

# Lean Six Sigma Approach to Increasing the Production of Heads Used in the Production of Hydrocarbons

Juan Sillero Pérez, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Monterrey, México, [juan.sillero@udem.edu](mailto:juan.sillero@udem.edu)

*Abstract— the Lean Six Sigma methodology was applied in a project by senior students of the Industrial Engineering and Systems academic program at University level, in a company located in the metropolitan area of Monterrey, México. The company manufactures equipment for the control of pressure in the extraction of gas and hydrocarbons; they clients are national and international companies. Specifically, the plant produces heads comprising pressure control equipment along with the valves. The current problem that the company is facing is the lack of capacity to meet an increasing demand of finished products; for this reason, the objective of the project is to increase by 25% the production capacity, reducing the lead time for production of twenty to two days, and accelerating the Tack Time from 165 to 132 minutes. The project begins with a thorough diagnosis, to measure and identify areas for improvement; the collection of data and its analysis generated five improvement proposals, which after implemented reaches stablished goals.*

*Keywords— Lean manufacturing, Six Sigma, Tack time, Value Stream Map*

**Digital Object Identifier (DOI):** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.076>

**ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6

**ISSN:** 2414-6668

**13<sup>th</sup> LACCEI Annual International Conference:** “Engineering Education Facing the Grand Challenges, What Are We Doing?”  
July 29-31, 2015, Santo Domingo, Dominican Republic      **ISBN:** 13 978-0-9822896-8-6      **ISSN:** 2414-6668  
**DOI:** <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2015.1.1.076>

# El enfoque Lean Six Sigma para incrementar la producción de cabezales usados en la explotación de hidrocarburos

Juan Sillero Pérez, Ph.D.  
Universidad de Monterrey, México.

**Resumen-** *La metodología Lean Six Sigma se aplicó en un proyecto realizado por estudiantes de último grado de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas de nivel universitario, en una empresa ubicada en el área metropolitana de Monterrey. La empresa fabrica equipos para el control de presión en la extracción de gas e hidrocarburos y sus clientes son empresas nacionales e internacionales. La planta produce cabezales que junto con las válvulas integran el equipo de control de presión. El problema actual de la empresa es falta de capacidad para atender un incremento de una demanda de productos terminados; por esta razón, el objetivo del proyecto es incrementar un 25% la capacidad de producción, reduciendo el lead time de producción de 20 a dos días y acelerando el Tack Time de 165 a 132 minutos. El proyecto inicia con un minucioso diagnóstico, para dimensionar e identificar las áreas de mejora; el acopio de datos y su análisis permitió hacer cinco propuestas específicas de mejora, mismas que una vez implementadas llevaron a alcanzar las metas arriba señaladas.*

**Palabras clave-** *Lean manufacturing, Six Sigma, Tack Time, Value Stream Map*

**Abstract -** *the Lean Six Sigma methodology was applied in a project by senior students of the Industrial Engineering and Systems academic program at University level, in a company located in the metropolitan area of Monterrey, México. The company manufactures equipment for the control of pressure in the extraction of gas and hydrocarbons; they clients are national and international companies. Specifically, the plant produces heads comprising pressure control equipment along with the valves. The current problem that the company is facing is the lack of capacity to meet an increasing demand of finished products; for this reason, the objective of the project is to increase by 25% the production capacity, reducing the lead time for production of twenty to two days, and accelerating the Tack Time from 165 to 132 minutes. The project begins with a thorough diagnosis, to measure and identify areas for improvement; the collection of data and its analysis generated five improvement proposals, which after implemented reaches established goals.*

**Key words-** *Lean manufacturing, Six Sigma, Tack time, Value Stream Map*

## I. INTRODUCCION

La empresa bajo estudio “Oil & Gas Pressure Control”, es un importante proveedor mundial de cabezales de pozo de superficie, sistemas de fracturamiento, y el equipo

complementarios para la explotación de hidrocarburos y gas natural. La compañía opera en 80 lugares de fabricación, de servicios y de ventas a nivel mundial, que cubre todos los aspectos de las operaciones con herramientas avanzadas, habilidades y soluciones en todas las regiones. La empresa está ubicada en el municipio de Guadalupe Nuevo León y sus cinco productos que pertenecen al cliente son: Casing Head, Tubing Head, Tubing Bonnet, Tubing Hanger y Packoff. El proyecto se enfoca a Casing Head y el Tubing Head. El proyecto se realiza usando el enfoque metodológico de Lean Six Sigma y fue realizado por estudiantes de último grado de la carrera de Ingeniería Industrial y de Sistemas de nivel universitario. El problema actual es la falta de capacidad para atender un incremento de una demanda de productos terminados, lo que ha generado un incumplimiento de alrededor del 40% de entregas. Por esta razón, el objetivo del proyecto es incrementar un 25% la capacidad de producción.

