con otros enfoques indica resultados superiores en comparación con otros modelos.

En la Tabla 2 se muestran características de los sistemas de producción TOC, LM y SS. Nave (2002) comparó TOC, LM y SS, e identificó supuestos comunes entre las tres filosofías y obstáculos para su implementación, además señaló que el mayor desafío para las organizaciones es elegir los puntos fuertes de cada enfoque, pero no realizó un estudio comparativo desde el punto de vista de la revisión lógica que tratara sobre TOC, LM y SS sobre las posibilidades de investigación y los límites de integración para lograr una mejora continua.

Tabla N° 2: Características TOC, LM y SS

Criteria	Theory of Constraints	Lean Manufacturing	Six Sigma
Source	Goldratt (1980)	Toyota (Toyota, Ohno and Shingo-1950's)	Motorola e General Electrics (1980's)
Theory	Manage constraints and generate gains	Elimination of losses and increase profit	Reduce variability
Application structure	1. Identify the constraint 2. Explore the constraint 3. Subordinate 4. Increase the constraint 5. Return to step 1	1. Specify value 2. Identify the value stream 3. Flow 4. Pull 5. Seeking perfection	1. Define 2. Measure 3. Analyse 4. Improve 5. Control
Focus	On constraints	On the flow	On the problem
Goal	Continuous increase in profits	Maximize productivity	Maximize business results
Strategic objective	Synchronize	Simplify	Stabilize
Assumptions	- Emphasis on speed and volume - Analyzes existing systems - There is interdependence between processes	- The reduction of wastes increases business performance - Several small improvements are better than the overall analysis system	- There is a problem - Statistical tools are used - Improvements in the rate of output of the system by reducing the variation in processes
Primary effects	Increases gain rapidly	Flow time reduction	Rate uniform process output
Side effects	- Reduction of inventories and losses - Gain is the meter system performance - Improvement in quality - New accounting system	- Reduces the variability - Generates uniform process outputs - Reduced inventory. - Flow meter is the performance of managers - Improves quality and productivity	- Reduces losses. - Reduces inventory - Variability is the meter performance of managers - Improves quality - Culture change
Deficiencies	Ignore parts of the organization to focus on manufacturing and the restriction	- Does not apply statistical tools or systems analysis - Focus on limited losses	- Does the interdependence within the system - Improvements made processes independently. - Creates elite employees
Ease of implementation	Greater difficulty	Minor difficulty	Medium difficulty
Managerial level application	Top management	First level	Technical level and middle management
Structure implantation	It does not refer	It does not refer	Belts and Champion
Effect on the variability	Absorbs variation	Reduces	Reduces
Major contributions	Systemic view of the restrictions	Pull, takt time, Heijunka, one-piece flow, value stream mapping and respect for people	Organizational structure with experts improvements, projects and guided quantification of cost reductions
Process Aspects	- Metric specific accounting. - Focus on systematic restriction		- Management of the workflow by JIT - Optimization of processes - Tools specific statistics. - Specific Terminologies - Structure specific expert
17. Batch Size	Larger batches for restriction and lower non bottlenecks		Small batches throughout the system It does not refer
Production Control	The algorithm Rope Drum-Buffer-Rope is used to free stuff		Kanban triggers the production release It does not refer
Production Planning	Detailed planning for the restriction and less detailed non-bottlenecks DBR (Drum, Buffer and Rope)		- Detailed planning of final assembly - Other operations are driven to meet the assembly through the Kanban It does not refer
Distribution of knowledge	Knowledge is centered and focused on constraints		Knowledge is shared as a reduction of losses and is the responsibility of all Knowledge centered in Belts and training is highly focused
Culturally dominant aspects	- Requires a change in approach - Extends in all parts of business		- Culture of minimum waste - Emphasis on continual improvement - Empowerment of employees - Changes philosophy - Focus on Customers
Leadership style	Leader of driver profile		Leader facilitator profile Leader of driver profile
Data requirements	Amount and accuracy of data is less critical compared to traditional production methods		Amount and accuracy of data is partly critical of traditional production methods Requires large quantity and accuracy of data for decision making
Inventory	- Inventory is needed to facilitate the production, but the goal is to minimize inventory - Buffers are placed in front of the neck and the intersection between paths of non-bottlenecks and the path of a bottleneck to their production orders		Stock is zero and the target depends on the number of kanbans in the system It does not refer
Capacity planning	- Consider finite capacity - It is planned by computer simulation		- Did finite capacity - It is planned by Kanban It does not refer
Information Technology	Computational resources are needed for deployment		Low need Computational resources used mainly for statistical
Stability Requirements for deployment	- Indifferent, but performs best in environments of medium or low stability		Environment with high stability Indifferent
Indicators of performance management	- Global Indicators: Net Profit, Return on Investment, CashFlow; - Local Indicators: Gain, Inventory, Operational Expenses		- Cost Target - Cost-Kaizen DPMO (Defects Per Million Opportunities)

