TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

SLP PROSPEREMOS JUNTOS Gobierno del Estado 2015-2021

INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR de san luis potosí, capital

Revista Capital Intelectual

Ciencia Tecnología Sociedad

Análisis para el estudio de la recursividad en el ámbito de la programación funcional 13

Cestería de carrizo en Ajalpan 36

Las competencias transversales en estudiantes participantes en un programa de capacitación laboral en empresas transnacionales. 30

Desarrollo de un programa estratégico organizacional anticorrupción en una empresa del sector de la construcción 53

Año: 3 Número: 10 ISSN: 2007-9893

Revista Capital Intelectual
Ciencia Tecnología Sociedad

Directorio

Mtro. Manuel Quintero Quintero
Director General Tecnológico Nacional de México

M.C. Manuel Chávez Sáenz
Director de Institutos Tecnológicos Descentralizados

Dra. Yesica Imelda Saavedra Benítez
Directora de Posgrado, Investigación e Innovación del Tecnológico Nacional de México

Ing. Joel Ramírez Díaz
Secretario de Educación de Gobierno del Estado de San Luis Potosí

Lic. José Antonio Bonales Rojas
Director de Educación Media Superior y Superior de la SEGE

M.C.E. Sandra Saucedo Escalante
Directora General del ITSSLP,C

Consejo Editorial

M.C.E Karla Penéloppe Encinas Ramírez
Directora Académica

Dra. Lya Adlih Oros Méndez
Subdirectora Académica

MADI. Selene Yuridia Ramos Candia
Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación

M.I. Miguel Ángel Mota Velázquez
Jefe de División de Ingeniería en Mecatrónica

M.P.S. Adela Marisol Sierra Guerrero
Jefa de División de Ingeniería Industrial

Ing. Alejandro César Rico Martínez
Jefe de División de Ingeniería en Sistemas Computacionales

C.P. Marina Aceves Estrada
Jefa del Departamento de Difusión y Promoción

EDITOR RESPONSABLE
Mtra. Selene Yuridia Ramos Candia
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación del ITSSLPC

COLABORADORES
M.A.F.H. María Celene Lerma Reyna
MDO. Erika Lizeth Aguilar Castillo
C. Leticia Saucedo Ortiz

COLABORADORES ESPECIALES
Arbitros Externos

DISEÑO GRÁFICO
D.G. Pedro Antonio Rivas Zermeño
pedro.rivas@tecsuperiorslp.edu.mx

REVISTA CAPITAL INTELECTUAL, Año 3 No. 10; septiembre-diciembre 2017, es una publicación cuatrimestral editada por el Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Carretera 57 México – Piedras Negras Km. 189+100 Tramo Querétaro – San Luis Potosí No. 6501 Delegación Municipal de Villa de Pozos, San Luis Potosí, C.P. 78421 Tel. 01 444 804 12 20 www.tecsuperiorslp.edu.mx revista.capital.intelectual@gmail.com; Editor responsable: Mtra. Selene Y. Ramos Candia. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2014-073119354200-102, ISSN: 2007-9893, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor, Responsable de la última actualización de este número, C.P. Marina Aceves Estrada. Jefa del Departamento de Difusión y Promoción del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Carretera 57 México – Piedras Negras Km. 189+100 Tramo Querétaro – San Luis Potosí No. 6501 Delegación Municipal de Villa de Pozos, San Luis Potosí, C.P. 78421, fecha de última modificación, 2 de septiembre de 2014. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización del Instituto Tecnológico Superior de San Luis Potosí, Capital.

Reducción de Re-trabajo en el Pulido de Body Color 1 utilizando la metodología Seis Sigma.

María del Carmen Murillo Flores[1] carmen.murillo@hotmail.com
Francisco Baruck Alvarado[1] mexicodigital@gmail.com
Norma Aura Rangel Vázquez[2] geometry198128@gmail.com
Raúl Durán García[3] gadura84@hotmail.com

1. Ciateq (Centro de Investigación Avanzada en Tecnología).
2. ITA (Instituto Tecnológica de Aguascalientes).
3. ITESM (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey).

Resumen

El caso de estudio de "Reducción de Re-trabajo en el Pulido de Body Color 1" ocasionado por basuras y grumos en los tableros pintados de una empresa del sector automotriz en la ciudad de Aguascalientes", se llevó a cabo con el objetivo de disminuir el Re-trabajo en el área de Body Color 1 en un 30%, generando una utilidad anual de $50,276 USD, mediante la metodología Seis Sigma DMAIC (Define – Measure – Analyze – Improve – Control) o Definir – Medir – Analizar – Mejorar – Controlar, con la finalidad de encontrar la causa raíz del problema, empleando la transformada de Johnson para obtener una distribución normal ajustada, se identificaron las variables que afectaban al proceso, siendo X3 (Base de Jig limpio/Jig sucio) y X5 (humedad en cabina 40-70%) las de mayor contribución, las cuales no estaban consideradas como modo de falla del proceso, además se determinó que el máximo nivel de humedad más estable fue del 70%, reduciendo la cantidad de piezas por defectos de basuras y grumos y obteniendo un beneficio económico para la empresa de 65,280 USD, representando un mayor valor agregado.

