

Implementación de Lean Six Sigma en Procesos de Servicio del Área de Mantenimiento

*Yalimar Vázquez Alsina
Maestría en Manufactura Competitiva, Control de Calidad
Carlos González, PhD.
Departamento de Ingeniería Industrial
Universidad Politécnica de Puerto Rico*

Resumen — *El presente artículo describe una propuesta de mejora en los procesos de servicio de mantenimiento ofrecidos en el Residencial Luis Muñoz Morales en Cayey. Analizado desde la perspectiva de la reducción de ineficiencias en el proceso, se utilizó el modelo Lean Six Sigma. La metodología propuesta para el desarrollo del modelo es la DMAIC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar). Esta metodología está sustentada por diversas herramientas seleccionadas en cada etapa. La aplicación de cada una de estas redundas en la reducción de ineficiencias en esta área.*

Palabras claves: *Ineficiencias, Manufactura Esbelta, Metodología DMAIC, Seis Sigma.*

INTRODUCCIÓN

Este artículo presenta un modelo de mejoramiento de los procesos logísticos mediante la identificación de metodologías y herramientas Lean Six Sigma. En el mismo, se pretende analizar la aplicabilidad de este en los servicios del área de mantenimiento que se ofrece en el Residencial Luis Muñoz Morales administrado por el Municipio de Cayey. Se espera identificar oportunidades de mejoras en dicha área y realizar ajustes en función a los servicios que nos lleven a mejorar y uniformar los procesos establecidos, y a la reducción de las ineficiencias debido a la falta de logística entre la Administración de Vivienda Pública, el Municipio de Cayey o aún en el mismo Departamento.

Descripción de la Investigación

La siguiente investigación se basa en identificar las causas de las ineficiencias que dieron como resultado 2,332 señalamientos en los servicios del área de mantenimiento, para de este

modo, realizar mejoras en los procesos y conseguir una organización altamente productiva y eficiente.

Objetivos de la Investigación

- Identificar las ineficiencias operativas y organizativas que llevaron a los señalamientos para desarrollar oportunidades de mejora. Se pretende crear un ambiente de servicio libre de errores eliminando la causa raíz de los mismos.
- Establecer métricas e indicadores que ayuden a identificar la muda asociada a esta operación.
- Iniciar actividades de solución de problemas con métodos Lean Six Sigma que ayuden a reducir o eliminar la muda o ineficiencias en esta área de trabajo.
- Mantener los logros mediante la normalización de los procesos.

Aporte de la Investigación

Optimizar el funcionamiento del área de mantenimiento mediante la implementación de un programa de mejoramiento continuo que nos lleve a incrementar la productividad, controlando los procesos de los servicios, enfocándose en identificar las ineficiencias para llevar a cabo la eliminación y control de los mismos en el área de trabajo.

REVISIÓN DE LITERATURA

Con el propósito de cumplir con los objetivos de esta investigación, se realizó una revisión de literatura que sugiere el modelo Lean Six Sigma y la metodología DMAIC.

Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing)

Lean Manufacturing (Manufactura Esbelta), es un concepto que surge principalmente del Sistema

de Producción de Toyota (Toyota Production System, TPS). Lean es un conjunto de “Herramientas” que ayudan a la identificación y eliminación o combinación de desperdicios (muda), a la mejora en la calidad y a la reducción del tiempo y del costo de producción [1]. Entonces, podría decirse que utiliza diversos métodos, los cuales nos permiten reducir o eliminar todo tipo de desperdicio “muda”, que no añade valor a los procesos, ya sea de un producto o un servicio. El mismo busca aumentar la productividad de forma consistente optimizando la calidad de productos o servicios. Proporciona beneficios a la organización realizando procesos de mejora continua. De acuerdo a [2], la gestión Lean ha contribuido notablemente a la mejora en eficiencia, competitividad, rapidez de respuesta y flexibilidad en los procesos, bien sean industriales o de servicios.

Al realizar los procesos de mejora, efectivamente, nos dirigimos a un cambio. En [3], exponen:

Kaizen es una palabra japonesa que significa “cambiar para bien” o “cambiar para mejora”. Kaizen es una metodología de mejora continua basada en un enfoque que se caracteriza por:

1. mejora en pequeños pasos
2. sin grandes inversiones
3. con la participación de todos los empleados
4. actuando, implementando rápidamente mejoras.

