

Production process improvement in a white goods appliances factory using lean six Sigma methodology

Diana Carolina Zúñiga Becerra¹, Luigi Alejandro Flores Rojas¹, y Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, diana.zunigab@pucp.pe, luigi.flores@pucp.pe, jrojas@pucp.pe

Abstract -- The current investigation is proposing the use of own tools of the Lean Six Sigma approach, precisely, the DMAIC methodology, in the critical processes of the production line of a white line appliances manufacturer company in Peru. For the company in study, the group of KPI's that measure the productivity, quality and efficiency of the processes and products were identified and, through the aforementioned methodologies, the critical KPI's for the processes were determined. Finally, improvements in the respective processes were proposed in order to increase the value of the selected indicators previously. These changes implied an economic saving and an increase in the product quality.

Keywords – Lean Six Sigma, DMAIC Methodology, Indicator Management, Continuous Improvement, White Line Appliances Market.

Digital Object Identifier (DOI):
<http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.391>
ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Mejora de los Procesos de Producción en una Empresa Fabricadora de Electrodomésticos de Línea Blanca Mediante la Metodología Lean Six Sigma

Diana Carolina Zúñiga Becerra¹, Luigi Alejandro Flores Rojas¹, y Jonatán Edward Rojas Polo, Mg.¹

¹Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú, diana.zunigab@pucp.pe, luigi.flores@pucp.pe, rojasp@pucp.pe

Abstract - *The current investigation is proposing the use of own tools of the Lean Six Sigma approach, precisely, the DMAIC methodology, in the critical processes of the production line of a white line appliances manufacturer company in Peru. For the company in study, the group of KPI's that measure the productivity, quality and efficiency of the processes and products were identified and, through the aforementioned methodologies, the critical KPI's for the processes were determined. Finally, improvements in the respective processes were proposed in order to increase the value of the selected indicators previously. These changes implied an economic saving and an increase in the product quality.*

Keywords - *Lean Six Sigma, DMAIC Methodology, Indicator Management, Continuous Improvement, White Line Appliances Market*

Resumen – *En la presente investigación, se propone utilizar herramientas propias de la metodología Lean Six Sigma (Lean Seis Sigma), en específico, la técnica DMAIC, en procesos críticos de la línea de producción de una empresa manufacturera de electrodomésticos de línea blanca en Perú. Para la empresa en estudio, se identificó el conjunto de indicadores que se calculan para medir la productividad, calidad y eficiencia de los procesos y productos finales y, mediante las metodologías mencionadas anteriormente, se determinaron aquellos indicadores críticos para el proceso. Finalmente, se propusieron mejoras en los procesos respectivos para elevar el valor de los indicadores seleccionados previamente, las cuales, a su vez, repercutieron en un ahorro económico para la empresa y un aumento de la calidad de sus productos.*

Keywords - *Lean Six Sigma, Metodología DMAIC, Gestión de indicadores, Mejora Continua, Mercado electrodoméstico*

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el mercado de electrodomésticos de línea blanca en Perú en 2018 registró aproximadamente un movimiento de S/. 1.43 millones de soles, lo cual significó un crecimiento de 3.9% respecto del 2017. A su vez, este nivel de ingresos ocupa el tercer lugar dentro de la categoría global de electrodomésticos en el país en el último año [1]. Sin embargo, el sector presenta ciertos retos que pueden significar una oportunidad de mejora o una amenaza si es que no se adoptan las medidas pertinentes para adecuarse a la evolución del mercado. Entre ellos se encuentran la migración de usuarios a canales digitales gracias al crecimiento de las ventas por internet, las altas oportunidades de innovación alrededor de las tendencias de electrodomésticos inteligentes y, por último, el

aumento de la competencia del mercado tanto para marcas de pequeños como grandes electrodomésticos [2].

Ante el desempeño mencionado del mercado electrodoméstico, es importante resaltar que existen dos factores que pueden impulsar el crecimiento del sector en los años venideros. Primero, el Perú atraviesa por una etapa de gran oportunidad de desarrollo económico denominado bono demográfico. Este concepto se refiere al periodo en que la población económicamente activa de un país, entre 14 y 59 años, supera considerablemente al conjunto de población dependiente, menor de 14 años y mayor a 60 [3]. La disminución de la proporción de personas dependientes genera que aumenten las tasas de ahorro, lo cual resulta en un efecto positivo para el desarrollo económico, pues la población tiene mayor poder adquisitivo como para realizar más gastos e inversiones. Se estima que el bono demográfico en Perú se mantenga aproximadamente hasta el 2038, 10 años más que el promedio para América Latina; por ende, este suceso no tan frecuente debe ser aprovechado, pues, pasado ese año, comenzará una etapa de envejecimiento de la población y un posible declive de la economía [3][4].

Segundo, el crecimiento sostenido del PBI peruano en los últimos años [5], así como las proyecciones para el 2019, las cuales se estiman entre 3.8 y 4%, auguran una fuerte demanda interna para el presente año, lo que puede traducirse en un mayor consumo por parte de la población [6].

En el contexto presentado, es determinante que las empresas de electrodomésticos de línea blanca puedan presentar un portafolio atractivo para el consumidor tanto en precio como en calidad y, a su vez, mantengan costos bajos para obtener una ganancia apropiada. Para alcanzar dichos objetivos, la mejora de los procesos productivos es una opción que causaría un gran impacto. Metodologías como Manufactura Esbelta (*Lean Manufacturing*) y *Six Sigma* son ampliamente utilizadas en diversas industrias y con resultados palpables en el sector de electrodomésticos de línea blanca en otros países que aseguran al menos un 20% e incluso, en algunos casos, más del 80% de mejora en el desempeño en distintas áreas de evaluación como costos, productividad, nivel de ganancias, desarrollo de nuevas tecnologías, entre otros [7].

Por ende, la presente investigación se enfoca en la identificación de procesos productivos críticos con el objetivo de proponer alternativas de mejoras en base a la metodología

Digital Object Identifier (DOI):

<https://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.391>

ISBN: 978-0-9993443-6-1 ISSN: 2414-6390

Lean Six Sigma que repercutirán positivamente en el aspecto económico y productivo de la empresa.

II. ESTADO DEL ARTE

En esta sección se detallarán los conceptos, metodologías y herramientas principales que serán utilizadas en la presente investigación.

A. *Mejora Continua (CI)*

El concepto de mejora continua proviene del término japonés *Kaizen* que fue desarrollado y propuesto por primera vez por Masaaki Imai quien es conocido como el padre de la mejora continua. *Kaizen* es una palabra compuesta por dos conceptos: *Kai* (cambio) y *Zen* (mejora) [8].