Abstract

The case study "Reduction Re-work in Polishing Body Color 1 caused by rubbish and lumps in the module Cockpit painted for an automotive company from Aguascalientes City", the objective is Re-work reduce in Body Color area 30% off, obtaining an annual profit of $ 50,276 USD. was developed through the DMAIC methodology, with the purpose was to find the root cause of the problem, using the Johnson´s Transform to obtain an adjusted normal distribution, to identify the process variables were defined, and these variables were X3 (dirty Jig) and variable X5 (humidity in cabins 40-70%), were not considered as part of the process failure mode, was determined the value of the level relative humidity maximum 70% this reducing the number of pieces with defects, obtaining economic profits of 56,280 USD, and major add value.

Palabras Clave. DMAIC, Diseño de Experimentos, Johnson, Seis Sigma y Re-trabajo.

1. Introducción.

Este proyecto de implementación de Seis Sigma, se llevó a cabo en el proceso de aplicación de pintura del área de Body Color 1.

Las empresas multinacionales sobre todo en la industria automotriz hoy en día buscan mejorar su competitividad de diversas formas, esto con la intención de ofrecer productos con buena calidad en el entorno tan competido, la mejora de la competitividad se logra mediante una variedad de herramientas de diferentes tipos y especialidades, desde herramientas y/o técnicas mercadológicas de calidad e ingenieriles. Cualquiera de las herramientas que sean utilizadas. Tienen como objetivo hacer más atractivo y/o competitivo el producto, formando equipos multifuncionales.

Las estrategias operacionales de la industria manufacturera han sido influenciadas por métodos y filosofías como el desarrollado exitosamente en Toyota que con el TPS (Sistema de Producción Toyota) marcó el camino para empresas del ramo automotriz y otros ramos manufactureros y de servicios, alineando los objetivos operacionales a la mejora continua y obteniendo una posición competitiva de clase mundial, a través del mejoramiento de los indicadores clave de desempeño y específicamente en aspectos netamente financieros (Jeffrey 2006).

Los procesos de mejora continua dentro de las industrias manufactureras, buscan impactar directamente el costo del producto, haciendo éste más competitivo dentro del mercado, donde se encuentra y/o buscando incrementar el margen que se obtiene por la venta del mismo, así la metodología de Seis Sigma va encaminada a la búsqueda del estado

ideal (disminución de la variación en los procesos) mediante las diversas herramientas utilizadas en cada etapa del DMAIC y de las que ésta hace uso, dando como resultado el mejoramiento de los procesos productivos.

Para que un proyecto Seis Sigma sea exitoso y se obtengan los beneficios esperados, debe ser un proyecto bien definido, con objetivos alcanzables y donde la metodología se pueda aplicar debe existir un compromiso de todas las áreas involucradas, principalmente de la dirección de la compañía, el líder Black Belt del proyecto debe estar enfocado exclusivamente al desarrollo del mismo, manteniendo informada a la dirección de los avances y desempeño del mismo, el personal involucrado debe recibir la capacitación necesaria para poder aportar beneficios en el proyecto (George 2012).

La aportación de la metodología Seis Sigma hacia las empresas es reducir la variabilidad en los procesos, impactando directamente en la disminución del DPMO (Defectivo por Millón de Oportunidades), ya que está relacionada directamente con las características críticas de calidad del cliente y del proceso. (Ginn Dana, Varner Evelyn, Barbará y Streibel Jersildsé Chistine 2002).

Las herramientas utilizadas son parte importante en el desarrollo de este proyecto de Seis Sigma y son la base de la metodología DMAIC.

Seis Sigma es una metodología de mejora continua que se enfoca en la reducción de defectos en todo tipo de procesos, reduciendo costos de mala calidad e incrementando la satisfacción de los clientes. El propósito de Seis Sigma es reducir la variación de los procesos para que estos no generen más allá de 3.4 DPMO (Defectos por millón). (Ginn Dana, Varner Evelyn, Barbará y Streibel Jersildsé Chistine 2002). Reducir los defectos de su nivel actual a un nivel Seis Sigma, puede generar ahorros para la organización de hasta un 40% de sus ingresos (Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002).

Seis Sigma ha logrado que estos resultados se transformen en beneficios económicos para las empresas, alcanzando ahorros importantes dentro de sus procesos productivos y administrativos, creando una cultura de mejora dentro de la compañía y beneficiando así a gran parte de los colaboradores dentro de la misma.

Seis Sigma implica que toda persona dentro de la organización tenga un enfoque completo, dando un paso al frente en sus operaciones al llevarlas a un nivel máximo de calidad.

