

Aplicación de la metodología Lean Six Sigma en la mejora continua de procesos: Un estudio de caso.

Sofía Presa García

Introducción

Lean Six Sigma (LSS) es una metodología que en la actualidad tiene un impacto importante en la mejora de procesos para hacer frente a los problemas que enfrentan las empresas y organizaciones [1]. Por tal motivo, la aplicación de esta metodología ha incluido tanto compañías multinacionales, como pequeñas y medianas empresas [1], con el objetivo de optimizar sus recursos, agregar valor y reducir los tiempos y costos de las actividades propias de cada organización y compañía para incrementar la satisfacción del cliente [1,2].

Actualmente, las contribuciones teóricas y el desarrollo metodológico son muy escasos debido a que son pocos los estudios de caso en donde se lleve a cabo una estricta aplicación de la metodología LSS. Por un lado, una de las principales causas de esta dificultad para una buena aplicación, es la ausencia de indicadores de desempeño como base para la aplicación de la misma, además de la poca claridad percibida por los directivos y mandos medios sobre los efectos positivos de una cultura de mejora continua, lo que se refleja en un bajo compromiso ante el cambio [4-6]. Por otro lado, otra causa es la idea errónea que la aplicación de la metodología LSS implica forzosamente la reducción de beneficios financieros y/o materiales, o bien, una reducción de la plantilla de trabajadores [4-6]. Sin embargo, la necesidad de resolver los problemas de las organizaciones ha hecho que se incorpore LSS como una herramienta eficaz capaz de intervenir positivamente en la resolución de problemas. Además, la diseminación de los resultados y los efectos positivos de las intervenciones de la metodología LSS ha generado un clima de mayor aceptación entre las compañías y organizaciones paulatinamente. A pesar que existen estudios en donde el impacto de la intervención ha sido nula [16], esto se ha relacionado por las dificultades mencionadas previamente. Por este motivo, son importantes los estudios de caso como una manera de contrastar empíricamente las herramientas y el enfoque teórico que conlleva la metodología LSS.

Conceptos básicos de LSS

De acuerdo con Polesky [7], existen varias metodologías utilizadas para LSS para alcanzar los objetivos que se plantean. Por ejemplo, para la búsqueda y afianzar la entrada de un servicio o producto, se utilizan las herramientas del CQDFSS (Commercial, Quality, Design, Fox, Six). Sin embargo, si el objetivo es desarrollar nuevos productos o procesos y no hay forma de evaluarse, entonces se utiliza el IDOV (Identify, Design, Optimize, Validate). También, una metodología para rediseñar procesos, que a pesar de haber sido sometidos a un proceso de mejora, no están cumpliendo con los objetivos de mejora, se ha utilizado las herramientas DMADV (Define, Measure, Analyze, Design, Verify). Por último, uno de las metodologías del

LSS más utilizadas, es DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control), que tiene como objetivo la mejora de los procesos que ya existen. Esta última metodología, han sido utilizada por diversos autores debido a que en las empresas, uno de los problemas con los que se enfrentan es precisamente con procesos ya existentes que ameritan una mejora debido a que los resultados no cumplen con las expectativas del cliente.

Las 5 fases del DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar) están establecidas en orden cronológico, de esta forma su aplicación se establece de acuerdo con lineamientos temporales. Sin embargo, en cada una de las etapas establecidas, se han desarrollado diversas herramientas de aplicación para llevar adelante cada una de las fases de la metodología. Por ejemplo, en la primera etapa, la denominada fase de “definición”, dentro de la serie de herramientas que se han utilizado son Team Charter (carta de equipo), así como el Diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Clients), la herramienta denominada CTQ’s (Critical to Quality), y la Recolección de VOC (voz del cliente) en otras. Estas herramientas, no necesariamente tienen que aplicarse en su conjunto, las herramientas que mejor se adapten a los problemas de cada caso, son las herramientas que se deben de utilizar. Esto es importante señalar, debido a que en cada fase del DMAIC se han desarrollado múltiples pasos y herramientas que pueden ser utilizados, pero no sin antes haber contextualizado y tener situado algunas características del problema. Por lo tanto, la aplicación de las herramientas por si solas no puede tener el impacto esperado, es necesario conocer el problema y evaluar qué herramientas convienen más en su aplicación con el fin de alcanzar de manera precisa y eficaz las metas propuestas. Por ejemplo, en estudio realizado por Gnanaraj, Devadasan, Murugesh, & Sreenivasa, [8], propusieron un modelo para implementar LSS en PYMES. Este modelo tuvo variantes del DMAIC (incorporando incluso más fases), esto con el objetivo de implementar el LSS no solo a un nivel sino a cinco niveles.

Lean six sigma en PYMES

De acuerdo con el desarrollo y aplicación de LSS en las organizaciones, ha surgido la necesidad de adaptar este tipo de enfoques a las características de las PYMES [11]. Por esta razón, expertos en el tema han propuesto algunos enfoques metodológicos, pero algunos de estos presentan equivocaciones, como suponer la disponibilidad de datos e información confiable; no considerar la importancia de los métodos de interacción con el cliente, los cuales permiten una retroalimentación constante; no toman en cuenta el liderazgo y el cambio cultural como un factor clave; no proponen estrategias específicas para superar las limitaciones financieras y estructurales de las PYMES; no se contempla la creación de redes con entidades públicas, organismos multilaterales, gremios, centros de investigación o instituciones académicas con el fin de superar los desafíos financieros, técnicos y tecnológicos que implica la implementación de LSS [9]. Para implementar LSS con éxito en una PYME se deben tener en cuenta muchos aspectos y factores críticos, entre los cuales se tienen: el compromiso de la dirección; la cultura organizacional; la articulación de LSS con la estrategia de la organización; el enfoque al cliente; la formación en LSS; las capacidades y competencias para la gestión y

ejecución de proyectos; el nivel de conocimiento de la metodología y herramientas; la priorización de los proyectos LSS; y la capacidad financiera, técnica y tecnológica [3,4,5,12].

Procedimiento

El estudio de caso se sitúa en una PYME que realiza servicios de consultoría e ingeniería. A continuación se describe el planteamiento del problema que surgió dentro de la organización, específicamente en el área de ingeniería eléctrica, y el procedimiento que se llevó a cabo para solventarlo, a través de la metodología LSS.

De acuerdo con el cambio de titularidad en algunas instalaciones eléctricas de distribución, fue necesario realizar una adaptación del sistema de control y protecciones en las mismas. Esto implicó además el montaje de equipos de medida indirecta así como elementos y aparataje asociada en el punto frontera entre las organizaciones que propietarias de las instalaciones eléctricas.

En este sentido, el reto de la PYME fue adaptar el sistema de control y de protecciones a la normativa de la nueva empresa propietaria, con equipos homologados por la misma, y además, establecer un sistema de medida de energía en el punto frontera de ambas organizaciones.

Las instalaciones no podrían interrumpir su funcionamiento durante los trabajos de ejecución. Por ello se estableció un calendario de descargos en las mismas que permitiera trabajar en una de las posiciones mientras se aseguraba el suministro a través de otra/s posición/es. El calendario de descargos marcaba las fechas de desarrollo y ejecución de las ingenierías.

El reto del departamento de ingeniería eléctrica suponía mejorar los procesos durante el desarrollo de la ingeniería, a fin de reducir los tiempos de desarrollo de la misma, sin que esto afectara la calidad de la misma y, de esta manera, poder cumplir el calendario de descargos propuesto por el cliente. Se realizó una reunión en que se evaluaron las diferentes opciones para abordar el problema. Una de ellas fue precisamente la aplicación de la metodología LSS. Para esto, se decidió aplicar las herramientas del DMAIC, considerando que su aplicación ayudaría a mejorar los tiempos de entrega de las ingenierías sin que ello afectara a la calidad de las mismas.