## II. DEFINIR

El problema que da origen a este proyecto se puede resumir como la falta de capacidad para atender un incremento de una demanda de productos terminados, lo que ha generado un incumplimiento de alrededor del 40% de entregas. Por esta razón, el objetivo del proyecto es incrementar un 25% la capacidad de producción cuál se pretende alcanzar optimizando las operaciones del proceso y sus recursos reduciendo el *lead time* de producción de 20 a dos días y acelerando el Tack Time de 165 a 132 minutos.

Casing Head es un producto compuesto por una sola brida como que es la que posteriormente será conectada al tubing head (en campo). Se le ensamblan dos bridas en las caras laterales y una válvula para después ser conectada a un manómetro como se muestra en la figura 1.

La metodología que se utilizará en este proyecto es una combinación de Manufactura Esbelta y Seis Sigma. El enfoque “lean” busca reducir los desperdicios [1,2,3] bajo el principio de dar al cliente o consumidor el mayor valor agregado, mediante una mejora continua y sistemática de la calidad, los costos, los tiempos de respuesta, la variedad y mayores niveles de satisfacción. También tiene como objetivo eliminar los obstáculos que impidan el uso más rápido, seguro, eficaz y eficiente de los recursos en la empresa y reducir el *lead time*.

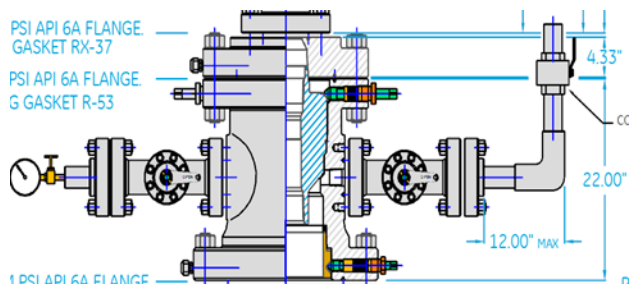


Figura 1. Ilustración del equipo terminado

Mediante el enfoque de Seis Sigma se promueve la calidad y reducir de la variabilidad del proceso [ 4,5,6]

### III. MEDIR Y ANALIZAR

Para dar arranque a la etapa de medir se observó directamente el proceso. Se diseñó una muestra para observar 92 horas de proceso. Antes de empezar con las mediciones dentro de cada uno de los procesos que conforman la línea de producción procedió a conocer cómo se comportan entre ellos y cuál es el flujo de material e información que se requiere. Para ello, se procedió a realizar el Value Stream Map VSM de la familia de productos analizados. EL VSM fue realizado siguiendo el procedimiento ampliamente conocido [7,8] reflejado en la figura 2, donde se muestran los tiempos en las cajas de información expresados en minutos; el tiempo de espera en los inventarios en proceso WIP's se representa en horas, y los tiempos de la casilla de resultados totales se representa en días.

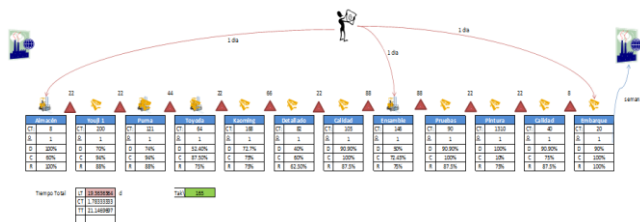


Figura 2. Value Stream Map de Tubing

El tiempo Takt time es el cálculo resultante de dividir el tiempo total de trabajo al día entre la demanda del cliente diaria [9]. Este tiempo define el ritmo de producción para poder cumplir con la demanda del cliente. Para el proyecto, el cual tiene una demanda de 50 unidades de producto al día, disponiendo de 6600 minutos al día, el Takt time resultante es  $6600/50 = 132$  min

Conociendo el Takt time del proceso es posible identificar, por medio de la tabla de tiempos Takt, los procesos que no son capaces de cumplir con la demanda del cliente, éstas se muestran a continuación:

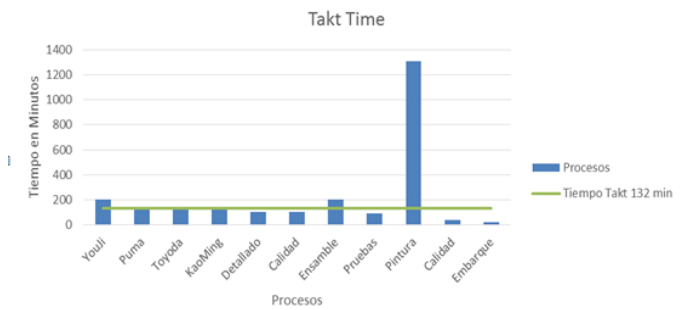


Figura 3. Tiempos de ciclo Vs. Takt time para Tubing

En la figura 3 se observa que hay 3 sub-procesos que salen del tiempo Takt: Youji, Ensamble y Pintura; lo cual significa que no cumplen con el ritmo requerido para satisfacer la demanda con lo que se confirma la necesidad de intervención en el proceso.

#### A. Análisis de la estación Youji, Ensamble y Pintura

Del total de las actividades registradas en un ciclo completo en la Youji, sólo el 49.57% de las actividades resultó ser de Valor Agregado y un 50.42% resultó ser de no valor agregado, por lo que se clasificaron las actividades de no valor agregado por afinidad y se realizó el siguiente diagrama de Pareto:

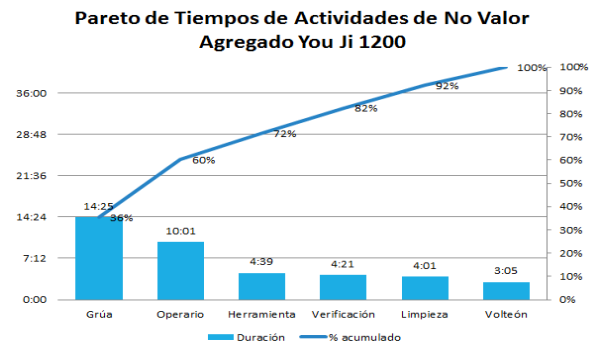


Figura 3. Actividades de Youji de no valor agregado

En este gráfico se observa que la grúa es la actividad que más tiempo utiliza y esencialmente se debe a que la grúa no está disponible para trasladar la pieza o para subir y bajar de la máquina. La segunda operación relevante es del operario, quien no está disponible al momento de requerirse provocando un tiempo de espera. En suma, las actividades de esperar a la grúa, retrasos del operario, las herramientas y la verificación, hacen el 80% del tiempo de retraso en esta operación. Esto nos permitirá focalizar las propuestas de mejora en la siguiente fase del proyecto.

Un análisis similar se hizo para el Centro de Ensamble donde nuevamente las actividades relacionadas con la grúa en primer lugar con 41.27%, también se repite nuevamente la

actividad “herramienta” y el volteón dentro de los primeros lugares en el diagrama de Pareto.

El análisis de Pintura es crucial ya que por mucho su tiempo de ciclo de 1310 minutos, es mayor que cualquier otra estación. Su Pareto reporta que la actividad de representa el 81.53% de las actividades que no agregan valor en pintura con 1068 minutos. Este es el mayor obstáculo y el cuello de botella principal del proyecto. Más adelante se mostrarán las causas-raíz y la propuesta para eliminarlas.

### B. Análisis de la Grúa

Por ser la grúa uno de los elementos que provocan tiempos muertos y retrasos a todas las estaciones de trabajo, se hizo un análisis especial a fin de encontrar alguna oportunidad de mejora. El detalle del Pareto de la figura de abajo muestra el 80% distribuido en orden de importancia: descanso, “volteón”, recoger pieza y sacar pieza.