En este contexto, es posible explicar las principales características de la Mejora Continua mediante el uso de los principios ideales del *Kaizen* [9]:

- **Orientación en el proceso.** La gerencia tiene como principal responsabilidad estimular y apoyar el esfuerzo de los miembros de la organización para mejorar los procesos. Con este fin, un proceso debe ser comprendido a detalle; es decir, que la variabilidad e interdependencia en las actividades y métodos usados para combinar personal, máquinas, material e información tienen que ser conocidos y controlados, para esto se requiere que la mayoría de empleados estén activamente involucrados.
- **Mejorar y mantener los estándares.** Las razones para justificar el uso de los estándares pueden atribuirse a tres características generales: primero, autorización individual y responsabilidad; segundo, aprendizaje mejorado a través de la transmisión, acumulación y despliegue de experiencia de un individuo a otro, entre individuos y la organización y de una parte de la organización a otro; y finalmente, disciplina.
- **Orientación en el personal.** Con la finalidad de que todos los trabajadores sean involucrados, es necesario un registro de los proyectos de mejora en curso con una breve descripción de la implementación y el perfil requerido para el personal interesado en participar.

En resumen, la Mejora Continua puede definirse como un amplio proceso enfocado en la compañía y en la innovación incremental continua. Esta última se refleja en las actividades de corta duración, alta frecuencia, ciclos de cambio rápido, los cuales por sí solos tienen un bajo impacto, pero acumulados pueden hacer una contribución significativa al rendimiento [10]. Asimismo, se describe también al CI como una metodología de calidad que fue utilizada inicialmente en la industria, particularmente manufactura, que presenta responsabilidades y sub-procesos que involucran tanto a directivos como trabajadores de producción con el objetivo de producir un producto de calidad para el consumidor a un costo bajo para el fabricante [11]. El estudio del término CI a lo largo del tiempo ha revelado distintos enfoques y perspectivas según cada autor; sin embargo, todas se basan en una idea central: el

análisis sistemático de las actividades y flujos de procesos con el objetivo de mejorarlos [12].

Las metodologías de mejora continua han evolucionado desde la manufactura tradicional enfocada en sistemas que se concentran en la línea de producción para reducir desperdicios y mejorar la calidad del producto, a metodologías híbridas enfocadas en todos los aspectos de la organización, sea servicios o manufactureras. Las modernas metodologías de Mejora Continua apuntan a un amplio rango de aspectos en la organización y ofrecen varios beneficios. Algunas de las más populares CI iniciativas son *Lean Production*, *Six Sigma*, *Balanced Scorecard* y *Lean Six Sigma* [13].

B. *Manufactura Esbelta - Lean Manufacturing (LM)*

El concepto *Lean* se originó en Japón después de la segunda guerra mundial cuando las manufactureras japonesas se enfrentaron al reto de gestionar instalaciones de producción con recursos limitados. Este cambio motivó a los directivos de Toyota a desarrollar varios elementos del TPS (*Toyota production system*) con el objetivo de reducir los desperdicios [14]. Así, *Lean Manufacturing* les brindó una ventaja competitiva al reducir costos y mejorar la calidad y productividad.

“*Lean*” se enfoca en reducir desperdicios y en maximizar las actividades que agregan valor desde la perspectiva del cliente. Se denomina desperdicio a toda actividad que absorbe recursos, pero no crea valor. Taiichi Ohno, ejecutivo Toyota e intenso oponente del desperdicio, fue el primero en identificar y clasificar siete diferentes categorías de desperdicio; sobreproducción, tiempo de espera, transporte innecesario, sobreprocesamiento, exceso de inventario, movimientos innecesarios y productos defectuosos, últimamente se ha considerado un octavo desperdicio denominado desaprovechamiento del talento humano, y se refiere a no utilizar la inteligencia y creatividad de la fuerza de trabajo para eliminar desperdicios, este desperdicio se puede presentar debido a la falta de estimulación o reconocimiento a los trabajadores, una política empresarial anticuada en la cual se subestiman a los trabajadores, insuficiente capacitación o entrenamiento a los trabajadores [15].

Pensar en “*Lean*” proporciona una manera para especificar el valor, alineando las acciones de creación de valor en la mejor secuencia y realizando las actividades con menos esfuerzo humano, menos equipo, menos tiempo y menos espacio, mientras se avanza cada vez más cerca de lo que el cliente exactamente quiere [16].

B.1. *Herramientas más Utilizadas en Lean Manufacturing*

La Manufactura Esbelta posee un conjunto de herramientas y técnicas destinado a eliminar desperdicios optimizando así el proceso. A continuación, una descripción más a fondo de estas herramientas:

- **Mantenimiento Productivo Total - TPM.** El objetivo de TPM es mejorar continuamente la disponibilidad y prevenir la degradación de equipos para lograr la máxima eficacia,

esto mediante el soporte de equipos de trabajo y actividades en grupos pequeños para lograr mejoras incrementales [17]. TPM se analiza en tres palabras; **Total**, esto involucra a cada individuo en la empresa, desde el nivel de la alta dirección hasta los trabajadores de la planta. **Productivo**, la producción de bienes y servicios cumplen o exceden las expectativas del cliente y no se desperdician actividades. **Mantenimiento**, mantener el equipo y la planta en buen estado de funcionamiento, es decir, tan bueno o mejor que la condición inicial en todo momento. El TPM reduce las pérdidas provocadas por fallas en el equipo, paradas por defecto del producto, variaciones de velocidad del proceso, tiempo de preparación del material, tiempo de puesta en marcha, etc., mediante la implementación de sus pilares basados el mantenimiento autónomo, mantenimiento planificado, mantenimiento de calidad, mantenimiento focalizado, educación y entrenamiento, seguridad, salud y medio ambiente, TPM administrativo y Gestión del desarrollo.

- **Poka Yoke.** Se define como poka-yoke a la práctica sistemática de erradicar errores, localizando la causa raíz de estos, mediante el uso de procesos o características de diseño que eviten errores o su impacto negativo [18]. El sistema Poka - Yoke puede diseñarse para cumplir dos funciones el de prevención; se diseña un sistema o proceso para impedir que el error ocurra, y el de advertencia, asume que el error puede llegar a ocurrir, por ende, se diseña un dispositivo que reaccione cuando el fallo tenga lugar para advertir al operario que debe corregirlo.
- **Justo a Tiempo - JIT.** La descripción convencional del “just in time” (JIT) como un sistema para fabricar y suministrar mercancías que se necesiten, cuando se necesiten, y en las cantidades exactamente necesitadas, solamente define al JIT intelectualmente. Para aquellos que son parte del día a día en el área de trabajo, el JIT significa podar implacablemente las pérdidas pues cuando el JIT se internaliza, el despilfarro de la fábrica se elimina sistemáticamente [19]. El JIT es un proceso que va en búsqueda del perfeccionamiento continuo de la empresa, y tiene como objetivos principales; eliminación de desperdicios, búsqueda de simplicidad, desarrollo de proveedores que permitan una entrega puntual de los materiales con la calidad necesaria, programación nivelada de la producción, mantenimiento preventivo rutinario, buena organización del área de trabajo y empleados con capacidad de toma de decisión. Por ende, la aplicación de una metodología JIT en una empresa debe ser visto como un proyecto a largo plazo y que se va a adherir a la cultura organizacional [20].