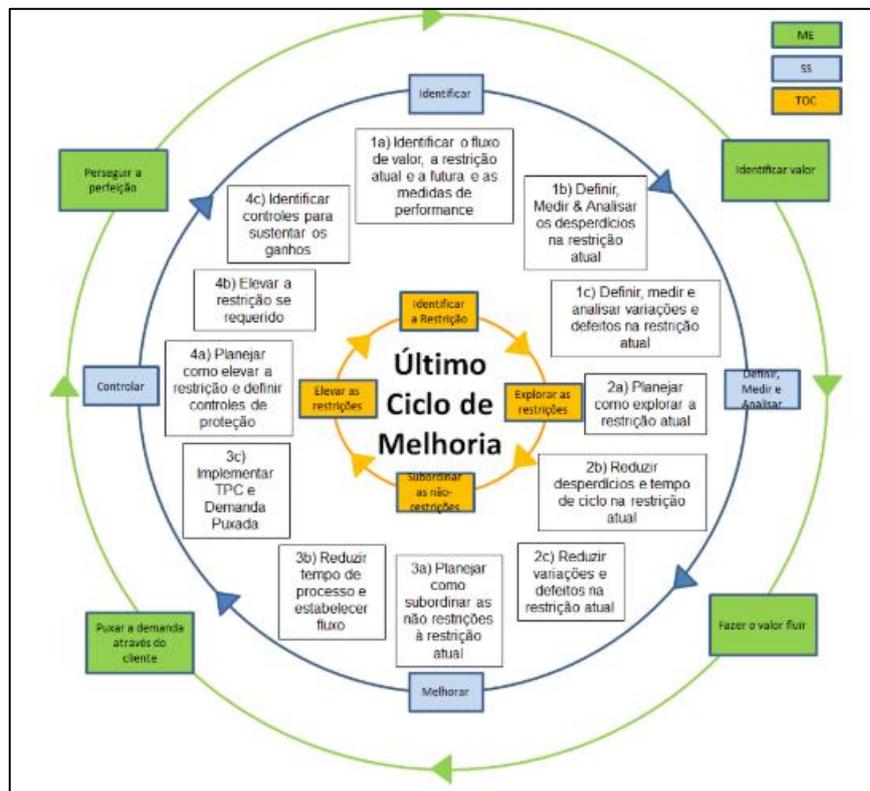
Fuente: Diego (2015)

Sproull (2013) realiza comparaciones de TOC, LM y SS. Menciona respecto a que hay iniciativas TOC, LM Y SS que han fallado debido a que algunos autores han afirmado que las filosofías LM y SS están en desacuerdo o son contradictorias con el TOC. Otros han sugerido que LM y SS solo son complementarios de TOC. Sin embargo, afirma que LM Y SS son ingredientes esenciales para el éxito de TOC. De la misma manera, el éxito en las iniciativas LM y SS está impulsado por la adopción de TOC como la base para la mejora, porque TOC proporciona los puntos de enfoque y de apalancamiento necesarios para una verdadera mejora.

Agrega que las tres iniciativas, cuando se implementan en conjunto, representan la mejor estrategia posible para maximizar los ingresos y las ganancias. Estas tres iniciativas forman una simbiosis en la que no solo coexisten, sino que también se benefician de la presencia de cada uno.

En la Figura 4 se muestra el diseño de las 3 técnicas combinadas.

Figura N°4: Diseño del Modelo 6TOC



Fuente: Sproull (2013)

El modelo a detalle se presenta a continuación:

Paso 1

- Identificar el flujo de valor, la restricción actual y la próxima restricción; y definir las medidas de rendimiento;
- Identificar, medir y analizar los desperdicios en la restricción actual;
- Medir y analizar las variaciones y defectos en la restricción actual.

El paso 1 muestra una clara identificación de cómo y dónde iniciar el proceso de mejora continua. Inicialmente se identifican el flujo de valor actual, la restricción vigente y la próxima restricción. La identificación de la próxima restricción es un punto importante de este modelo para que se tenga una visión a medio plazo de lo que ocurrirá después de la realización de las mejoras de la restricción actual. En este paso, es necesario definir las medidas de rendimiento que deberán monitorearse y mejorarse durante el proceso. Los pasos b y c de la primera etapa realizan los tres primeros pasos del DMAIC para conocer los desperdicios (LM) y las variaciones (SS) de la restricción actual.

Paso 2:

- Planear cómo explotar la restricción actual;
- Reducir el desperdicio y el tiempo de ciclo en la restricción actual;
- Reducir la variación y los defectos en la restricción actual.

El segundo paso del modelo realiza la etapa de explotación de la restricción de la TOC, utilizando las herramientas de reducción de desperdicio y de variación de LM y SS. El uso de

kaizen de proceso, del SMED, de los sistemas a prueba de errores, del trabajo estandarizado, de los histogramas y cartas de control son apropiados para alcanzar los resultados en este paso. De esta forma, una planificación correcta es necesaria para que pueda actuar en el lugar adecuado. En este momento, la utilización de información obtenida a través del MES³ puede acelerar el proceso de obtención de datos de la restricción de recursos y proponer más tiempo para el análisis, la aplicación de las herramientas y el entrenamiento.