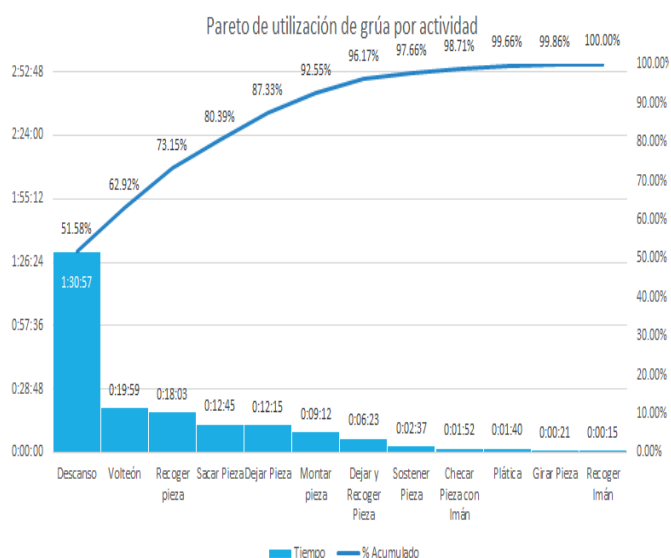


Figura 4. Pareto de las actividades de la grúa

Después de analizar los Pareto y análisis de tiempos y movimientos se identificaron las siguientes áreas de mejora: a) ineficiente uso de la grúa, b) Flujo de Material y *Layout* del área de ensamble, c) Segmentación de procesos y mejora en pintura, d) Implementación de *One Piece Flow*.

Se llevó a cabo una serie de propuestas de solución mismas que fueron priorizadas bajo los siguientes criterios: impacto en las metas, presupuesto de realización, tiempo de ejecución y facilidad de implementación. Al final se llegó a la elección de las siguientes propuestas:

1. Cambiar el proceso de producción al sistema de flujo continuo
2. Diseñar una tarima móvil que supla a la grúa
3. Diseñar *kits* de herramental e instrumental requerido en el área de trabajo del operario

4. Rediseño del área de pintura
5. Rediseño de *layout* en el área de ensamble.
6. Adecuar el uso de un tensor que supla el uso de la grúa.

En la siguiente tabla se muestran la relación de las propuestas con los problemas, los objetivos, los Kaizen’s y el área donde se lleva a cabo la mejora. Un Kaizen es una forma organizada de organizar los equipos de trabajo provocando el total involucramiento y el desarrollo de la creatividad de sus integrantes para plantear soluciones creativas de solución [10].

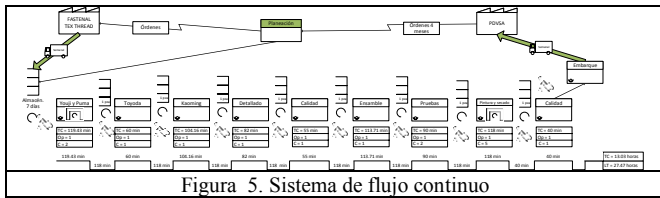
TABLA I.  
PROPUESTAS DE SOLUCIÓN Y SU RELACIÓN CON LOS PROBLEMAS

Propuesta de Solución	Objetivo	Problema a atacar	Kaizen	Área
Cambiar el proceso de producción al sistema de flujo continuo	Evitar el WIP y reducir lead time	Congestionamiento de las áreas de trabajo Mejorar lead time	Desarrollo del flujo continuo	Toda la planta
Diseñar una tarima móvil que supla a la grúa	No depender intensivamente del uso de la grúa	El operario utiliza mucho tiempo para trasladar piezas con la grúa	Uso de tarimas móviles	Toda la planta
Diseñar kits de herramental e instrumental requerido en el área de trabajo del operario	Evitar tiempo de espera por falta de operario	El operario pierde tiempo al trasladarse y buscar el herramental requerido	Uso de Kits de herramientas	Área de maquinado
Rediseñar del área de pintura para un secado rápido	Ajustar el tiempo de secado al tiempo Takt	En pintura el área de secado es grande por inadecuada habilitación del área	Adaptación y mejora del área de secado	Área de pintura
Rediseñar el layout en el área de ensamble	Mejorar los tiempos y movimientos de las operaciones son sentido ergonómico	Área de trabajo que dificulta la operación en el área ensamble	Rediseño de las mesas de ensamble	Área de ensamble
Rediseño de la operación de “volteo”	Reducir el tiempo de uso de la grúa	Reducir los tiempos de espera por falta de grúa	Rediseño de la operación de “volteo”	Área de maquinado
Adecuar el uso de un tensor en pintura que supla el uso de la grúa.	Eliminar el tiempo de espera de la grúa	Dependencia de la grúa durante el tiempo total de la actividad de pintura	Reemplazo de la grúa por un tensor	Área de pintura