C. Six Sigma

La metodología *Six Sigma* fue ideada por el estadístico Mikel Harry y se puede resumir como un enfoque de gestión por proyectos orientado a la reducción de defectos de los productos, servicios y procesos de una empresa en sus distintas áreas de importancia [21] [22]. Sin embargo, este concepto se concibe como la combinación de dos perspectivas:

- **Enfoque estadístico.** Desde el punto de vista estrictamente cuantitativo, se describe *Six Sigma* como el nivel de calidad que presenta menos de 3.4 defectos por cada millón de oportunidades o 99.9997% de probabilidad de éxito [23]. Esta metodología utiliza la letra griega sigma para identificar la variabilidad del proceso e indicar niveles sigma de calidad que se encuentran del rango de uno a seis sigmas [21]. Por lo tanto, se puede afirmar que es un concepto muy estricto de control de calidad.
- **Enfoque de negocios.** En cambio, empresarialmente, *Six Sigma* es descrito como el conjunto de estrategias para mejorar la ganancia, eficiencia y efectividad de las operaciones organizacionales con el objetivo de sobrepasar las expectativas del cliente [24].

Considerando todo lo mencionado, la metodología *Six Sigma* demuestra que la calidad de los procesos o productos puede ser ampliamente mejorada si es que se identifica y comprende la relación entre la materia prima de entrada y los indicadores que miden la calidad, usualmente definidos por la satisfacción del cliente [24].

C.1. Principales Herramientas de Six Sigma

La metodología *Six Sigma* utiliza una gran diversidad de herramientas que están orientadas a las métricas estadísticas y a la Gestión de la Calidad Total principalmente. De forma general, se puede plantear que la implementación de *Six Sigma* presenta dos posibles caminos: la mejora de procesos o productos existentes para alcanzar los estándares de calidad propuestos por este enfoque o el diseño y desarrollo de nuevos procesos y productos para que, desde un inicio, dichos estándares puedan cumplirse [25]. Por ende, a continuación, se describen las herramientas más utilizadas para los escenarios planteados anteriormente:

- **DMAIC.** Esta herramienta debe su nombre a las iniciales en inglés de definir, medir, analizar, mejorar y controlar y es utilizado para el primer escenario: mejorar el desempeño de procesos existentes al asegurar un flujo de trabajo ágil. Cada etapa precisa de ciertas actividades y requerimientos para que la secuencia planteada pueda ser completada como se muestra en la tabla [26].

TABLA I
Etapas y Requerimientos de la Herramienta DMAIC

Etapa	Requerimientos Por Cumplir	Técnicas Recomendadas de <i>Six Sigma</i>
Definir	Definir los objetivos del proyecto de mejora y conformar el equipo adecuado para la tarea.	SIPOC, Mapa de Procesos, VOC (Voz del Cliente), Proceso de Jerarquía Analítica
Medir	Establecer métricas válidas para monitorear el progreso de los objetivos definidos previamente y	Análisis Exploratorio de Datos, Estadística Descriptiva, Análisis Pareto

	medir el rendimiento actual mediante las métricas seleccionadas.	
Analizar	Analizar la data disponible mediante técnicas exploratorias y descriptivas de datos para identificar oportunidades de mejora para alcanzar el desempeño planteado.	Diagramas Causa Efecto, Diagramas de Árbol, Diseño de Experimentos, Estadística Inferencial
Mejorar	Idear propuestas de mejora que repercutan en los costos, eficiencia y rapidez de los procesos. Utilizar métodos estadísticos para validar la propuesta.	Diagramas de Fuerza de Campo, 7 Herramientas de Gestión
Control	Institucionalizar la mejora al modificar los sistemas de incentivos, documentar procesos, sistemas de gestión, entre otros. Monitorear la estabilidad del nuevo sistema mediante técnicas estadísticas.	SPC, FMEA, Modelos de Estimación de Costos

Si bien DMAIC puede ser utilizado como parte de la metodología *Six Sigma*, no es exclusiva de esta. En las distintas etapas que la componen, es posible utilizar técnicas y herramientas propias de otras metodologías que permitan realizar un análisis más completo de una determinada situación.

▪ **Design for Six Sigma (DFSS).** Este método se enfoca en el segundo escenario planteado al inicio de esta subsección. Busca diseñar de forma innovadora procesos y productos a partir de las exigencias de la metodología *Six Sigma*, lo cual implica un nivel mínimo de defectos en la producción sostenible en el tiempo. Esto se alcanza mediante el uso de herramientas estadísticas y de calidad que se orientan a satisfacer los requerimientos del cliente [27]. A diferencia de la técnica DMAIC, DFSS es considerado un método proactivo que plantea construir procesos y productos desde cero y no mejorar condiciones existentes en la empresa.

DFSS inicialmente sigue los lineamientos del modelo DMADV, el cual es definido por las iniciales en inglés de definir, medir, analizar, diseñar y verificar. En la figura 1 se muestra en qué consiste cada una de las etapas [28]:

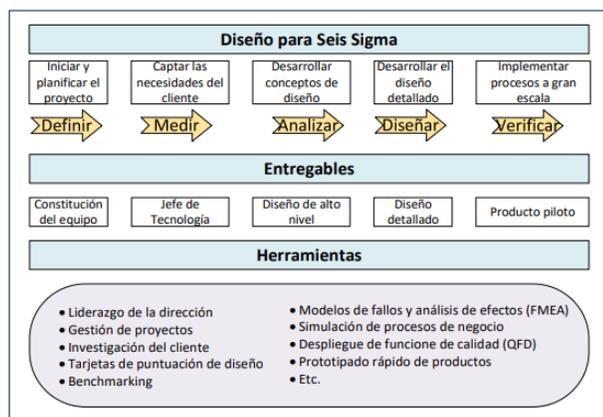


Fig.1 Etapas, Herramientas y Resultados del método DFSS
De Feo, J., & Bar-El, Z. (2002)

Con el transcurso de los años, el modelo DMADV fue presentando variaciones; sin embargo, todos se encuentran orientados a garantizar un proceso de desarrollo de productos eficiente que genere resultados de alta calidad [27].

D. Lean Six Sigma

El concepto de *Lean Six Sigma* se refiere a la integración de las metodologías *Lean* y *Six Sigma*; es decir, combina el enfoque hacia la calidad y la satisfacción del cliente propio de *Six Sigma* con la filosofía de reducción de costos y desperdicios de *Lean Manufacturing* [29][30].

Muchas de las técnicas estadísticas utilizadas en *Six Sigma* sirven para controlar y llevar a cabo las distintas tareas y objetivos que *Lean Manufacturing* define. Sin embargo, usualmente la implementación de estas filosofías se ha realizado por separado y no integrada, lo cual genera la formación de subculturas dentro de las organizaciones. Esto, a su vez, causa conflictos de interés que interfiere con los beneficios que ambos enfoques producen [29].