Paso 3:

- a. Planificar como subordinar las no restricciones a la restricción actual;
- b. Reducir el tiempo de procesamiento y establecer el flujo;
- c. Implementar el sistema DBR: el búfer o amortiguador para la restricción y el sistema de jalar la producción.

Esta es la etapa destinada a la mejora del flujo de producción, reducción takt time y del WIP. Programar en un único punto, subordinar todos los recursos no restrictivos a la restricción actual e implementar el sistema de producción “jalar” son las consignas en este paso. Los sistemas avanzados de planificación y programación (APS) son deseables en este momento para que sea posible simular escenarios de utilización de Kanban y DBR para programar con menores costos, mejor flujo, mayor margen de contribución, etc. El mejor método dependerá del momento actual de la empresa y de la planificación estratégica.

Paso 4:

- a. planear cómo elevar la restricción y definir controles de protección;
- b. elevar la restricción, si es necesario;
- c. implementar controles de protección para sostener las ganancias.

El cuarto y último paso del modelo 6TOC es la implementación de los últimos pasos de cada filosofía: buscar la perfección (LM) por medio de la elevación de la restricción (TOC) e implementar los controles (DMAIC) que sustentan las ganancias. La utilización de sistemas a prueba de errores, gráficos de controles, trabajo estandarizado y auditorías es importante para disciplinar a las personas y para hacer las mejoras más efectivas. Este es un paso de extrema importancia, que requiere mucha disciplina y compromiso del alto liderazgo. De acuerdo con los autores, no se debe utilizar sólo una filosofía de mejora continua en detrimento de la otra. Para reducir los tiempos de ciclos y aumentar la rentabilidad de la empresa, se deben utilizar las tres filosofías de forma integrada. Finalmente enfatizar que TOC debe ser el punto de apalancamiento para las iniciativas de mejora de LM y SS.

4. Conclusión

Tomando como referencia lo que concluye Diego (2015), se define lo siguiente:

- TOC y LM tienen la visión de un sistema abierto con respecto al diseño de sistemas de producción, y están vinculados al Paradigma de Mejora de Procesos. En este tema, es necesario decir que SS también busca la mejora continua al reducir la variabilidad de los mismos.
- TOC, LM y SS utilizan el método científico para la solución de muchos problemas relacionados con la gestión de la producción, y ejecutan una lógica deductiva para desarrollar soluciones técnicas específicas para la mejora.

³ Un **Sistema MES (Manufacturing Execution System** en inglés) es un software enfocado al Control de la Producción, que monitoriza y documenta la gestión de la planta.

- Los tres enfoques pueden ser considerados como de gestión de privilegios a partir de mejoras del subsistema, es decir, dan prioridad a las mejoras de la gestión del subsistema y la gestión de la innovación.
- El objetivo principal de las tres propuestas es buscar la mejora continua de los indicadores. En TOC se hace monitoreando los Indicadores Globales y Locales, LM utiliza la lógica del costo objetivo y el costo Kaizen, y SS utiliza Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO).

Los resultados sugieren que TOC, LM y SS tienen muchos elementos complementarios que se superponen a lo divergente, aunque existe todavía mucho que explorar sobre este tema y mejorar la teoría y la práctica de la ingeniería industrial para aumentar la productividad de los sistemas de producción.

5. Literatura Citada

- Antic, L., & Novicevic, B. (2015).** LEAN CONCEPT TECHNIQUES FOR OVERCOMING CONSTRAINTS OF BUSINESS a, (179066), 905–924
- Bailey, A. Y. A., Motwani, J., & Smedley, E. M. (2012).** When Lean and Six Sigma converge: a case study of a successful implementation of Lean Six Sigma at an aerospace company. *International Journal of Technology Management*, 57(1/2/3), 18.
- Cox, J. F. (2015).** Unlocking the service sector. *Industrial Engineer*, 30–36.
- Creasy, T., & Less, O. (2013).** Combinig lean, Six Sigma and theory of constraints creates a process improvement powerhouse. *ASQ Quality Progress*, 46((6)), 26–32.
- Diego, A. de J. P. (2015).** TOC, lean and six sigma: The missing link to increase productivity? *African Journal of Business Management*, 9(12), 513–520.
- Harmon, P. (2007).** *Business Process Change A Guide for Business Managers and BPM and Six Sigma Professionals Second Edition*. Retrieved from www.bptrends.com
- Kai Jin, Hyder Abdul-Razzak, Yousri Elkassabgi, Hong Zhou, and A. H. (2009).** Integrating the Theory of Constraints and Six Sigma in Manufacturing Process Improvement. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 3(1), 85–89.
- Nave, D. (2003).** How To Compare Six Sigma, Lean and the Theory of Constraints. *QUALITY PROGRESS*.
- Sproull, B. (2013).** The Ultimate Improvement Cycle. *Six Sigma*, 1–5.