Aplicación de DMAIC para proyectos LSS en PYMES

FASE 1.- Definir

En un primer momento, se aplicaron tres herramientas para definir con claridad a los clientes, sus características así como sus necesidades. Para esto, se utilizó el Project Charter y el Customer to Quality (CTQ), así como la herramienta denominada SIPOC (supplier, input, process, output, customer).

PROJECT CHARTER

Caso de negocio	Alcance
Los descargos acordados entre las empresas propietarias de las instalaciones, no permite el retraso en la entrega de las ingenierías. Con ello, el tiempo establecido por el cliente para el desarrollo de las mismas es entre 2 y 5 semanas.	<p><u>Dentro del alcance:</u> Trabajos de desarrollo de ingeniería a partir del acta de visita¹, hasta el envío de la documentación impresa.</p> <p><u>Fuera del alcance:</u> Visitas previas a las instalaciones y desarrollo del acta de visita.</p>
Declaración del problema	Miembros del equipo
La media histórica para el desarrollo de la ingeniería para una posición es de 4,8 semanas. Ello supone que 21,4 % de las ingenierías se ha entregado fuera del límite de especificación superior (LES) establecido por el cliente.	<ul style="list-style-type: none">-Responsable del Departamento-Ingenieros de desarrollo-Técnicos delineantes
Declaración de las metas	CTQ
Reducir los tiempos de desarrollo de las ingenierías de modo que se encuentre entre los límites de especificación inferior (LEI = 2 semanas) y superior (LES = 5 semanas) establecidos por el cliente.	<p>No encontrar la expectativa del cliente en la característica CTQ, impacta directamente en las metas organizacionales a alto nivel, con la reducción de la contratación de nuevos trabajos de ingeniería.</p> <p>El tiempo establecido por el cliente para el desarrollo de las mismas es entre 2 semanas (LEI) y 5 semanas (LES).</p>

Tabla 1. Project Charter.

¹ Es el reporte elaborado a partir de la visita a las instalaciones eléctricas, previo al inicio de los trabajos. En esta visita se recaban y/o comprueban datos de la apartamentada de la instalación eléctrica existente, se toma documentación gráfica y, se definen los parámetros necesarios para el desarrollo de la ingeniería.

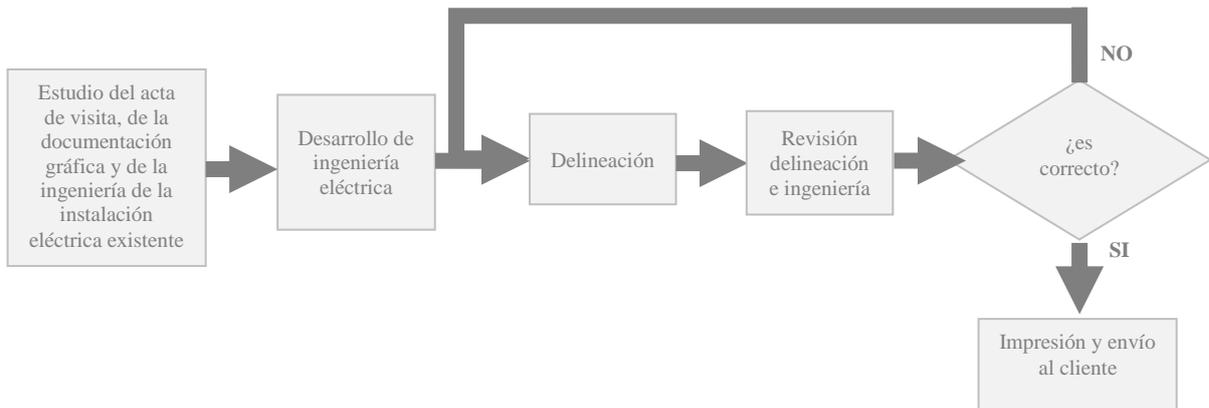
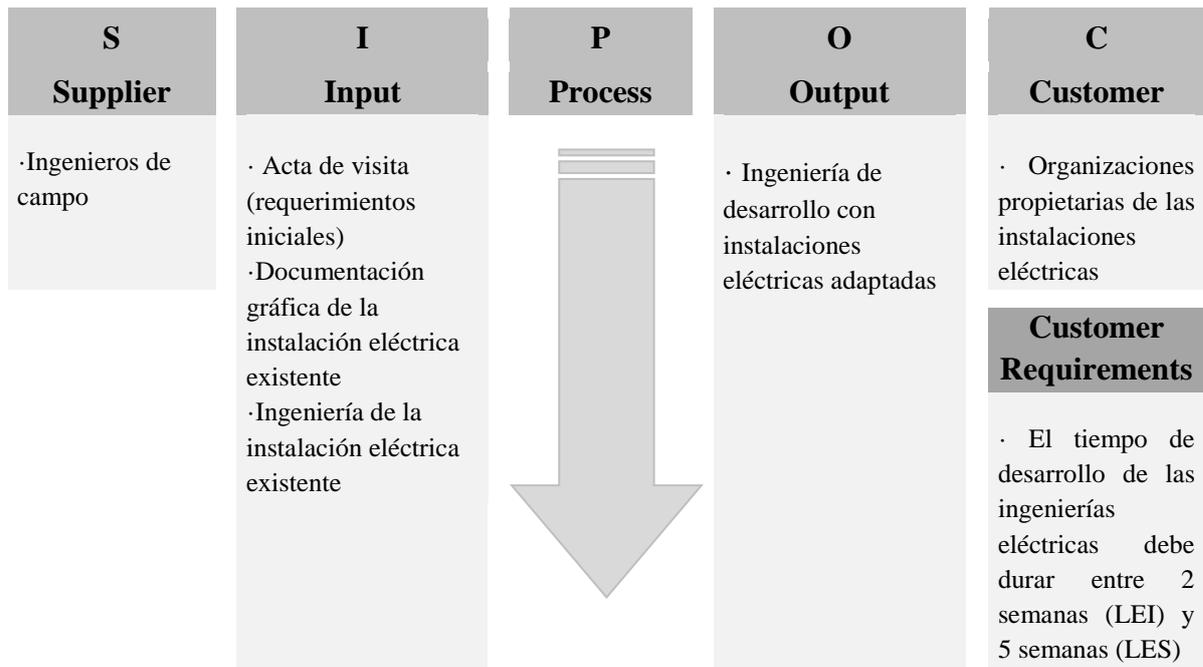


Figura 1. Diagrama SICOP.