Al aplicar *Lean Six Sigma*, se deben considerar los siguientes puntos [30]:

- Enfoque estratégico y orientado y estructurado al tipo de proceso que se desea mejorar.
- Las técnicas aplicadas deben presentar un balance entre las filosofías utilizadas, de manera que los beneficios de ambas técnicas puedan ser explotados.
- Finalmente, es recomendable preservar un equilibrio entre la complejidad de los métodos utilizados y su sostenibilidad en el tiempo y entre los usuarios.

D.1. Beneficios de la Metodología Lean Six Sigma

Al integrar *Lean* y *Six Sigma*, se puede evidenciar que las implementaciones realizadas correctamente a partir de esta metodología presentan los siguientes beneficios [31]:

- Se maximiza el valor agregado de todas las operaciones
- Se evalúa constantemente los sistemas de incentivos para asegurar que se alcance una optimización global.
- Incorpora un sistema de gestión de toma de decisiones que se basa en el impacto que se pueda generar al cliente.
- Aplica métodos estadísticos en todos los procesos de toma de decisiones para tener sustento matemático.
- Los procesos se orientarán a la minimización de la variación de la calidad de cada característica crítica para el proceso o producto.
- Permitirá implementar un sistema de entrenamiento transversal para toda la empresa.

Es importante recalcar que estos beneficios son generales y pueden variar dependiendo del tipo de problemática que se maneja en cada empresa.

III. CASO DE ESTUDIO

Con la finalidad de ejemplificar el uso de varias de las técnicas y metodologías presentadas en la sección anterior, se explicará el siguiente caso de aplicación real.

A. Perfil de la Empresa

La investigación se realizó en una empresa transnacional dedicada a la fabricación y comercialización de electrodomésticos de línea blanca, que posee una planta de fabricación de 1550 m2 ubicada en la ciudad de Lima, además de dos centros de comercialización propios.

Esta empresa cuenta con dos marcas, la primera, está orientada a los sectores A y B del país; la segunda, está enfocada a los sectores C y D del país y se encuentra posicionada sólidamente en el mercado latinoamericano.

La planta de fabricación cuenta con dos centros de producción, uno dedicado a la producción de cocinas y el otro a refrigeradores y congeladores. El centro de producción de refrigeradores cuenta con dos líneas de producción, una de refrigeradores *autofrost* (producen escarcha, gama baja) y otra de refrigeradores *no-frost* (no producen escarcha, gama alta), el presente estudio se basará en la línea de producción de refrigeradores *no-frost*, pues es el modelo que ha presentado un mayor crecimiento en el mercado en los últimos dos años, y le otorgó a la empresa el segundo lugar en ventas de refrigeradoras a nivel nacional.

Asimismo, la empresa fabrica dos clases de refrigeradores; los denominados *Autofrost* (produce escarcha, gama baja) y los *No-frost* (no produce escarcha, gama alta). Además, la empresa trabaja en base a tres indicadores que le permiten medir y evaluar en forma sistemática y objetiva su estado actual y futuro, sin embargo, en los últimos años, el target anual solicitado por la compañía para la planta en Perú, no ha sido alcanzado.

Como finalidad de este estudio, se busca identificar los principales factores que impiden que el target sea alcanzado, haciendo uso de la metodología DMAIC que permitirá corregir y asegurar que tales inconvenientes no vuelvan a surgir.

TABLA II
Indicadores de mayor importancia para la empresa en estudio

Indicador	Target	Descripción	Cálculo
Primer Paso de Rendimiento FPY (First Pass Yield)	97%	Indica la eficacia promedio de toda la línea de producción para generar productos terminados considerados óptimos para su comercialización. Este indicador adopta un sistema de registro de fallas, definiéndose como fallas aquellas situaciones donde el retocador o recuperador de línea ha participado.	$(1 - \frac{\text{Máquinas reprocesadas}}{\text{Máquinas producidas}}) * 100$

Tasa Ponderada de Falla WFR (Weighted Failure Rate)	98.5%	Este indicador adopta un sistema de deméritos para medir la calidad de un producto, se clasifica en: - Tipo A (Peso 1): causa el deterioro de la salud y seguridad del cliente o presenta defectos que inutilizan las partes del producto. - Tipo B (Peso de 0.5): condición que puede resultar en una reducción de vida del producto. - Tipo C (Peso de 0.1): condición que difícilmente causará reclamos del consumidor.	$\alpha = \text{Cantidad de defectos tipo A}$ $\beta = \text{Cantidad de defectos tipo B}$ $\delta = \text{Cantidad de defectos tipo C}$ $(1 - \frac{\alpha * 0.1 + \beta * 0.5 + \delta * 0.1}{\text{Máq. inspeccionadas}}) * 100$
---	-------	---	--

B. Implementación de la Metodología DMAIC

A continuación, se presentarán las herramientas y análisis efectuado en cada una de las etapas de la metodología DMAIC para el proceso de fabricación de refrigeradoras *No Frost* en la empresa mencionada.

B.1. Definir

La empresa maneja dos indicadores para medir la eficiencia de su línea de producción, sin embargo, estos no han llegado al target propuesto debido a la existencia de defectos que reducen su valor como se aprecia en las Figuras 2 y 3.



Fig.2 Evolución del FPY mensual

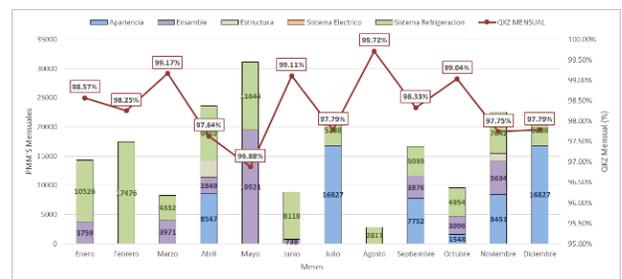


Fig.3 Evolución del QKZ mensual

Por lo tanto, para lograr mejorarlos es necesario conocer el proceso de fabricación a fin de implementar las acciones adecuadas. Este se compone de 5 etapas o subprocesos marcados por las distintas áreas de la empresa, a continuación, una breve descripción de los mismos:

- **Mecánica**, se focaliza en la fabricación de partes metálicas, se encuentran procesos que van desde el habilitado de las bobinas de hierro, hasta la soldadura, pulido, entre otros.
- **Pintura**, se encarga de realizar el tratamiento de superficie a todos los componentes metálicos.
- **Plásticos**, se trabajan materiales como el poliestireno, polipropileno, entre otros, sus procesos van desde la extrusión de láminas plásticas, perfiles y tubos, hasta el termoformado de gabinetes plásticos, contrapuestas y procesos de inyección de plásticos.
- **Aislamiento**, en esta etapa se desarrolla el aislamiento térmico de la unidad de refrigeración. Es aquí donde se integran las piezas provenientes de las áreas de plástico y pintura, entregando gabinetes y puertas inyectadas.
- **Ensamble**, se realiza la unión de gabinetes y puertas junto a piezas sub-ensambladas. se realizan también las pruebas de funcionamiento y de seguridad.
- **Acabado**, Completitud de accesorios, limpieza y embalaje de las Refrigeradoras *No-Frost*.