#### IV. MEJORAR

A continuación se describen los resultados de las mejoras llevadas a cabo:

Sistema de flujo continuo.- El sistema de producción fue rediseñado, ahora con la inclusión de supermercados y la formación de una celda de producción en las estaciones youji, Puma y Toyoda. Los supermercados amortiguan las diferencias de tiempos de ciclo, promoviendo que el flujo continuo. Las tarimas móviles fueron especialmente útiles para eliminar los tiempos muertos de la grúa. El sistema de producción fina se muestra en el siguiente gráfico:



Tarima móvil.- Se busca eliminar el uso de la grúa para el transporte de piezas dentro del piso de producción ya que ocasiona esperas a lo largo de todas las operaciones. Tiene un tamaño de 80x80cm de manera que sólo permite transportar una pieza a la vez, con lo que ahora el lote es de una sola pieza; se identifica la orden de trabajo de la pieza el cual permite identificar la pieza con fines de trazabilidad.

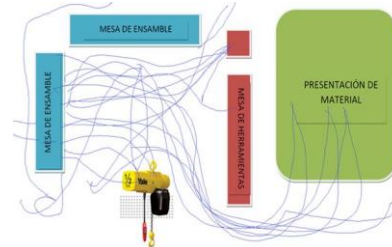


Kits de herramientas.- El propósito de esta propuesta es disminuir los tiempos que el operador invierte en proceso por ir a buscar herramientas al almacén de herramientas. El ir a buscar las herramientas se encontró dentro del 80/20 en los gráficos de Pareto de todos los procesos fuera y dentro de tiempo Takt, representando en promedio un 7.23% del tiempo invertido en actividades de no valor agregado o 4.31 minutos. El kit de herramientas consiste en un carrito de herramientas clasificado según el tipo de trabajo a realizar dispuesto en el lugar de trabajo a disposición del operario.

Rediseño del área de pintura.- Existe un gran cuello de botella del proceso de secado, operando dos sub-procesos independientes; con el rediseño, ahora sea maneja como una celda de trabajo con lo que un solo operador tiene el control de

los dos sub-procesos; además esto permite crear un flujo continuo y lógico de las piezas; el nuevo mecanismo considera llenar el área de secado en una secuencia tal que se facilita el tránsito de la fila y asegura retirar la última pieza totalmente seca.

Rediseño de *Layout* en ensamble.- Otro de los procesos que ocasionaban cuellos de botella en el proceso de producción de piezas es el área de ensamble, se elaboró el Diagrama de Espaguetti que se muestra en la Figura 7 y se hicieron las disposiciones del espacio requeridas para minimizar los traslados.



El rediseño incorpora una mesa giratoria que permitiera a los operarios tener accesos de 360 grados al ensamble, lo que elimina los riesgos ergonómicos y reduce el tiempo de ciclo.

Rediseño de la operación de volteo.- En el área de producción se requiere voltear las piezas para realizar la operación consecutiva. El volteado de piezas, nombrado “volteón”, aparece en todos los Paretos de los procesos productivos. El volteado es una actividad que también requiere de la grúa en un 11.25% del tiempo de operación total de la grúa. Se rediseñó proceso de volteado utilizando la grúa pero reduciendo las maniobras significativamente; el rediseño fue probado por el equipo consultor con ayuda del personal de la planta. El resultado fue una disminución de 80% del tiempo invertido en voltear una pieza, pasando de 6 minutos en promedio a 40 segundos.

Uso de Tensor en pintura.- En el área de pintura la grúa es indispensable para realizar el proceso, las piezas se colgaban de la grúa para ser pintadas, y mientras se pintaban todo el tiempo la grúa podría haber sido utilizada en otros procesos, como por ejemplo en el ensamble o la transportación de piezas.

#### V. RESULTADOS

La introducción de las mejoras en la línea de producción trajo consigo resultados que redujeron contundentemente los tiempos de proceso, tiempos de espera e inventarios en la línea. Las piezas ahora fluyen por la línea de producción con esperas mínimas y WIP solo lo necesario para mantener fluida la operación. En general el nuevo proceso contiene un mejor balanceo que el original además de que todos los tiempos de ciclo quedaron por debajo del Takt time de 132 minutos.