La metodología Kaizen requiere la aportación de todas las personas de la empresa y sirve para aumentar su motivación. Anima al trabajo en equipo y enseña a sus integrantes a trabajar en la mejora de forma sistemática y ordenada [3]. Kaizen, impulsa el éxito del sistema Lean, dirigido primordialmente a rechazar el estado actual de la organización enfocándose en la resolución de problemas y la potenciación de la responsabilidad de los empleados. Pretende maximizar la capacidad de estos y minimizar los errores. Es la actitud hacia la mejora, hacia la utilización de las capacidades de todo el personal la que hace avanzar el sistema hasta llevarlo al éxito [4].

En [5], indican que Kaizen opera sobre la base de cuatro principios fundamentales que son:

1. El Principio de Restricciones Positivas: Implica crear condicionantes que impidan la generación o procesamiento de productos con defectos o fallas.
2. El Principio de Restricción Negativa: Se basa en la existencia de “cuellos de botella” que tienden a frenar, interrumpir o hacer más lento el normal desarrollo de las actividades y procesamiento de los productos o servicios.
3. El principio de Enfoque: Toda organización tiene un número limitado de recursos, y la mejor forma de aprovechar de ellos es enfocándolos a las actividades en las cuales la organización posee mayor competitividad. Nunca tal analogía ha sido tan importante y fundamental de comprender y aplicar.
4. Principio de facilitador: Principio de facilitación de las tareas, actividades y proceso, los procesos de simplificación, la automatización (comprendida la robotización), el poka yoke y la reingeniería de procesos, entre otros.

Seis Sigma

Seis Sigma puede ser definido como una estrategia enfocada al cliente que basada en hechos y datos, intenta alcanzar un nivel de calidad en los procesos, reduciendo la cantidad de defectos y minimizando su variabilidad, permitiendo de esta manera mejoras de desempeño planificadas y aumentar la eficiencia [6]. Es una filosofía que busca obtener mejores resultados (productos, servicios), por medio de procesos robustos que permitan reducir los defectos y los errores [7]. En [6], seis sigma es una herramienta que articula el uso de diferentes técnicas de la gestión de la calidad, el control estadístico y el diseño de experimentos; que combinadas con la medición del desempeño de procesos permite centrarse en mejoras focalizadas o de toda la organización. Seis Sigma, básicamente busca mejorar los procesos en calidad, eficiencia y niveles de servicio. En busca de esto mide la capacidad de los procesos

estadísticamente. Para entender el comportamiento de los procesos hace uso de sus datos, con el fin de llevar la calidad hasta niveles próximos a la perfección. Para identificar el nivel de Seis Sigma de una organización, se utiliza una medida de desempeño denominada Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), la cual puede ser usada como referente de comparación de calidad y defectos. Toda empresa que implemente esta herramienta busca que sus procesos estén en un nivel de aceptación de 3.4 Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO), es decir, que estén funcionando a un 99.99%. En fin, esta filosofía se basa en una metodología que facilita el mejoramiento de los procesos o productos basada en cinco fases o etapas que nos permite definir el problema que afecta los procesos, medir el desempeño actual, analizar la causa raíz de los defectos e identificar oportunidades de mejora, implementar soluciones que ataquen la causa raíz del problema y diseñar un sistema para mantener las mejoras logradas.

Lean Six Sigma

Lean Six Sigma es la combinación de las anteriores metodologías: Lean Manufacturing y Six Sigma. Ambas metodologías enfocadas en la maximización de la productividad y la eficiencia en los procesos. Se pretende que, mediante el uso adecuado de estas, se minimicen y eliminen desperdicios en los procesos y aumente la productividad de los empleados y de los procesos en general. Además, estas metodologías facilitan la recopilación de datos y su análisis e identifican oportunidades de mejoras. En [8], dicho modelo ayuda a detectar oportunidades de mejora, dimensionarlas, tomar acciones y sostenerlas en el tiempo.