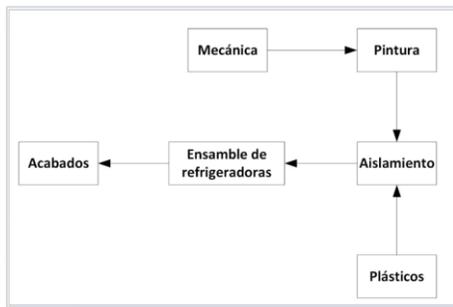


Fig.4 Evolución del QKZ mensual

B.2. Medir

Como se pudo apreciar en la etapa anterior, el objetivo se centrará en incrementar los valores de los indicadores FPY y QKZ. En esta fase, se analizará cuáles defectos son los que más impacto tiene en el cálculo de estos indicadores, de manera que se puedan controlar y evitar que se presenten frecuentemente.

- **Análisis del indicador FPY.** El registro de defectos en la empresa se realiza especificando en qué consiste y el grupo de averías a la que pertenece. Por ello, se analiza primero, mediante un Diagrama de Pareto, los grupos de defectos más frecuentes para el FPY:

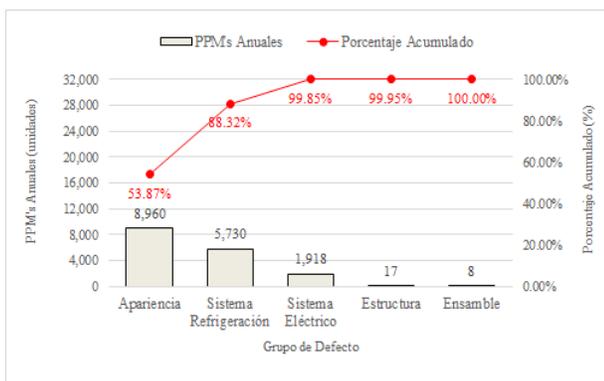


Fig.5 Diagrama de Pareto por grupo de defecto en el indicador FPY

Como se puede observar, el grupo de defecto de Apariencia es el más frecuente con más del 50% del total. El siguiente grupo es el de Sistema de Refrigeración, el cual acumula alrededor de 30% del total de defectos. Debido a estos resultados, se decide profundizar en los tipos de defectos que se incluyen en el grupo de Apariencia, en la figura 5 se observa el diagrama de Pareto de dicho defecto.

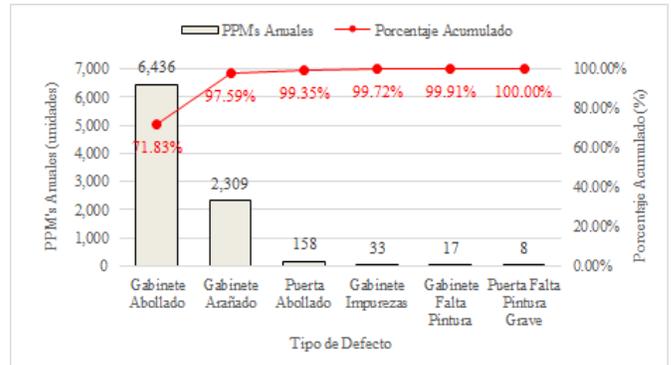


Fig.6 Diagrama de Pareto por tipo de defecto del grupo Apariencia para el indicador FPY

El gráfico muestra claramente que el mayor defecto en los refrigeradores se presenta como gabinetes abollados, los cuales representan más del 70% del total de defectos del grupo. Por lo tanto, resulta prioritario que las mejoras a proponer deben orientarse a la reducción de gabinetes abollados.

- **Análisis del indicador QKZ.** Para este ratio, se realizará el mismo análisis que para el indicador FPY. Por ende, se presenta el Diagrama de Pareto para los grupos de defectos identificados, observe la figura 6.

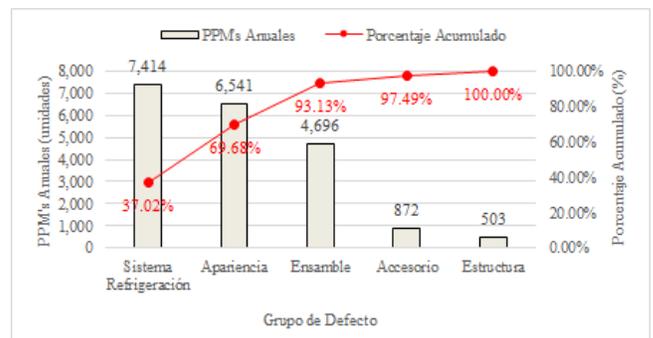


Fig.7 Diagrama de Pareto por grupo de defecto para indicador QKZ

Para este caso, se aprecia que el grupo de defectos que tiene un mayor impacto, es el Sistema de Refrigeración y, en segundo lugar, se ubica el grupo de Apariencia. Es decir, el orden inverso al presentado en el indicador FPY. Por ese motivo, se decide analizar únicamente el grupo de Sistema de Refrigeración, ya que las averías que se puedan presentar en el grupo de Apariencia pueden resultar similares en el caso del FPY, y su consideración sería redundante. En la figura 7 se presenta el Diagrama de Pareto del grupo Sistema de Refrigeración.

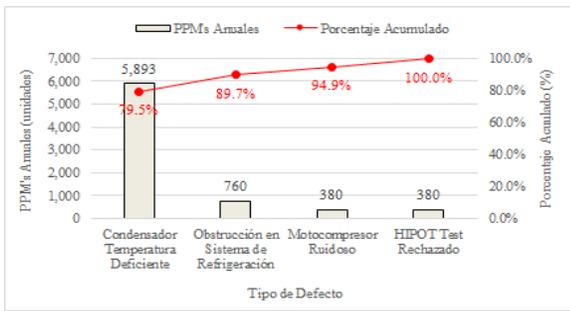


Fig.8 Diagrama de Pareto por tipo de defecto del grupo Sistema de Refrigeración para el indicador QKZ

En este escenario, se observa que el defecto más frecuente es el Condensador de Temperatura Deficiente, el cual acumula casi el 80% del total de defectos. De la misma manera que para el indicador FPY, se concluye que es de suma importancia que las propuestas de mejora también apunten a minimizar la frecuencia de ocurrencia de este defecto.

B.3. Analizar

En esta etapa, luego de identificar los defectos con mayor impacto en los indicadores, se procede a definir y analizarlos a fin de encontrar la causa origen de los mismos.

- **Gabinets abollados.** Se tratan de golpes que pueden o no percibirse a simple vista en los gabinetes. Según el grado de visualización es que se le otorga un peso de demérito.