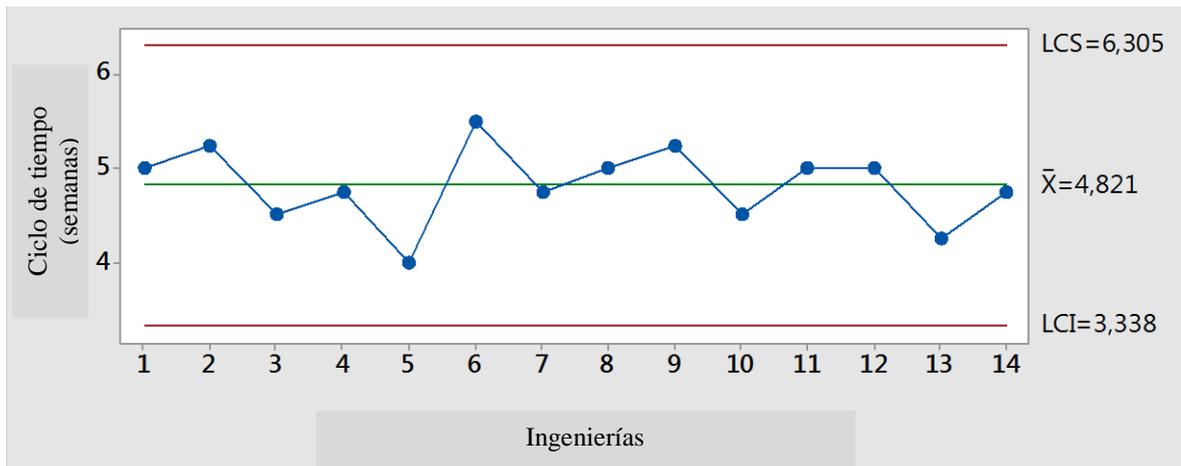
Una vez aplicadas estas herramientas (Project Charter-VOC, el diagrama SICOP), los resultados se presentaron en la reunión de revisión de la fase definir a los stakeholders de la PYME. En esta reunión se señaló una nueva restricción: no podría contratarse a ningún otro delineante y/o ingeniero para el desarrollo de las ingenierías. Es decir, que se tenía que realizar el proyecto sin contratar a más personal. Posteriormente, habiendo clarificado los resultados de esta fase se pasó a la siguiente del DMAIC.

FASE 2.- Medir

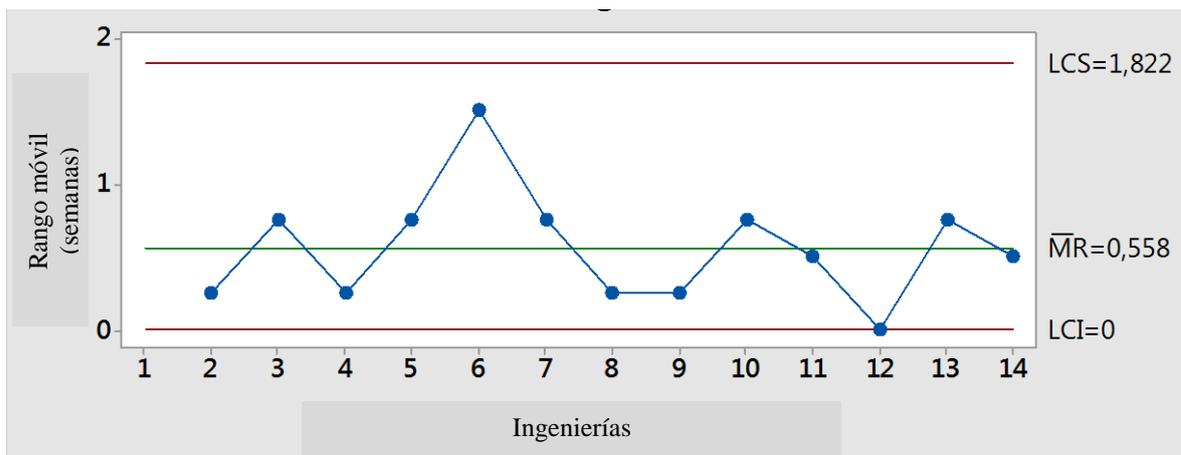
Un aspecto fundamental dentro de la metodología LSS es el uso de datos para el análisis de los procesos, la toma de decisiones y el diseño de mejoras. Para esto, fue necesario definir un plan de recolección de datos a través de la implementación de un sistema de medición para asegurar que los datos fueran un reflejo exacto del objeto de estudio. Esto permitiría identificar la causa-raíz de los problemas durante el desarrollo de la ingeniería y comprobar la efectividad de las mejoras que fueron implementadas. En este

sentido, se establecieron medidas de desempeño que permitieron evaluar la efectividad de las mejoras realizadas. Esto fue denominado como “ciclo de tiempo”. En este “ciclo de tiempo”, se incluyeron el tiempo de desarrollo de la ingeniería, el tiempo de delineación, el tiempo empleado en la revisión de la misma, el tiempo para realizar las impresiones, y su respectivo envío. Se consideró el inicio del ciclo de tiempo desde el momento que se recibía el acta de visita y la ingeniería existente de la instalación eléctrica, y su finalización en el momento en que se realizó el envío del resultado en papel y en digital. También, se incluyeron dentro del “ciclo de tiempo” los contratiempos, como fue el caso de la falta de documentación de la instalación eléctrica existente.

Para establecer la línea base del proceso, se midió el ciclo de tiempo para el desarrollo de 14 ingenierías. Los resultados de esta línea base del proyecto fueron una media de 4,821 semanas y una desviación típica de 0,4944. A continuación se representa los resultados obtenidos.



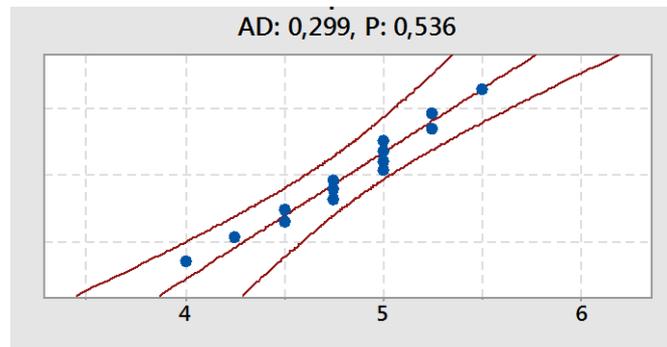
Gráfica 1. Diagrama de control de observaciones individuales.



Gráfica 2. Diagrama de control de rangos.

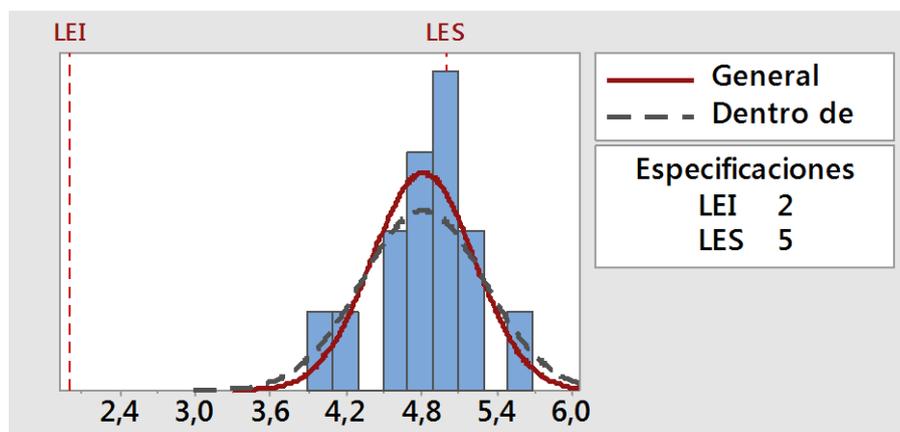
Como se comprueba en la Gráfica 1 y la Gráfica 2, los datos mostraron que los puntos siguieron un patrón aleatorio sin exceder los límites de control, considerando que el

proceso de desarrollo de ingenierías se encontró bajo control y no se apreciaron dependencias. Además, de acuerdo con la Gráfica 2, los puntos del diagrama de rangos móviles que representan la diferencia entre dos mediciones individuales consecutivas, presentaron una nube aleatoria, demasiado horizontal, en la cual no se observaron desplazamientos ni tendencias. Estos resultados aportaron datos para considerar que el proceso se encontró bajo control.