METODOLOGÍA

Dentro de los métodos utilizados en Lean Six Sigma, encontramos DMAIC, *Figura 1*, proceso que nos permite mejorar los estándares de los sistemas productivos. Esta metodología ha sido

seleccionada para el desarrollo de esta investigación por ser una herramienta clara en cada una de sus fases.



Figura 1
Metodología DMAIC
Fuente: LeanSixSigmaBelgium.com

- I. **Etapas de Definición** - En esta etapa el objetivo es identificar la situación actual de la empresa, definir los objetivos del proyecto, sus responsables, el alcance, beneficios y resultados esperados.
- II. **Etapas de Medición** - Una vez definido el problema a atacar, se debe de establecer que características determinan el comportamiento del proceso [9]. Para esto es necesario identificar los procesos claves que influyen en la calidad. El objetivo de esta fase es medir los defectos o ineficiencias que se generan en relación a los procesos.
- III. **Etapas de Análisis** - Esta etapa tiene como objetivo analizar los datos recolectados en la etapa de medir, determinar y entender las causas más probables de los defectos o ineficiencias e identificar oportunidades de mejora.
- IV. **Etapas de Mejora** - En esta etapa se desarrollan e implantan medios para eliminar la causa de los defectos y se modifican los procesos para estar dentro de los límites apropiados.
- V. **Etapas de Control** - Una vez determinada la manera de mejorar los procesos debemos fijar una estrategia de control que asegure que los procesos se mantengan dentro de los límites de aceptación y sigan corriendo de manera eficiente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Esta sección analiza todas las actividades de ejecución del proyecto de investigación, que se realizaron en el Área de Mantenimiento del Residencial Luis Muñoz Morales administrado por el Municipio de Cayey. Para esto se discutirá el desarrollo de la metodología DMAIC, guía basada en el ciclo Deming y adaptada para proyectos de mejora continua en cinco etapas: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y controlar.

Etapa de Definición

En esta fase se comenzó por identificar la problemática en el Área de Mantenimiento del Residencial Luis Muñoz Morales, luego de encontrar 2,332 señalamientos en monitoria realizada por la Administración de Vivienda Pública (AVP) durante el mes de mayo 2016.

En el diagnóstico de la situación que la Administración de Vivienda Pública aqueja y como punto de partida, se elaboró el “project charter”, **Figura 2**. En el mismo, se define el planteamiento del problema, se establecieron los responsables del proyecto, las fechas en que se llevó a cabo el proyecto, los beneficios y resultados esperados, el alcance y objetivos del proyecto, datos fundamentales para el éxito de la implementación del método Lean Six Sigma en este proyecto de reducción de ineficiencias en dicha área.

PROJECT CHARTER	
Nombre del Proyecto:	Implementación de Lean Six Sigma en Procesos de Servicio del Área de Mantenimiento
Sponsor:	Yalimar Vázquez Alsina
Master Belt:	Dr. Carlos González
Miembros del Equipo:	<ul style="list-style-type: none"> Supervisora de Mantenimiento Empleados del Área de Mantenimiento Administración del Residencial Luis Muñoz Morales Administración de Vivienda Pública (Área de Mantenimiento)
Fecha para llevar a cabo el proyecto:	20/06/2016 al 07/10/2016
Descripción del Proyecto:	Implementar Lean Six Sigma en el área de mantenimiento para disminuir las ineficiencias encontradas en la monitoria realizada durante el mes de mayo 2016 por la Administración de Vivienda Pública.
Alcance:	Identificar la causa raíz de los 2,332 señalamientos encontrados en la monitoria referente a los meses de julio 2015 a marzo 2016, para de este modo realizar mejoras en el proceso.
Objetivos del Proyecto:	Implementar métodos Lean Six sigma en procesos de gestión para identificar y medir las ineficiencias en el área de mantenimiento y de este modo reducir o eliminar las mismas.
Beneficios y Resultados Esperados:	<ul style="list-style-type: none"> Reducir las ineficiencias en el área de mantenimiento. Crear un programa de control de calidad para asegurar que los procesos estén libre de errores.

Figure 2
Project Charter

Como parte del estudio en esta fase, se realizó el diagrama (SIPOC por sus siglas en inglés: Suppliers, inputs, process, outputs, customers) usado para comprensión del proceso, **Figura 3**.