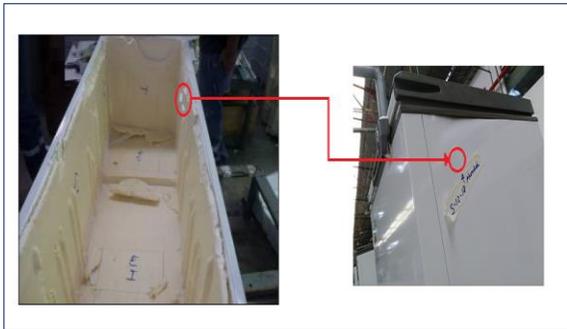


Fig.9 Refrigeradora abollada por falta de poliuretano en la cavidad interior

Para identificar las causas raíces que originan este tipo de defecto que ha demostrado ocurrir en su mayoría en el área de Aislamiento, en la figura 10 se muestra el diagrama de Ishikawa.

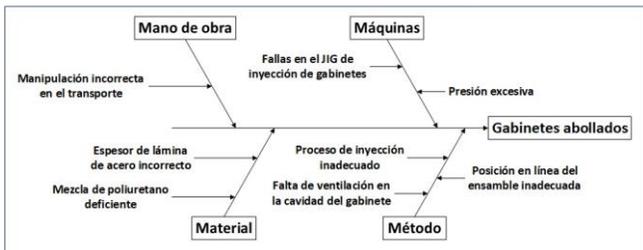


Fig.10 Diagrama Ishikawa para el defecto Gabinetes Abollados

En la figura 10 se visualiza que los grupos Método, Máquina y Materiales presentan una mayor cantidad de causas raíces. Al analizar a fondo estas causas, se identifica que el Proceso de

Inyección Inadecuado se vincula a otras de las razones incluidas en otros grupos como las fallas en el JIG de inyección, la presión excesiva o la mezcla de poliuretano deficiente.

Una inspección a los gabinetes dañados confirmó que en varios casos el poliuretano no se encontraba uniformemente disperso, ya que había zonas vacías de espuma en el área donde se encontraban las abolladuras como por ejemplo el caso mostrado en la Figura 8. Si el poliuretano no cubre en su totalidad el gabinete, las zonas descubiertas resultan muy sensibles en el momento en el que el armazón se desprende del JIG de inyección, puesto que el gabinete no alcanza la dureza esperada y, ante las altas temperaturas experimentadas en el proceso, el desprendimiento del JIG puede ocasionar abolladuras.

La falla en la correcta dispersión de la espuma entre la cavidad del gabinete está muy ligada a la eficiencia de la mezcla de poliuretano y a la cantidad de aire que pueda quedar atrapado al interior del gabinete. Por lo tanto, estos puntos deberían ser considerados en las propuestas de mejora.

- **Condensador de temperatura deficiente.** Se denomina así a la diferencia entre las temperaturas de entrada y salida del condensador del refrigerador que superen el rango establecido de 6 - 9°C. A esta diferencia de temperatura se le conoce como delta de temperatura y se ha identificado casos en los que supera los 14°C. Este defecto se observa tanto en la línea de ensamble como en el laboratorio de calidad cuando se lleva a cabo la prueba de funcionamiento de los refrigeradores.



Fig.11 Zona de medición del delta de temperatura

Cada vez que este defecto sucede, el refrigerador debe ser reprocesado y el sistema de alimentación de gas R600 “purgado” hasta que el delta retorne a sus valores permitidos. El proceso de “purga” consiste en la evacuación del gas R600 de las tuberías, el sistema es vaciado completamente para luego ser llenado de gas R600 otra vez, por otro lado, el reproceso de refrigeradores consiste en el vacío y carga de gas R600 de su interior, además de un aumento en la muestra de inspección para asegurar que el defecto haya sido controlado.

De no realizarse el reproceso y/o purga correspondiente, el sistema de refrigeración es afectado y el refrigerador requerirá de mayor energía para la adecuada refrigeración de los productos.

Para identificar las causas raíces que originan este tipo de defecto que se detecta en su mayoría en la línea de ensamble, observe el diagrama de Ishikawa en la figura 12.

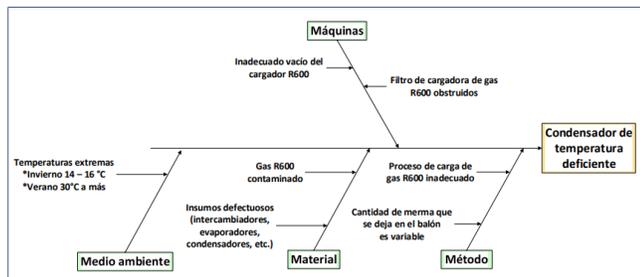


Fig.12 Diagrama Ishikawa para el defecto Condensador de Temperatura deficiente

En la figura 12 se observa que los grupos material, máquina y método presentan una mayor cantidad de causas raíces. Al analizar a fondo estas causas, y evaluar su efectividad en base a pruebas de laboratorio, revisiones técnicas y recomendaciones provenientes del fabricante, observe la figura 13, donde se concluye que la causa raíz del defecto es el método en el que se realiza el proceso de carga del gas R600, considerándolo inadecuado pues no contaba con un plan de mantenimiento o renovación de piezas.

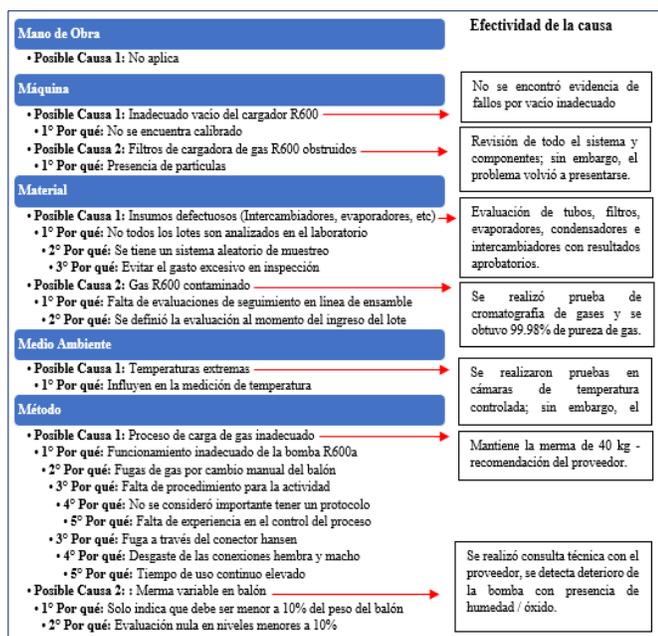


Fig.13 Diagrama de 5 Por qué para el defecto Condensador de Temperatura deficiente

Al desmontar la bomba Isobutano RS-F encargada de distribuir el gas R600 a través de las tuberías desde la sala de bomba R600 hasta la línea de ensamble, se encontró presencia de humedad, agua y óxido corroído en el vástago de pistón de cantidades

considerables que provocaron la contaminación de la red, observe la figura 14.

B.4. Mejorar

Luego de definir las posibles causas de los principales defectos que impactan en los indicadores, e identificar la causa raíz para cada uno de los mismos, se presentan las propuestas de mejora a implementar para alcanzar el objetivo.