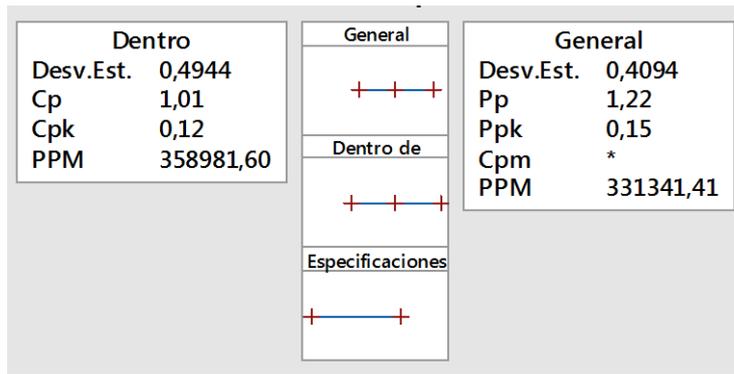
Gráfica 3. Probabilidad normal.

Para poder interpretar correctamente los índices de capacidad obtenidos, se comprobó que los datos verificaban la hipótesis de normalidad. Como se muestra en la Gráfica 3, el nivel P-valor (0,536) resultó mayor que α (0,05), lo que demuestra normalidad en los datos.



Gráfica 4. Histograma de capacidad.

Además, en la Gráfica 4, también se puede comprobar que los datos provinieron de una distribución aproximadamente normal. Sin embargo la media del proceso resultó superior al objetivo, descendiendo en su parte derecha fuera del límite de especificación superior (LES = 5 semanas). Esto significó que el ciclo de tiempo para el desarrollo de algunas ingenierías fue superior a la especificación de 5 semanas establecidas por el cliente.



Gráfica 5. Gráfico de capacidad.

Los índices de capacidad son valoraciones numéricas de la capacidad del proceso que señalan los niveles que estadísticamente cumplen con las especificaciones del proceso, de forma que se dice que un proceso es capaz si cumple con las especificaciones del cliente. En la práctica, se suele considerar el valor 1,33 como valor mínimo aceptable de un índice de capacidad; es decir, cualquier valor por debajo de esta cifra indicaría que, aunque esté bajo control estadístico, el proceso no cumple con las especificaciones deseadas [10]. Los índices de capacidad asociados con la variación a corto plazo son C_p y C_{pk} , y a largo plazo P_p y P_{pk} .

La Gráfica 4 muestra que el proceso no estaba centrado en los límites de especificación. Por ello, en este caso se estudió el índice C_{pk} , siendo éste el cociente entre la amplitud tolerable del proceso, y la amplitud real del mismo, considerando la media del proceso respecto al punto medio de los límites de especificación [10].

$$C_{pk} = \text{Min} \left\{ \frac{(\mu - LEI)}{3\sigma}, \frac{(LES - \mu)}{3\sigma} \right\} \quad (1)$$

La Gráfica 5 demostró que el proceso se encontraba fuera de los límites de especificación superior ($LES = 5$ semanas). El índice de C_{pk} (0,12) que permite determinar si el proceso genera unidades que verifiquen las especificaciones del cliente, resultó ser muy inferior al valor de referencia (1,33). Este dato significaba que se necesitaba mejorar el proceso de desarrollo de estas ingenierías a fin de lograr que éste fuera capaz, es decir, que cumpliera las especificaciones del cliente.

FASE 3.- Análisis

En esta fase se utilizaron las herramientas LSS para identificar la causa-raíz. Para esto, se llevó a cabo un registro de las causas potenciales. Posteriormente, se realizó una validación de las causas a través de métodos estadísticos y análisis por equipos de trabajo. Una vez llevado a cabo este procedimiento se determinó las causas que presentaban mayor impacto sobre el problema.

Para identificar las causas potenciales se utilizó el diagrama de Ishikawa (ver Figura 2) que fue elaborado a través de un brainstorming grupal con el equipo de trabajo que participó en el estudio. Se llegó a un acuerdo en el que la mayor cantidad de problemáticas se reflejaban dentro de 5 categorías: implicados, método, ambiente, documentación y máquina.

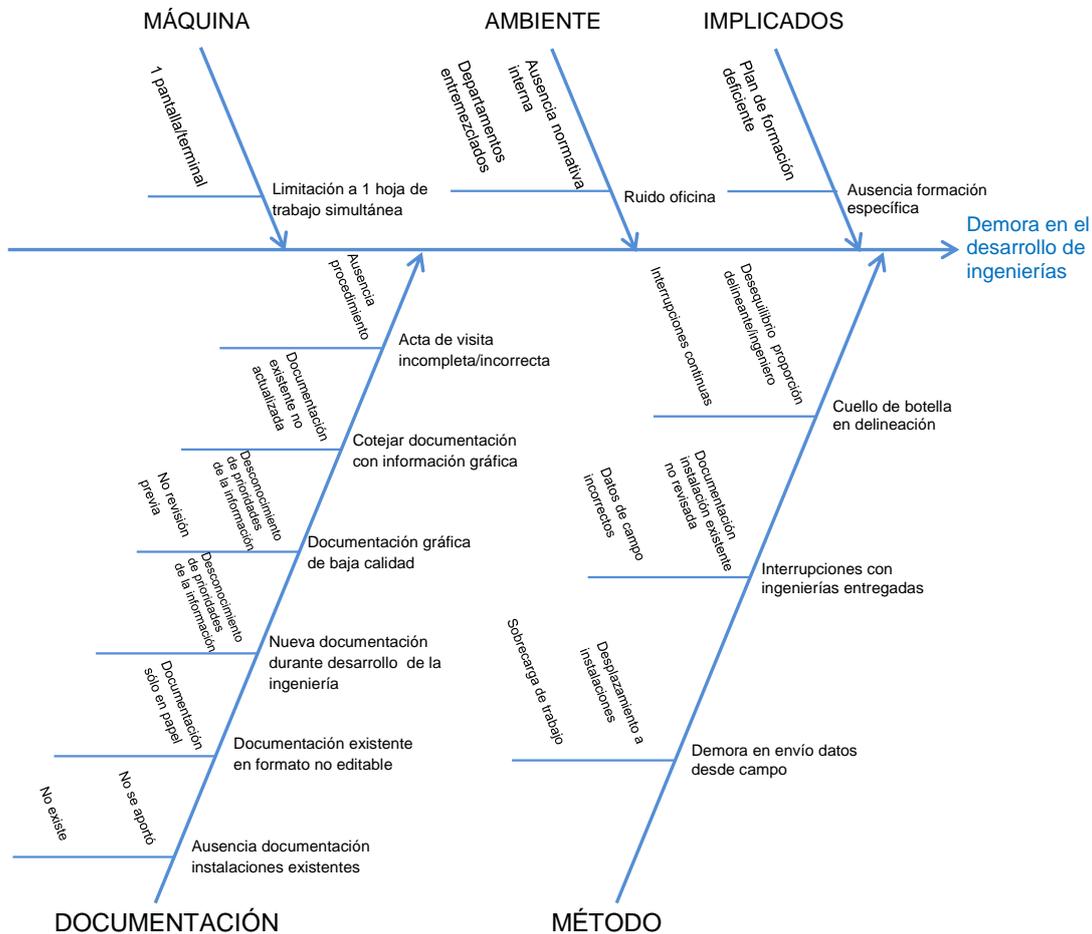


Figura 2. Diagrama de Ishikawa (causa y efecto).