Diagrama SIPOC

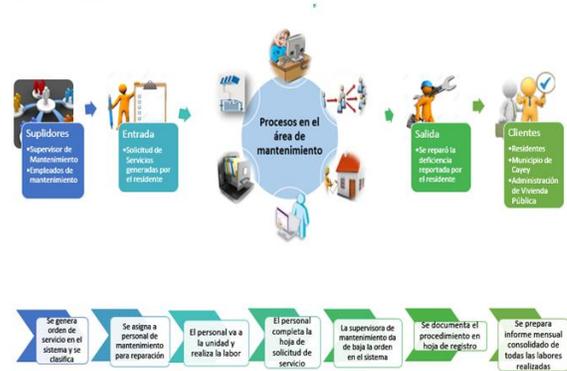


Figure 3
Diagrama SIPOC

Etapa de Medición

El objetivo de esta fase es recopilar datos que nos ayuden a conocer la situación actual del Área de Mantenimiento. Se recopilaron datos en puntos críticos (julio 2015 a marzo 2016) para ser analizados en la próxima etapa de DMAIC. **Figura 4**.

Hallazgos	Julio	Agosto	Sept	Oct.	Nov.	Dic	Enero	Feb.	Marzo	Total
1-Error en el registro de solicitud de servicio.	70	70	32	112	50	64	43	65	68	574
2-Solicitudes de servicios donde en material utilizado escriben material en uso o trazan una línea.	20	40	4	315	12	23	21	54	9	498
3-Hoja de solicitud mal completada.	169	29	16	12	7	15	47	105	6	406
4-Error de costos en la solicitud de servicio.	9	17	0	293	0	14	4	4	8	349
5-No es específico el trabajo a realizar en la solicitud.	41	47	27	38	37	21	8	10	28	257
6-No cumplió con la programación del plan de mantenimiento preventivo.	13	2	18	7	2	2	13	2	15	74
7-No se completan los trabajos radicados en la solicitud.	17	10	2	6	6	0	0	2	1	44
8-Problemas en informe consolidado.	5	7	4	7	4	3	3	3	7	43
9-Se realizan cambios a la solicitud luego de la clasificación.	3	3	0	15	0	10	0	2	2	35
10-Solicitud de Servicios mal clasificadas.	3	4	3	6	2	2	4	8	2	33
11-El trabajo realizado no coincide con el trabajo a realizar en la solicitud.	12	4	0	0	0	0	0	2	1	19
	Total= 2,332 señalamientos									

Figure 4
Número de Señalamientos que se Contabilizó en los Hallazgos de la Monitoria Realizada en los Meses de Julio 2015 a Marzo 2016

Como podemos observar en la monitoria realizada, se encontraron 11 hallazgos, que indican ineficiencia en los procesos de servicios en el área de mantenimiento. Después de medir todos los

señalamientos durante 9 meses se obtuvieron como resultados los siguientes datos:

- El número de hallazgos en los procesos: 11
- El total de servicios ofrecidos durante los 9 meses: 3,400
- El número de señalamientos encontrados en los procesos fue 2,332
- Las fallas por servicio (FPS)= Defectos encontrados/Producción Total= 2,332/3,400= 0.6829
- Las fallas por oportunidad(FPO)= Defectos encontrados/(Producción Total*oportunidad en unidad)= 2,332/(3,400*11)= 0.06235
- Las fallas por millón de oportunidad (FPMO)= FPO* 1,000,000= 62,350
- Rendimiento= 1-0.06235= .9377*100= 93.77%

Si se observa en la **Figura 5**, podemos apreciar que 62,350 de ineficiencias por millón de oportunidades arroja una oportunidad de 93.77% con un nivel sigma de 3, por tanto, podemos concluir que los procesos de servicios en el Área de Mantenimiento necesitan aplicar una metodología de mejora continua, que nos ayude a reducir las ineficiencias al mínimo para luego mantenerlo.