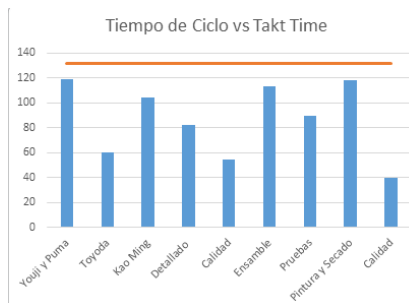


Figura 8. Sistema de flujo continuo

Respecto a reducción de Lead Time de 20 a 2 días fue promovida por la eliminación de los tiempos de espera y en algunos casos por la eliminación del uso de la grúa; lo cual ocasionaba que algunos sub-procesos tenían un tiempo de ciclo superior al Takt time. En especial el área de pintura donde el secado generaba un cuello de botella que se traducía en altos inventarios; esto mejoró con la iniciativa de promover el flujo continuo del proceso.

El rediseño del área de secado, junto con la mejora implementada por el equipo de la planta en el área de pintura, permitieron reducir considerablemente los tiempos de proceso en estas áreas y disminuir los tiempos de ciclo que liberaron al resto de los procesos de las esperas innecesarias. La figura 6 incluye el recorte y ampliación del VSM actualizado donde aprecia el nuevo tiempo de ciclo el cual se logró reducir de 20 días a 27.47 horas es decir 1.14 días, lo que significa superar la inicialmente establecida de 2 días.

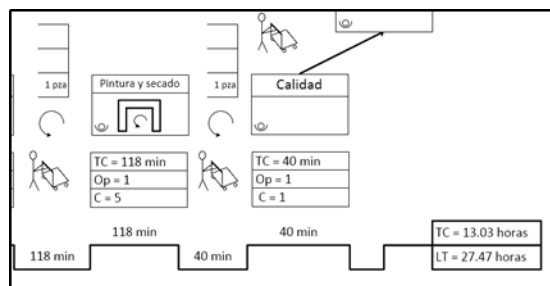


Figura 9. Fragmento del VSM que destaca Pintura

En suma, las metas inicialmente planteadas en el proyecto fueron incrementar un 25% la capacidad de producción mediante: a) reduciendo el lead time de producción de 20 a dos días y b) acelerando el Takt Time de 165 a 132 minutos.

## VI. CONCLUSIONES

El uso de la metodología Lean Six Sigma resultó apropiadamente útil para llevar a cabo el proyecto desde la fase diagnóstica hasta la implementación de las iniciativas de solución propuestas. La empresa donde se llevó a cabo el proyecto resultó igualmente beneficiada por los resultados alcanzados que le permitieron incrementar el 25% su

producción y con ello cumplir con la nueva demanda de sus clientes. Por último, lo más importante del proyecto fue el impacto que tuvo en el crecimiento profesional de los alumnos de Ingeniería Industrial y de sistemas quienes lo llevaron a cabo enfrentando exitosamente el reto profesional y con ello, concluir sus estudios profesionales de graduación.

## REFERENCES

- [1] Lean Enterprise Institute. (s.f.). Principles of Lean. Obtenido de Lean Enterprise Institute: <http://www.Lean.org/WhatsLean/Principles.cfm>
- [2] Feld, W. Lean Manufacturing- Tools, Techniques and How to Use Them. Florida: APICS. 2001.
- [3] Carreira, B. Lean Manufacturing That Works. New York: AMACOM [4] Brassard, M., Finn, L., Ginn, D., & Ritter, D. (1994, 2005). El impulsor de la memoria II Seis Sigma. Salem, Massachusetts: GOAL/QPC. 2005.
- [4] Pyzdek, T., & Keller, P. The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Levels. McGraw-Hill. 2009.
- [5] Schonberger, R. Best Practices in Lean Six Sigma Process Improvement. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 2008.
- [6] Howard Gitlow, D. L. Six Sigma for Green Belts and Champions . USA: Pearson/Prentice Hall. 2005.
- [7] Rother, M., Shook, J., Womack, J., & Jones, D. Learning To See. Brookline: The Lean Enterprise Institute. 1999.
- [8] Villaseñor, A., & Galindo, E. Manual de Lean Manufacturing. Ciudad de México: LIMUSA Noriega Editores. 2007
- [9] MacInnes, R. The Lean Enterprise Memory Jogger. Salem: GOAL/QPC.2002
- [10] Stewart, J. The Toyota Kaizen Continuum. Estados Unidos de América: CRC Press GOAL/QPC. 2012.