Además, se realizaron otras medidas que permitirían realizar un análisis estadístico para identificar las causas-raíz del problema. Para esto, se identificaron los problemas que con mayor frecuencia se encontraron los ingenieros durante el desarrollo de los trabajos, y que supusieron una dilatación del plazo de entrega de los mismos. Con ello se realizó una toma de datos que permitió realizar un diagrama de Pareto (ver Figura 3). Las categorías en las que se estudiaron fueron las siguientes:

1. Frecuencia con la que ha aparecido documentación más actualizada de las instalaciones eléctricas existentes durante el desarrollo de la ingeniería.
2. Frecuencia con la que han acontecido interrupciones durante el desarrollo de nuevas ingenierías con dudas/cambios de ingenierías ya entregadas.

3. Frecuencia con la que la ausencia de formación específica ha sido un inconveniente para el desarrollo de las ingenierías.
4. Frecuencia con la que el acta de visita ha estado incompleta, o bien los datos eran incorrectos.
5. Frecuencia con las que hubo demora en el envío de datos desde campo.
6. Frecuencia con la que no había documentación de las instalaciones eléctricas existentes, o bien la misma estaba incompleta.
7. Frecuencia con la que ha sido necesaria cotejar la documentación existente con documentación gráfica.
8. Frecuencia con la que se han encontrado un cuello de botella en la delineación.
9. Frecuencia con la que la documentación de la instalación eléctrica existente no se ha encontrado en formato abierto y editable.

Un aspecto importante mostrado durante la investigación de las causas-raíz, fue que las causas-raíz de tipo cualitativo no se incluyeron en el análisis, debido a que por su condición, no pudieron ser medibles en la intervención. Estas fueron las siguientes:

1. Frecuencia con la que el ruido en la oficina supuso un inconveniente para el desarrollo de la ingeniería.
2. Frecuencia con la que el hecho de poder trabajar sólo en una hoja de trabajo a la vez supuso retrasos en el desarrollo de la ingeniería.
3. Frecuencia con la que la documentación gráfica recibida fue de baja calidad.

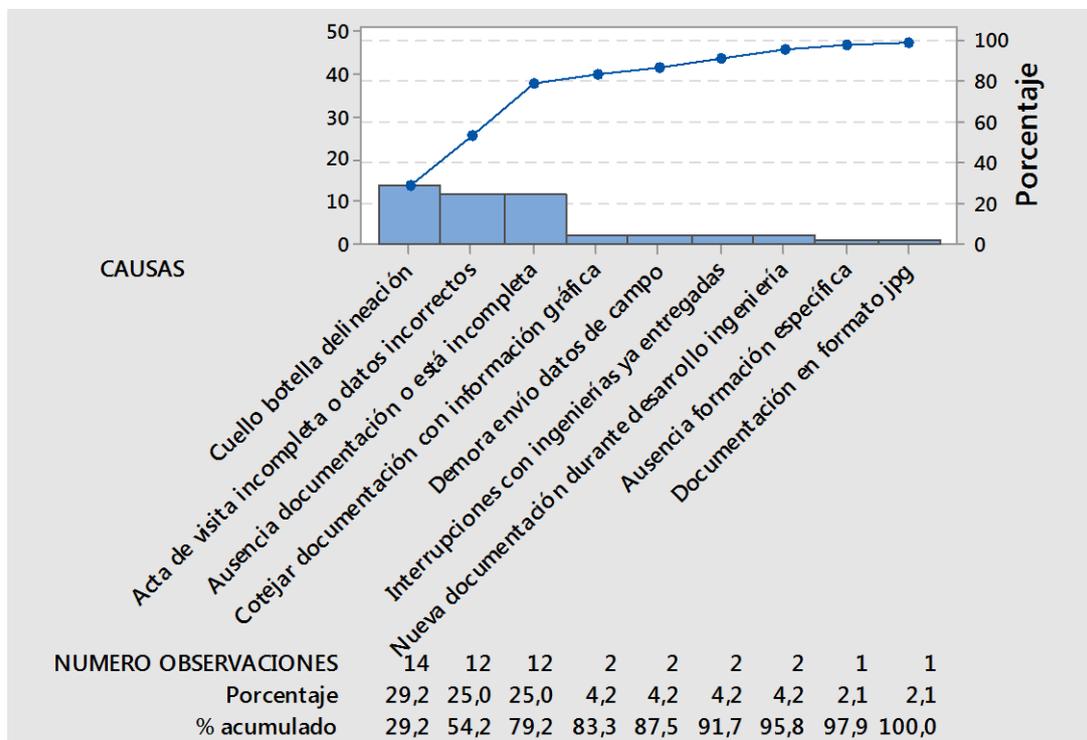


Figura 3. Diagrama de Pareto de Causas.

Como se muestra en el Diagrama de Pareto (Figura 3), las 3 principales causas que provocaron cerca del 80 % de los problemas fueron las siguientes:

1. Frecuencia de cuellos de botella en la delineación.
2. Frecuencia con la que el acta de visita estaba incompleta, o bien, los datos incluidos en la misma fueron incorrectos.
3. Frecuencia con la que no existe documentación sobre la instalación eléctrica existente, o bien, la misma estaba incompleta.

FASE 4.- Mejorar

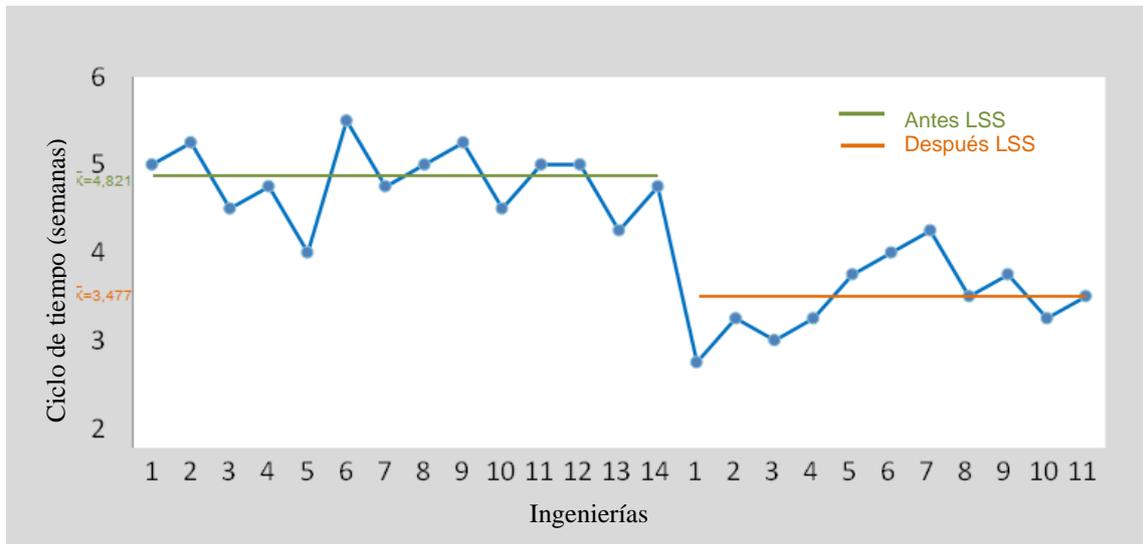
Una vez identificadas las causas-raíz, se buscaron soluciones a las mismas. Para ello, en un primer momento, se aplicó la técnica de brainstorming, y posteriormente se empleó la técnica de pensamiento invertido (reverse thinking). Estas dos técnicas fueron utilizadas con el fin de involucrar de manera activa a los miembros del grupo, además de emplear su experiencia profesional para la creación de posibles soluciones. Las soluciones encontradas se integraron en un plan piloto que permitió realizar un seguimiento y control de las acciones realizadas. Para esto, se definieron acciones específicas para resolver los problemas encontrados y poder alcanzar los objetivos establecidos.

Las acciones de mejora arrojadas a través de estas dos técnicas fueron las siguientes.