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
6	3.4	99.99966%	2.9	80,757	91.9%
5.9	5.4	99.99946%	2.8	96,801	90.3%
5.8	8.5	99.99915%	2.7	115,070	88.5%
5.7	13	99.99866%	2.6	135,666	86.4%
5.6	21	99.9979%	2.5	158,655	84.1%
5.5	32	99.9968%	2.4	184,060	81.6%
5.4	48	99.9952%	2.3	211,855	78.8%
5.3	72	99.9928%	2.2	241,964	75.8%
5.2	108	99.9892%	2.1	274,253	72.6%
5.1	159	99.984%	2	308,538	69.1%
5	233	99.977%	1.9	344,578	65.5%
4.9	337	99.966%	1.8	382,089	61.8%
4.8	483	99.952%	1.7	420,740	57.9%
4.7	687	99.931%	1.6	460,172	54.0%
4.6	968	99.90%	1.5	500,000	50.0%
4.5	1,350	99.87%	1.4	539,828	46.0%
4.4	1,866	99.81%	1.3	579,260	42.1%
4.3	2,555	99.74%	1.2	617,911	38.2%
4.2	3,467	99.65%	1.1	655,422	34.5%
4.1	4,661	99.53%	1	691,462	30.9%
4	6,210	99.38%	0.9	725,747	27.4%
3.9	8,198	99.18%	0.8	758,036	24.2%
3.8	10,724	98.9%	0.7	788,145	21.2%
3.7	13,903	98.6%	0.6	815,940	18.4%
3.6	17,864	98.2%	0.5	841,345	15.9%
3.5	22,750	97.7%	0.4	864,334	13.6%
3.4	28,716	97.1%	0.3	884,930	11.5%
3.3	35,930	96.4%	0.2	903,199	9.7%
3.2	44,565	95.5%	0.1	919,243	8.1%
3.1	54,799	94.5%			
3	66,807	93.3%			

Figura 5

Tabla de Conversión de Capacidad del Proceso en Sigmas
Fuente: (www.icim.com/files/MedicionesSS.doc)

Al no obtener un buen resultado de nivel sigma, comenzamos a buscar cuales podrían ser las posibles causas que generan las ineficiencias en los procesos. Para esto se realizó una gráfica de Pareto, **Figura 6**, de cantidad de señalamientos encontrados en los hallazgos de la monitoria realizada por AVP.



Figura 6
Gráfica de Pareto

Luego de analizar el diagrama de pareto, podemos observar que los cinco primeros tipos de ineficiencias se presentan en el 89% de los señalamientos de mantenimiento. Por el principio de pareto, concluimos que: la mayor parte de las ineficiencias encontradas en los señalamientos pertenece a cinco tipos de defectos (error en el registro de solicitud de servicio, solicitudes de servicios donde en material utilizado escriben material en uso o trazan una línea, hoja de solicitud mal completada, error de costos en la solicitud de servicio, no es específico el trabajo a realizar en la solicitud), de manera que si eliminamos las causas que los provoca, desaparecerá la mayor parte de las ineficiencias en el proceso.

Etapa de Análisis

El propósito de esta fase es determinar y evaluar los elementos del área de mantenimiento más críticos, aquellos que de una forma u otra afectan el proceso del mismo. Para ello, se analizaron los datos recogidos en la etapa de medición y se creo un diagrama de causa y efecto (Diagrama de Ishikawa) **Figura 7**. La utilización de este diagrama complementa en gran medida la

Gráfica de Parto, pues nos permite priorizar un análisis en aquellas causas que representan el mayor porcentaje de problemas. Dicho diagrama, motivó el análisis y discusión grupal, llevándonos a visualizar las razones o factores principales y secundarios del problema, para de este modo identificar posibles soluciones, tomar decisiones y llevar a cabo un plan de acción que nos lleve a controlar las ineficiencias en esta área.