Fig.14 Presencia de óxido y agua en vástago de pistón

- Gabinete abollado.** Para mejorar el proceso de inyección actual y reducir la cantidad de gabinetes abollados se definió la siguiente propuesta:

Mejorar la ventilación al interior de los gabinetes. Al momento de iniciar el proceso de inyección, ciertas zonas de la cavidad pueden retener aire en su interior e impedir que la espuma formada se distribuya uniformemente al interior del gabinete. Este puede resultar un problema más serio si se considera las deficiencias en la reacción y expansión de la mezcla química expuesta en el punto anterior.

Por lo tanto, la solución propuesta de acuerdo a estudios realizados [32] es perforar zonas estratégicas del gabinete para formar pequeños agujeros donde el aire pueda escapar. Estos agujeros de ventilación deben estar lo más alejado posible del punto de inyección de espuma y lo más cercano a las áreas donde se espera que pueda producirse una acumulación de aire, ya que dirigirán el flujo de la espuma de poliuretano hacia la zona en la que están ubicados. La terminación de los agujeros necesitará una pequeña boquilla para que el aire sea expulsado adecuadamente y no se produzca pérdida de poliuretano.

La cantidad de agujeros a perforar en el gabinete se realiza a criterio, pero el diámetro de los mismos se puede calcular mediante la siguiente fórmula [33]:

$$D = \sqrt{\frac{Lv}{U}} \quad (1)$$

Cabe resaltar que D es el diámetro del orificio, L es la distancia entre el punto de inyección y el agujero, v es la velocidad del fluido y U es la viscosidad cinemática. Luego de todo lo expuesto, se propone la siguiente distribución y tamaño de agujeros en un gabinete estándar similar al de la empresa [32] [33]. Los orificios más grandes permiten una

salida de aire más acelerada que en las zonas en las que se colocan varios agujeros pequeños juntos entre sí.

Es recomendable que los orificios más grandes se encuentren en la zona central de la parte alejada del gabinete para que la espuma alcance a rellenar esa área y, luego, continúe expandiéndose en las zonas adyacentes.

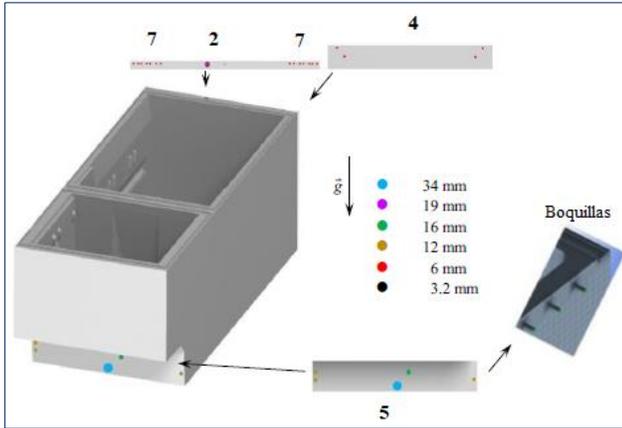


Fig.15 Distribución de agujeros en el gabinete

- **Condensador de temperatura deficiente.** Para mejorar el proceso de carga de gas actual es necesaria la implementación de un plan de mantenimiento e inspección trimestral de las uniones y las partes móviles de los conectores de la bomba de isobutano. Asimismo, la creación y registro de trazabilidad de los cambios de balón (bitácora), a esto se debe sumar la realización de un instructivo / procedimiento de cambio de balón.

Por otro lado, cambiar los conectores *hansen* por conexiones *Tubing inox* para prevenir desgastes prematuros, y establecer periodos de renovación de dichos conectores.

B.5. Controlar

Para poder mantener el estado de funcionamiento óptimo propuesto en las etapas previas, se debe llevar un registro de que realmente se están aplicando las mejoras indicadas. Estas anotaciones, sobretodo en el caso de los agujeros de ventilación, se pueden realizar en la inspección final de producto terminado. En cambio, para el condensador de temperatura deficiente es suficiente con mantener actualizado un calendario de mantenimiento a las tuberías para que las fallas no se vuelvan a presentar.

Asimismo, se deben agendar periódicamente revisiones en las que se aplique nuevamente la metodología DMAIC para evaluar el rendimiento de los procesos y proponer nuevas mejoras.

IV. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para evaluar el ahorro económico de la situación propuesta con las mejoras indicadas, se considerará como horizonte 1 año

de producción. Todos los ahorros o cargos adicionales relacionados a producción serán convertidos a minutos para luego ser costeados de acuerdo al valor de la mano de obra.

Se considerará que la producción anual de refrigeradoras *no frost* asciende a 42,204 unidades y que las mejoras disminuirán cada tipo de defecto analizado previamente en un 75% de acuerdo a un escenario optimista de los porcentajes de incremento en los procesos indicado en investigaciones similares [7]. Adicionalmente, también será considerado un ahorro en los transportes y operaciones por trabajos de reprocesos, los cuales se presentan al encontrarse el defecto de gabinete abollado en los refrigeradores.

En la tabla 3 se muestran los costos y ahorros de las operaciones una vez que se implementadas las mejoras en la empresa.

TABLA III
Costos de implementación de mejoras propuestas

Actividad/Producto	Requerimiento Anual	Medidas	Costo Anual
Boquillas (costo)	42,204	unidades	\$ 639
Proceso de Perforación de Gabinete (costo)	633,060	minutos	\$ 16,946
Gabinets sin Abolladura (ahorro)	617,962	minutos	\$ 33,083
Refrigeradoras sin fallas en condensador (ahorro)	480,028	minutos	\$ 25,698
Conectores nuevos (costo)	1 cambio		\$ 5
Mantenimiento de Sistema de Carga de gas R600 (costo)	4	1 por trimestre	\$ 8,485
		<u>Ahorro Total</u>	\$ 32,707

La tabla muestra un ahorro sustancial en los procesos de fabricación, los cuales ascienden a \$ 32,707, equivalente a alrededor de casi \$ 2,725 mensuales.

V. CONCLUSIONES

Después de analizar el efecto que causarían las mejoras propuestas en el proceso y en la estructura de costos de la empresa, se pueden resumir las siguientes conclusiones:

- Las implementaciones significarán un ahorro de \$ 2,725 en un periodo de planificación mensual.
- La cantidad de defectos, en específico los gabinetes abollados y las fallas del condensador de temperatura deficiente, se verán disminuidos aproximadamente en un 75%. Esta reducción implicaría que estas averías dejan de

formar parte de los eventos más críticos en el Diagrama de Pareto.