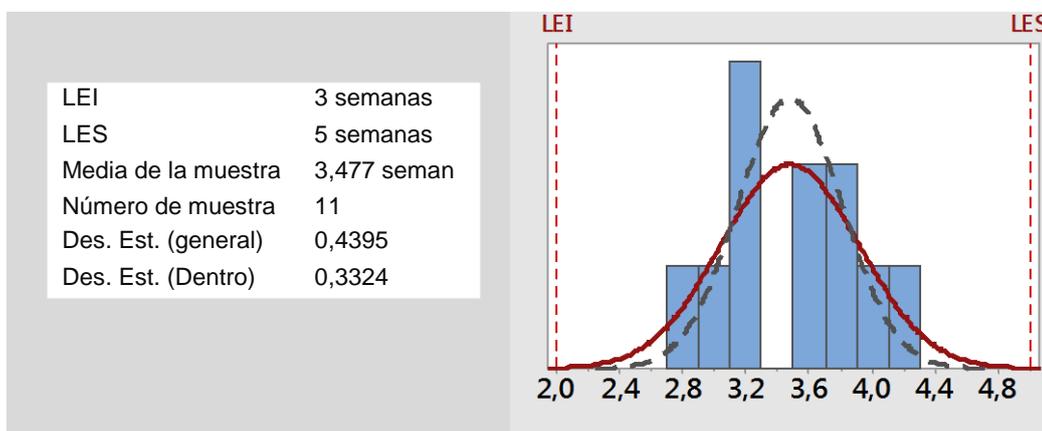
1. Acciones frente a cuellos de botella en la delineación. Se observó que la proporción delineante/ingeniero era 1 a 3. En relación con los acuerdos alcanzados durante la reunión previa a la fase de medición, no se podría contratar a más técnicos en el equipo de delineación. Por lo tanto, se profundizó en las tareas desarrolladas por la delineación. Como resultado, se encontró que una parte importante de su trabajo correspondía a tareas repetitivas, que por ende podrían automatizarse. Por esta razón, se desarrollaron herramientas elaboradas en el lenguaje de programación utilizado por el software de diseño asistido, que permitieron realizar este tipo de trabajos de forma automática y así reducir los tiempos en el desarrollo de los mismos. Por otro lado, se descubrió que otro problema relacionado con el cuello de botella en las tareas de delineación fueron las interrupciones continuas debido a que los delineantes eran los únicos encargados de utilizar las impresoras a color y los plóter. Para solventarlo, se habilitó el uso de las impresoras de color y los plóter a todos los ingenieros del equipo.
2. Acciones para prevenir acta de visita estaba incompleta, o bien, los datos incluidos en la misma fueron incorrectos. A fin de resolver este problema con el acta de visita, se decidió redactar una serie de procedimiento de trabajo a seguir. Los procedimientos establecidos fueron los siguientes.

- Se estableció como prioridad que la visita a campo para recabar los datos incluidos en el acta de visita, debía de ser realizada por el ingeniero que desarrollaría posteriormente los trabajos de ingeniería. En caso de no ser posible, el ingeniero que llevaría a cabo la visita de campo debería realizar una videoconferencia con el ingeniero de diseño, a fin de concretar los problemas con la documentación de la instalación existente, puntos importantes, etc.
 - Se preparó un Check list con los datos que debían incluir obligatoriamente el acta, a fin de no olvidar ninguno durante la visita a campo. El área de ingeniería debería revisar la documentación existente antes de la visita previa a la instalación, y preparar la documentación para comprobar en la misma. Esta rutina incluía los siguientes elementos.
 - Listado declarado de fotografías de la instalación que debían ser tomadas.
 - Preparación del esquema unifilar con los datos de la aparamenta.
 - Planos de planta de la instalación para realizar los trazados de los cables, bandejas y canalizaciones, situación de los armarios, etc.
 - Check list con las características de los equipos a verificar en campo, y marcado de aquellos que se desconocían sus datos
 - Apartado para anotar datos desconocidos y contradictorios.
 - Una vez realizada el acta, el ingeniero que desarrollaría los trabajos, debería revisar la documentación gráfica y el acta para corroborar que los datos eran correctos, enviando un documento de aprobación, o bien, de disconformidades si faltara algún dato y/o información.
3. Acciones para resolver el problema de ausencia de documentación de instalación eléctrica existente. Se elaboró un formulario para solicitar la documentación que no se disponía. Este formulario también incluiría un registro de incidencias. El formulario se elaboraría mucho antes del inicio de la ingeniería, con tiempo suficiente para que el cliente pudiera facilitar la documentación, y en caso que no existiera, se buscarían soluciones alternativas sin restarle tiempo al proceso.

Una vez realizados estos procedimientos se comenzó con la etapa de la implementación de las acciones correctivas. Para esto, se llevó a cabo una serie de análisis estadísticos a fin de revisar los resultados de esta implementación. Estos análisis incluyeron la revisión de la media de duración de ingeniería. En este sentido, los resultados arrojaron que duración de la ingeniería pasó de 4,821 semanas, que fue la evaluación inicial, a un tiempo de 3,477 semanas. Esto supuso una reducción del 27 % del tiempo. Asimismo, esto generó un decremento del nivel sigma de 0,4944 a 0,3324.



Gráfica 6. Diagrama de control de observaciones individuales ANTES/DESPUÉS LSS.

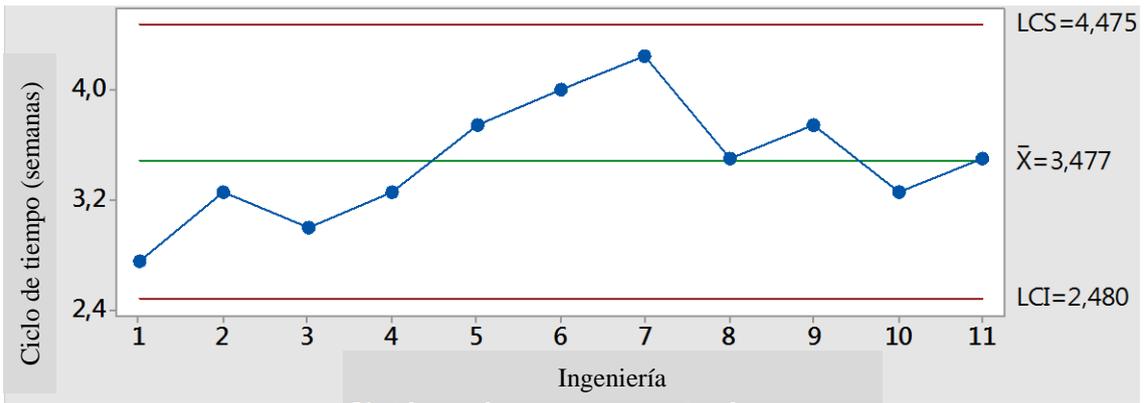


Gráfica 7. Informe capacidad del proceso DESPUÉS LSS.