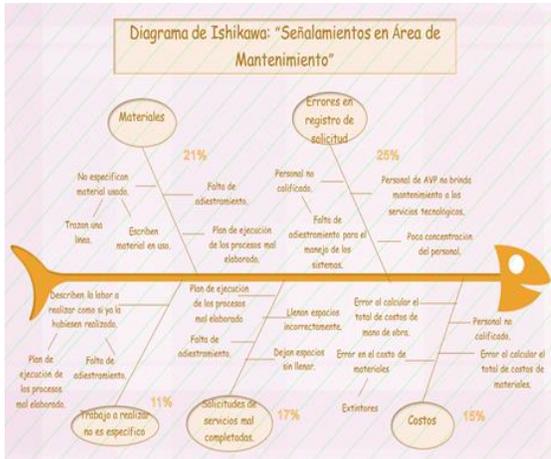


Figura 7
Diagrama de Ishikawa

Luego de evaluar los elementos más críticos en el diagrama de Ishikawa, podemos observar que la pérdida de eficiencia en el área de mantenimiento está siendo provocada mayormente por la falta de adiestramiento y los planes de ejecución del proceso mal elaborados. Por consiguiente, para asegurarnos de que las ineficiencias reportadas en el área de mantenimiento no continúen presentándose recurriremos a buscar mejoras mediante la implementación de Lean Six Sigma.

Etapa de Mejora

El objetivo de esta etapa es desarrollar y llevar a cabo mejoras en los procesos de servicio del Área de Mantenimiento, para así reducir o eliminar las ineficiencias. Luego de realizar el análisis, pudimos identificar la causa raíz de los defectos que más afectan los procesos. Identificamos que las causas con mayor porcentaje de problemas se dan por la necesidad de adiestramiento al personal de esta área y por la necesidad de mejorar el plan de ejecución

de los procesos. Por ende, se llevará a cabo una estandarización de los procesos mediante mejora continua (Kaizen), enfocada en la eliminación de desperdicios, implementando acciones que involucran la participación de todo el personal de trabajo y basándose en el estímulo y capacitación del personal.

Como parte de la implementación de mejoras se le solicitó a la Administración de Vivienda Pública, que realizara un adiestramiento en el mes de Junio 2016, para la capacitación de todo el personal involucrado en los procesos del área de mantenimiento. En el mismo se enfatizó lo siguiente:

- La manera de completar las solicitudes de servicios para evitar señalamientos por las hojas de solicitud mal completadas.
- Se recalcó al personal de mantenimiento, que luego de realizar las reparaciones, deberá completar la solicitud de servicios en todas sus partes, incluyendo firma del residente, materiales usados, costo de estos y mano de obra. Además, el empleado deberá firmar la solicitud incluyendo la fecha y hora en que se comenzó el trabajo y cuando se completó.
- Se indicó al personal, que independientemente del trabajo que realicen, verificarán que el detector de humo y extintor de incendio cumplan con los requisitos del National Fire Protection Association Standards y los códigos aplicables (federales y estatales).
- Se indicó como se realizará la descripción del servicio solicitado y se especificó que no se podrán utilizar frases como (verificar, revisar, alega o sinónimos de estas palabras).
- Se señaló que las solicitudes de servicio se clasificarán de acuerdo al plan de ejecución de los procesos como emergencia y no emergencia.
- Se adiestro sobre la manera correcta de completar el registro de solicitud de servicio.
- Se orientó al personal sobre la importancia de llevar a cabo el plan de mantenimiento preventivo para evitar fallas o

averías imprevistas en los sistemas redundando en una reducción de costos operacionales.

Además de realizar este adiestramiento, la Administración del Residencial Luis Muñoz Morales, realizó mejoras en el plan de ejecución de los procesos. En el mismo, se incluye los pasos detallados a seguir según lo solicitado por la Administración de Vivienda Pública.

Como parte de validar las mejoras realizadas en el proceso, se realizó una Prueba de Hipótesis para comprobar que en efecto la implementación de estas fue eficiente.

Para el estudio se analizaron dos meses (julio y agosto 2015) antes de implementar las mejoras, y dos meses (julio y agosto 2016) luego de implementarlas.

El objetivo de esta prueba es saber si el proceso de antes y después de implementar las mejoras es igual, o si las ineficiencias antes de comenzar con este proceso son mayores.

Señalamientos julio y agosto 2015 por hallazgos encontrados (X)= 140,60,198,26,88,15,27,12,6,7,16
Señalamientos julio y agosto 2016 por hallazgos encontrados (Y)= 1,1,3

Pasos:

- Se estableció Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa.
 - Ho: $\mu X = \mu Y$
 - Hi: $\mu X > \mu Y$
- Elegimos prueba de Hipótesis Distribución T para dos muestras independientes. Se otorgó un Error tipo 1 o alpha de 10%. Nivel de Confiabilidad 90%
- Se determina el valor crítico.