- La aplicación de la metodología DMAIC puede darse no solo en problemas y situaciones de alta complejidad sino también en eventos sencillos, semi-frecuentes pero de alto impacto.
- Será necesario añadir un proceso extra al flujo de producción de refrigeradoras a fin de garantizar la completa expansión y cubrimiento del poliuretano durante el proceso de Aislamiento, logrando reducir el número de gabinetes abollados anual.
- El problema de Condensador de temperatura deficiente que es el defecto que aqueja en mayor proporción al indicador QKZ, controlado y evitado con el uso adecuado de la herramienta TPM de la filosofía *Lean*, mediante la implementación de un adecuado plan de mantenimiento.
- Cabe resaltar que en el sector al que pertenece la empresa, aun no se encuentra literatura registrada como investigación. No obstante, las grandes empresas de consumo masivo en Perú han desarrollado diversos estudios técnicos donde han implementado herramientas de Manufactura Esbelta y *Six Sigma*, permitiéndoles generar ventajas competitivas.

RECONOCIMIENTOS

Es importante recalcar los agradecimientos a la empresa de fabricación de electrodomésticos de línea blanca que brindó las facilidades necesarias para la realización de este estudio.

REFERENCIAS

- [1] GFK – TEMAX Reports (2018). “El Mercado de electrodomésticos del Perú con resultados positivos”. Acceso 9 de febrero de 2019. <https://temax.gfk.com/es-pe/PEN/reports/>
- [2] GFK (2018). “Información Inteligente: Electrodomésticos”. Acceso 9 de febrero de 2019. <https://www.gfk.com/es-pe/sectores/bienes-de-consumo/electrodomesticos/>
- [3] Gestión (2018). “El bono demográfico, una oportunidad que aprovechar”. Acceso 9 de febrero de 2019. <https://gestion.pe/blog/evidencia-para-la-gestion/2018/09/el-bono-demografico-una-oportunidad-que-aprovechar.html?ref=gesr>
- [4] Banco de Desarrollo de América Latina (2016). “Fomentar empleo juvenil formal es clave para el desarrollo peruano”. Acceso 9 de febrero de 2019. <https://www.caf.com/es/actualidad/noticias/2016/10/fomentar-empleo-juvenil-formal-es-clave-para-el-desarrollo-peruano/>
- [5] Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI (2019). Series Nacionales - Producto Bruto Interno. Acceso 9 de febrero de 2019. <http://webapp.inei.gob.pe:8080/sirtod-series/>
- [6] Banco Central de Reserva del Perú (2019). “Expectativas de crecimiento del PBI a 12 meses llegan a 3.9% en Diciembre”. Acceso 9 de febrero de 2019. <http://www.bcrp.gob.pe/docs/Transparencia/Notas-Informativas/2019/nota-informativa-2019-01-10.pdf>
- [7] Ertürk, M., Tuerdi, M., & Wujiabudula, A. (2016). The effects of six sigma approach on business performance: A study of white goods (home appliances) sector in turkey. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 229, 444-452.
- [8] Lidia Sanchez & Beatriz Blanco (2014) Three decades of continuous improvement, *Total Quality Management & Business Excellence*, 25:9-10, 986-1001
- [9] Berger, A. (1997). Continuous improvement and kaizen: standardization and organizational designs. *Integrated Manufacturing Systems*, 8(2), 110–117
- [10] Bessant, J., Caffyn, S., Gilbert, J., Harding, R., & Webb, S. (1994). Rediscovering continuous improvement. *Technovation*, 14(1), 17-29.
- [11] Charles Ellis, Kathryn Castle, (2010) "Teacher research as continuous process improvement", *Quality Assurance in Education*, Vol. 18 Issue: 4, pp.271-285
- [12] Biazzo, S. (2000), “Approaches to business process analysis: a review”, *Business Process Management Journal*, Vol. 6 No. 2, pp. 99-107.
- [13] Bhuiyan, N., Baghel, A., & Wilson, J. (2006). A sustainable continuous improvement methodology at an aerospace company. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 55(8), 671–687.
- [14] Ghosh, M. (2012). Lean manufacturing performance in Indian manufacturing plants. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24(1), 113–122.
- [15] Cuatrecasas, L. (2010) “Lean Management: La gestión competitiva por excelencia” Bresca Editorial, S.L., Barcelona.
- [16] Womack, J.P., Jones, D.T. and Roos, D. (1990), *The Machine that Changed the World*, Rawson Associates, New York, NY.
- [17] Cooke, F. (2000). “Implementing TPM in plant maintenance: some organizational barriers”, *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. 17 No. 9, pp 1003 -1016.
- [18] Grout, R. (2007). Mistake-proofing the design of health care process. *Agency for Health Care Research and Quality*.
- [19] Hirano, H. (1992). *El JIT Revolución en las fábricas. Una guía gráfica para el diseño de la fábrica del futuro*. Madrid, España: Tecnologías de Gerencia y Producción SA.
- [20] Lefcovich, M. (2009) *Sistema de Producción Justo a Tiempo - JIT*. Argentina: El Cid Editor.
- [21] Zare Mehrjerdi, Y. (2011). Six-Sigma: methodology, tools and its future. *Assembly Automation*, 31(1), 79-88.
- [22] Kwak, Y. H., & Anbari, F. T. (2006). Benefits, obstacles, and future of six sigma approach. *Technovation*, 26(5-6), 708-715.
- [23] Antony, J., & Banuelas, R. (2002). Key ingredients for the effective implementation of Six Sigma program. *Measuring business excellence*, 6(4), 20-27.
- [24] Antony, J., & Coronado, R. B. (2001). A strategy for survival. *Manufacturing Engineer*, 80(3), 119-121.
- [25] Tjahjono, B., Ball, P., Vitanov, V. I., Scorzafave, C., Nogueira, J., Calleja, J., ... & Srivastava, S. (2010). Six Sigma: a literature review. *International Journal of Lean Six Sigma*, 1(3), 216-233.
- [26] Pyzdek, T., & Keller, P. A. (2003). *The Six Sigma Handbook: A Complete Guide for Green Belts, Black Belts, and Managers at All Level*. New York [ua]: McGraw-Hill.
- [27] Shahin, A. (2008). Design for Six Sigma (DFSS): lessons learned from world-class companies. *International Journal of Six Sigma and Competitive Advantage*, 4(1), 48-59.
- [28] De Feo, J., & Bar-El, Z. (2002). Creating strategic change more efficiently with a new design for six sigma process. *Journal of Change Management*, 3(1), 60-80.
- [29] Franchetti, M. J. (2015). *Lean six sigma for engineers and managers: with applied case studies*. CRC Press.
- [30] Pepper, M. P., & Spedding, T. A. (2010). The evolution of lean Six Sigma. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 27(2), 138-155.
- [31] Arnheiter, E. D., & Maleyeff, J. (2005). The integration of lean management and Six Sigma. *The TQM magazine*, 17(1), 5-18.
- [32] Özdemiş, İ. B., & Pahlavani, H. (2018). Effects of air vents on the flow of reacting polyurethane foam in a refrigerator cavity. *Advances in Polymer Technology*, 37(7), 2420-2428.
- [33] Özdemiş, İ. B., & Akar, F. (2018). 3D simulation of polyurethane foam injection and reacting mold flow in a complex geometry. *Heat and Mass Transfer*, 54(5), 1281-1288.