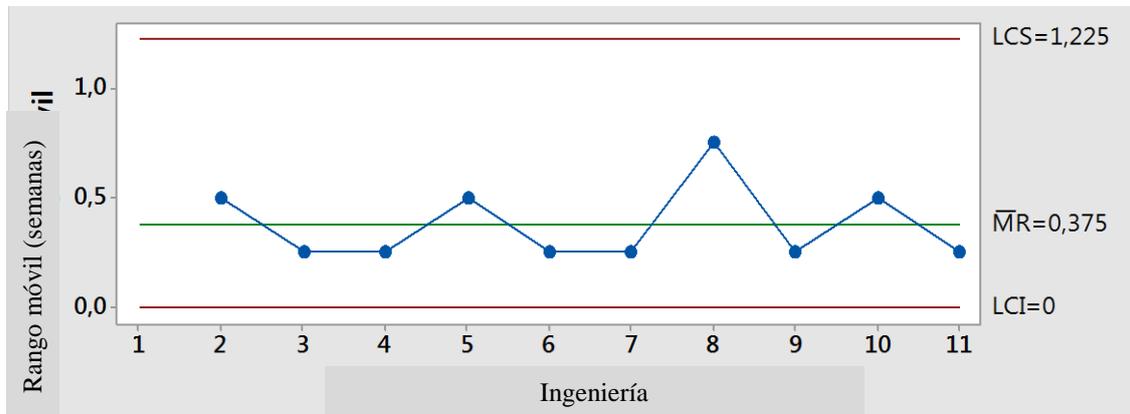
FASE 5.- Controlar

En esta fase se profundizó en el análisis de los resultados obtenidos después de la aplicación de las mejoras al proceso, y se estandarizaron los cambios producidos en la etapa anterior, que dieron los resultados de mejora esperados.

A continuación se muestra las gráficas y el análisis de los resultados del ciclo de tiempo obtenidos durante la aplicación de la metodología LSS en el desarrollo de 11 ingenierías.

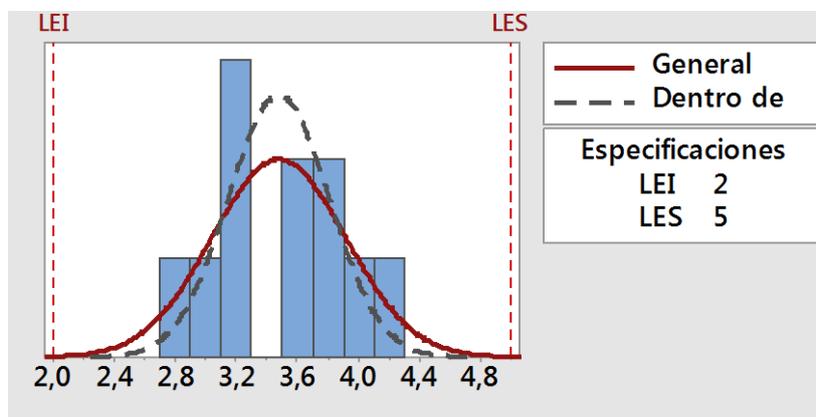


Gráfica 8. Diagrama de control de observaciones individuales.

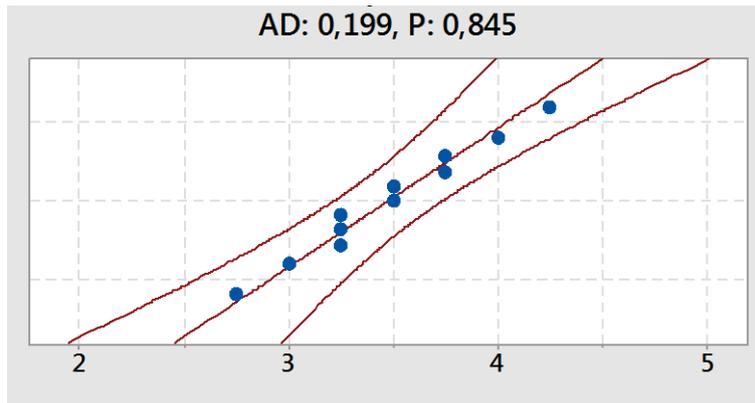


Gráfica 9. Diagrama de control de rangos.

De acuerdo a la Gráfica 8 y la Gráfica 9, los puntos no excedieron los límites de control, siguiendo en el caso de la Gráfica 9, un patrón aleatorio, bastante horizontal, demostrando que el tiempo de desarrollo de las ingenierías se encontró bajo control estadístico y estable. Es importante señalar la trascendencia del comportamiento evolutivo para comprobar si ambas observaciones se encontraron relacionadas. En este caso, no se apreció ningún tipo de dependencia.

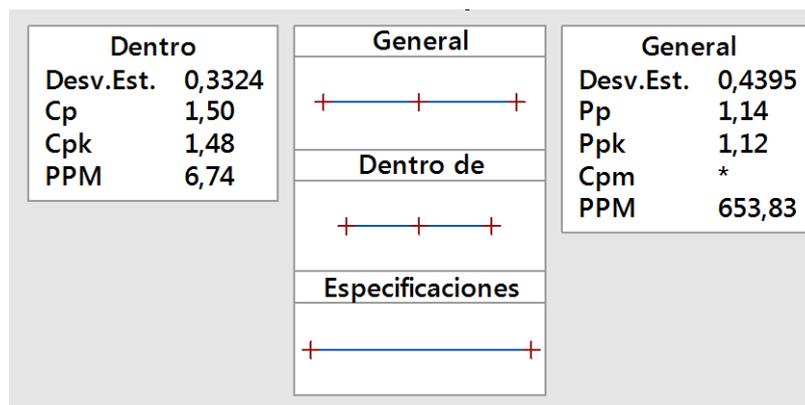


Gráfica 10. Histograma de capacidad.



Gráfica 11. Probabilidad normal.

Para poder interpretar correctamente los índices de capacidad obtenidos, se debía comprobar que se verifica la hipótesis de normalidad. La Gráfica 10 y la Gráfica 11 mostraron que los datos se distribuyeron de acuerdo a una gráfica Normal. Asimismo, $P(0,845)$ es mayor que $\alpha (0,05)$, lo que demostró que se comportaba como una Normal.



Gráfica 12. Gráfica de capacidad.

Los índices de capacidad son valoraciones numéricas de la capacidad del proceso que señalan los niveles que estadísticamente cumplen con las especificaciones del proceso. La Gráfica 11 demostró que el proceso se encuentra centrado en sus límites de especificación, por lo que se estudió el índice C_p , siendo éste el cociente entre la amplitud tolerable del proceso, es decir, la distancia entre los límites de especificación del mismo, y la amplitud real del proceso, es decir, la distancia entre los límites de control, que habitualmente es de 6 sigma [10].

$$C_p = \frac{(LES - LEI)}{6\sigma} \quad (2)$$

En la práctica, se suele considerar como valor mínimo aceptable de un índice de capacidad, 1,33[14]. En la Gráfica 12 se observó que la tolerancia del proceso se

encontró dentro de los límites de especificación superior e inferior. Esto significa que los tiempos de desarrollo de las ingenierías cumplían las especificaciones mínima de 2 semanas y máxima de 5 semanas. Conjuntamente, se pudo observar que el valor del índice C_p (1,50) resultó superior al valor de referencia (1,33), por lo que se pudo comprobar que el proceso fue capaz. Asimismo, se pudo comprobar de los resultados obtenidos, que al ser un proceso centrado en sus límites de especificación, los valores de los índices de capacidad C_p (1,50) y C_{pk} (1,48), resultaron muy parecidos.

También, el valor del índice de capacidad a largo plazo P_p (1,14) obtenido después de aplicar la metodología resultó inferior al umbral 1,33, por lo que el proceso no cumpliría las especificaciones del cliente a largo plazo. Ello significaría que aunque el proceso es capaz a corto plazo, sería necesario continuar aplicando la metodología LSS a fin de mejorar el proceso y obtener los mismos resultados a largo plazo, es decir, conseguir un proceso que cumpliera las especificaciones del cliente no sólo a corto plazo, sino también a largo plazo.