Para obtener el valor de T crítica se utilizó la tabla de Distribución T, **Figura 8**. El valor en la tabla será $P(T_{crit} > .90)$ o una alpha de 10% (.1). Además, se determinaron los grados de libertad para esta distribución. Estos grados nos permiten desarrollar un estimado de los parámetros estadísticos cada vez que hayamos usado un estimado para la desviación o promedio.

TABLA IX
Distribución t de Student

Grados de libertad	Probabilidades							
	0.75	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995	0.9995	
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619	
2	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.599	
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941	
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610	
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859	
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959	
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405	
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041	
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781	
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587	
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437	
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318	
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221	
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.146	
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073	
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015	
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965	
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922	
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883	
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850	
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.819	
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792	
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.767	
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745	
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.725	
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707	
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.690	
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674	
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659	
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646	
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551	
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660	3.460	
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617	3.373	

Figura 8

Tabla de Distribución T

Fuente: <http://eyticr.blogspot.com/>

Con los siguientes datos calculamos los grados de libertad (V). Consulte (1)

$$X_{\text{barra}} = X = 19.5 \text{ Desviación Std Muestral} = S_x = 2.59$$

$$Y_{\text{barra}} = Y = 8.71 \text{ Desviación Std Muestral} = Y_x = 1.80$$

$$V = \left[\frac{\frac{\frac{S_x^2}{N_x} + \frac{S_y^2}{N_y}}{\frac{(S_x^2/N_x)^2}{N_x+1} + \frac{(S_y^2/N_y)^2}{N_y+1}}}{-2} \right] \quad (1)$$

$$V = 10$$

Con los grados de libertad estimados, nos dirigimos a la tabla de la distribución T y determinamos el valor de T crítica para esta prueba de hipótesis.

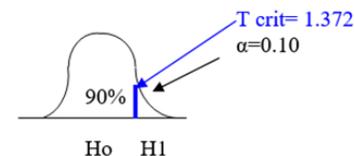


Figura 9
Grafica con Valor de T Crítica

Con esto, ya tenemos la frontera o límite de aceptación, lo que significa que de $-\infty$ hasta 1.372

es Ho y que desde 1.372 hasta ∞ es H1, **Figura 9**. Ahora buscamos la T experimental.

- Se determina la T experimental, Consulte (2), que nos provee el comportamiento de la variable basado en data recopilada y evaluada experimentalmente. También nos define cual zona de aceptación, **Figura 10**, será seleccionada para desarrollar la conclusión.

$$T_{exp} = \frac{(\bar{X} - \bar{Y})}{\sqrt{\frac{SX^2}{NX} + \frac{SY^2}{NY}}} = 2.74 \quad (2)$$

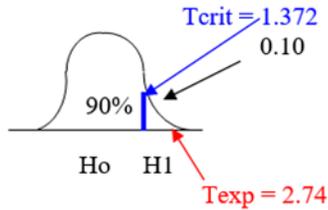


Figura 10
Grafica con Valores de T Crítica y T Experimental

- Concluimos: Al valor experimental caer en la zona de H1, rechazamos Ho, lo que implica que con la data que tenemos podemos inferir que los señalamientos antes de comenzar las mejoras son mayores en comparación a cuando estas ya han sido aplicadas.

Etapa de Control

Una vez que las mejoras han sido implementadas el objetivo de esta fase es validar, verificar y monitoriar las mejoras realizadas para que continúe su cumplimiento y detectar cualquier reincidencia para corregir a tiempo.

Ya sustentados los procesos de capacitación del personal en la etapa de mejora, se procedió a realizar nuevamente las mediciones para seis sigma. Para identificar si hubo en efecto mejoras se realizó monitoría interna en los meses de julio y agosto 2016, en donde se obtuvieron un total de 5 señalamientos (1 hojas de solicitudes de servicio mal completadas, 1solicitud mal clasificada y 3

errores al calcular el costo en la solicitud de servicio).