Por último, durante esta fase de control, a fin de estandarizar los cambios producidos en el proceso que conllevaron la mejora del mismo, se documentaron los procedimientos reformados, y se diseñaron mecanismos de control de mejoras para garantizar la continuidad de las mejoras implementadas. Los mecanismos de control para garantizar su continuidad fueron los siguientes:

- Utilización de las gráficas de control del proceso para realizar un seguimiento y análisis del ciclo de tiempo de duración del desarrollo de las ingenierías.
- Realización de una reunión semanal del equipo para hacer seguimiento del problema, las posibles causas y mejoras alcanzadas.

Resultados

El objetivo de este trabajo fue implementar la metodología LSS en una PYME de ingeniería. De acuerdo con los resultados de la intervención, se puede considerar varios efectos positivos dentro del ámbito de las mejoras de los procesos. En un primer momento, consideramos importante el tomar en cuenta la experiencia de los trabajadores como profesionales activos capaces de desentrañar causas-raíz relacionadas con las problemáticas que enfrentan. En esta misma lógica, un componente que es importante señalar, es el compromiso durante todo el proceso por parte de los profesionales involucrados. Esto va en línea con los planteamientos de la metodología LSS, que enfatiza en el compromiso con la dirección y los jefes de departamento para garantizar la continuidad de los objetivos establecidos [1,15].

En este sentido, uno de los alcances observados de esta metodología fue la motivación para llevar a cabo la serie de técnicas y herramientas de la metodología por parte de los trabajadores. La participación dentro de los grupos de trabajo, por ejemplo, a través de la serie de brainstorming que se llevaron a cabo para encontrar tanto las causas como las

posibles soluciones, resaltaron el aspecto motivacional que, a través de la LSS, fue generado [13].

También, la aplicación de la metodología LSS permitió identificar las áreas de mejora, así como señalar puntos críticos a trabajar, y establecer procedimientos más claros que permitieron disolver limitaciones a los objetivos del área. Así mismo, la “cultura de la mejora continua”, es otro de los efectos esperados en LSS. Esta mejora continua, pretende que se incluyan cambios en las organizaciones a fin de resolver progresivamente los problemas y defectos que impiden el desarrollo y las metas dentro de la organización. En este trabajo no se puede considerar que se ha dado este cambio de hábitos dentro de la organización debido la duración de la intervención, pero considero que el desarrollo de estos cambios deberían ser evaluados y sobre todo mantenidos a través del tiempo para poder aspirar a esta mejora continua [1,15]. Esto es quizá, uno de los mayores retos, sostener en el tiempo las mejoras realizadas dentro la aplicación.

Como se puede observar, la implementación de la metodología LSS tuvo efectos positivos dentro de la empresa. A su vez, es importante considerar algunos factores que, por su grado de trascendencia, suponen un punto medular para la realización de esta metodología. Por ejemplo, la revisión continúa de las acciones establecidas, la implicación de los diferentes niveles de mando, incluyendo principalmente a los directivos y mandos medios dentro de la empresa. También, un componente importante a considerar es el establecer de forma permanente las reuniones donde se vierta las propuestas y opiniones de los miembros del departamento para solucionar las actividades. Futuros trabajos, deberán considerar estos dos aspectos señalados: el compromiso y la motivación. Esto debido a que, como se muestra en este trabajo, compromiso y motivación en el ambiente de trabajo, junto con una buena metodología de mejora, son los tres elementos más importantes para generar buenos resultados dentro de la actividad laboral. Por lo que podemos considerar una triada que deberá ser constatada en futuros trabajos empíricos.

Referencias

- [1] J. H. Felizzola, C. Amaya, L. “Lean Six Sigma en pequeñas y medianas empresas: un enfoque metodológico”. *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. Arica , v. 22, n. 2, abr. 2014.
- [2] J. Antony, A. Kumar and R. Bañuelas "World Class Applications of Six Sigma". Butterworth-Heinemann. 2006.
- [3] J.A. Maneesh Kumar. "Does size matter for Six Sigma implementation?: Findings from the survey in UK SMEs". *The TQM Journal*. Vol. 21, Issue 6, pp. 623-635. February, 2009. ISSN: 1754-2731. DOI:10.1108/17542730910995882.

- [4] J. Antony, M. Kumar and C.N. Madu. "Six sigma in small- and medium-sized UK manufacturing enterprises: Some empirical observations". *International Journal of Quality & Reliability Management*. Vol. 22, Issue 8, pp. 860-874. January, 2005. ISSN: 0265-671X. DOI: 10.1108/02656710510617265.
- [5] W. Timans, J. Antony, K. Ahaus and R. van Solingen. "Implementation of Lean Six Sigma in small- and medium-sized manufacturing enterprises in the Netherlands". *Journal of the Operational Research Society*. Vol. 63, Issue 3, pp. 339-353. May, 2011. ISSN: 0160-5682. DOI: 10.1057/jors.2011.47.
- [6] A. Thomas, R. Barton and C. Chuke-Okafor. "Applying lean six sigma in a small engineering company - a model for change". *Journal of Manufacturing Technology Management*. Vol. 20, Issue 1, pp. 113-129. December, 2008. ISSN: 1741-038X. DOI: 10.1108/17410380910925433.
- [7] G. Polesky. "Curso de preparación para Green Belt en la metodología Seis Sigma", Curso impartido en la Universidad de las Américas, Octubre, Puebla, 2006.
- [8] S.M. Gnanaraj, S.R. Devadasan, R. Muruges and C.G. Sreenivasa. "Sensitization of SMEs towards the implementation of Lean Six Sigma - an initialisation in a cylinder frames manufacturing Indian SME". *Production Planning & Control*. Vol. 23, Issue 8, pp. 599-608. August, 2012. ISSN: 0953-7287. DOI: 10.1080/09537287.2011.572091.
- [9] M. Kumar, J. Antony and M.K. Tiwari. "Six Sigma implementation framework for SMEs - a roadmap to manage and sustain the change". *International Journal of Production Research*. Vol. 49, Issue 18, pp. 5449-5467, September, 2011. ISSN: 0020-7543. DOI: 10.1080/00207543.2011.563836.
- [10] M. Valdiviezo, y J. Fermín "Estudio comparativo de índices de capacidad de proceso con variables distribuidas no normales Industrial Data", vol. 13, núm. 2, julio, 2010, pp. 56-65 Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú
- [11] A.J. Thomas and D. Webb. "Quality systems implementation in Welsh small- to medium-sized enterprises: A global comparison and a model for change". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. Vol. 217, Issue 4, pp. 573-579. April, 2003. ISSN: 0954-4054. DOI: 10.1243/095440503321628251.
- [12] G. Wessel and P. Burcher. "Six sigma for small and medium-sized enterprises". *The TQM Magazine*. Vol. 16, Issue 4, pp. 264-272. January, 2004. ISSN: 0954-478X. DOI: 10.1108/09544780410541918.
- [13] M. J. C. Hernández and A.I. Vizán, "Lean manufacturing: Conceptos, técnicas e implantación". Escuela de organización industrial. Universidad Politécnica de Madrid, España.

- [14] A. J. D. Mosquera and J.C Artamónova, I. "indicadores de capacidad aplicados a la deserción en las universidades colombianas" *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, vol. 21, núm. 2, pp. 183-203. 2011 Universidad Militar Nueva Granada Bogotá, Colombia
- [15] A.C. Laraia, P.E. Moody and R.W. Hall. "The Kaizen blitz: Accelerating Bbreakthroughs in productivity and performance". Wiley. 1999.
- [16] M. Alagaraja. "A conceptual model of organizations as learning-performance systems: Integrative review of lean implementation literature". *Human resource development review*. Vol. 13,issue 2, pp 207-233. Doi: 10.1177/1534484313495852