Después de medir los señalamientos en la monitoría interna realizada durante los meses de julio y agosto 2016, obtuvimos como resultado los siguientes datos:

- El número de hallazgos en los procesos: 3
- El total de servicios ofrecidos durante los 2 meses: 586
- El número de señalamientos encontrados en los procesos fue: 5
- Las fallas por servicio (FPS)= Defectos encontrados/Producción Total= 5/586= 0.0085
- Las fallas por oportunidad(FPO)= Defectos encontrados/ (Producción Total*oportunidad en unidad) = 5/(586*3)= 0.0028
- Las fallas por millón de oportunidad (FPMO)= FPO* 1,000,000= 2,800
- Rendimiento= 1-0.0028= .9972*100= 99.72%

Por tanto, si observamos en la **Figura 5**, podemos apreciar que 2,800 de ineficiencias por millón de oportunidades arroja una oportunidad de 99.72% con un nivel sigma ente 4.2 y 4.3, por tanto, podemos concluir que los procesos de servicios en el Área de Mantenimiento están siendo mejorados.

Finalmente, se desarrolló un plan de control para continuar mejorando los procesos:

- Diariamente el supervisor de mantenimiento deberá revisar que las solicitudes de servicio estén debidamente completadas.
- Se implementarán hojas de chequeo para la documentación de control del proceso que el supervisor de mantenimiento tendrá que completar al revisar las solicitudes.
- Se realizarán monitorías internas por la Administración del Residencial Luis Muñoz Morales mensualmente para dar seguimiento a los procesos.

CONCLUSIÓN

Para el logro de las mejoras en el Área de Mantenimiento, se implementó el modelo Lean Six

Sigma. De los objetivos propuestos al comienzo de la investigación, se concluye que se logró identificar las ineficiencias que llevaron a los 2,332 señalamientos mediante métricas que facilitaron esta operación. Se iniciaron actividades de mejora continua que dieron como resultado la reducción de las ineficiencias en los procesos de servicio de esta área y el incremento del nivel seis sigma. Se estandarizaron y controlaron los procesos mediante la aplicación de la metodología DMAIC. Por tanto, se pretende continuar desarrollando oportunidades de mejora que creen un ambiente libre de errores.

No obstante, obtuvimos estos resultados gracias al compromiso del personal de la Administración del Residencial Luis Muñoz Morales y a la capacitación que ofreció la Administración de Vivienda Pública a los mismos.

REFERENCIAS

- [1] F. González, "Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing). Principales Herramientas", *Rev. Pan. Adm.*, vol. 1, no. 2, Enero-Junio, 2007, pp. 85-112.
- [2] P. A. Gómez, "Lean Manufacturing: flexibilidad, agilidad y productividad", *Lasalle*, vol. 3, no. 2, 2010, pp. 75-88.
- [3] J. E. Para, "Kaizen: cuando la mejora se hace realidad", *Rev. Téc. Ind.*, ISSN: 0040-1838, no. 271, Septiembre-Octubre, 2007, pp. 31-35.
- [4] J. C. Hernández y A. Vizán, "Lean Manufacturing: Conceptos, Técnicas e Implementación", *Madrid:EOI*, 2013.
- [5] Y. A. Atehortua & J. H. Restrepo, "Kaizen: Un caso de estudio", *Rev. Sci Et Tech.*, vol. XVI, no. 45, Agosto, 2010, pp. 59-64.
- [6] R. A. Gómez, P. D. Medina & A. A. Correa, "El Seis Sigma en la Cadena de Suministro", *Rev. Entre cien. e ing.*, vol. 6, no. 12, Diciembre, 2012, pp. 36-42.
- [7] L. Arias, L. M. Portilla & J. C. Castallo, "Aplicación de Six Sigma en las Organizaciones", "Rev. Scien Et Tech", vol. XIV, no. 38, Junio, 2008, pp. 265-270.
- [8] O. L. Mantilla & J. M. Sánchez, "Modelo tecnológico para el desarrollo de proyectos logísticos usando Lean Six Sigma", "Rev. Est. Gerenciales", vol. 28, no. 124, Julio-Septiembre, 2012, pp. 23-43.
- [9] J. R. Ocampo & A. E. Pavón, "Integrando la Metodología DMAIC de Seis Sigma con la Simulación de Eventos Discretos en Flexsim", *Rev. LACCEI*, Julio, 2012, pp. 1-10.