El éxito en la implementación de Seis Sigma depende del compromiso de la Alta Dirección principalmente, además del involucramiento de todos los colaboradores, por otro lado el liderazgo, el empowerment (Potenciación, delegar poder y autoridad a los subordinados), el trabajo en equipo, el tiempo, el talento, la creatividad, la dedicación, la perseverancia y la inversión económica sustentada, son factores esenciales que se requieren tener presentes al momento de decidir iniciar este tipo de proyectos (George 2012).

En términos estadísticos, el propósito principal de Seis Sigma es reducir las variaciones en los procesos, de tal manera que se consigan desviaciones estándar pequeñas para asegurar que los productos o servicios establecidos cumplan las expectativas de los clientes (Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002).

1.1 Metodología Seis Sigma operacional (DMAIC)

Seis Sigma engloba una metodología de proceso de mejora bien estructurada, sistemática, fácil de usar y formalizada. Empieza con una fase de Definir, en la que se identifica el proceso o producto que se necesita mejorar, seguida de analizar, mejorar y controlar. Esta metodología funciona perfectamente para mejorar todo tipo de características críticas de la calidad, procesos productivos, administrativos, empresas productivas y de servicio. (Ver figura1). (Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002).

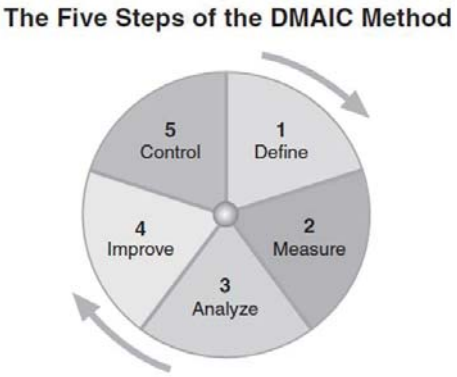


Figura 1. Cinco pasos de DMAIC.
(Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002).

Cada Fase del DMAIC tiene los siguientes propósitos:

Etapa 1. Definir el proyecto.

Definir el propósito y el alcance del proyecto.

Recopilar información de antecedentes sobre el proceso, las necesidades y requerimientos de los clientes.

Etapa 2. Medir la situación actual.

Recopilar información sobre la situación actual y proporcionar un enfoque más claro para el esfuerzo de la mejora.

Etapa 3. Analizar para identificar las causas.

Identificar la causa raíz del problema.

Confirmar con datos.

Etapa 4. Implementar el proceso.

Desarrollar e implementar soluciones que abordan las causas fundamentales.

Utilizar los datos para evaluar las soluciones y generar los planes que se llevaran a cabo.

Etapa 5. Controlar el proceso definido.

Mantener las ganancias que se han logrado por estandarizar los métodos de trabajo y procesos.

Anticipar las mejoras futuras y hacer planes para preservar las lecciones aprendidas.

En la figura 2. Flujo para la metodología DMAIC (Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002). Se muestra un diagrama de flujo para la implementación de la metodología DIMAIC.

Como líder del equipo Seis Sigma, se debe trabajar con los equipos de mejora, utilizando el método DMAIC. Para que este método sea exitoso, primeramente debe estar familiarizado con las metas y los resultados de cada etapa, enfocado a guiar el proyecto durante cada paso y utilizar de manera adecuada las herramientas necesarias para completar su trabajo. Es muy importante la secuencia que los proyectos Seis Sigma necesitan seguir.

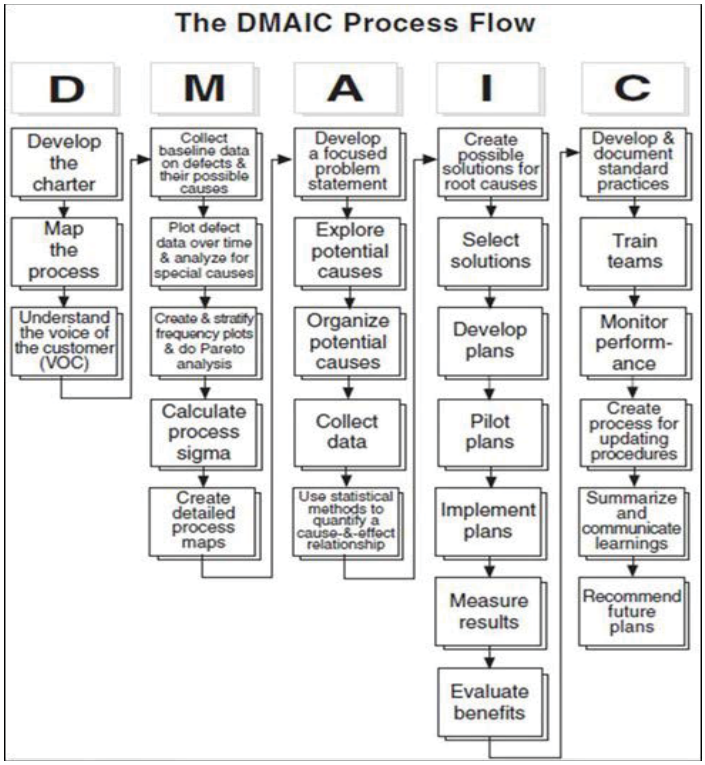
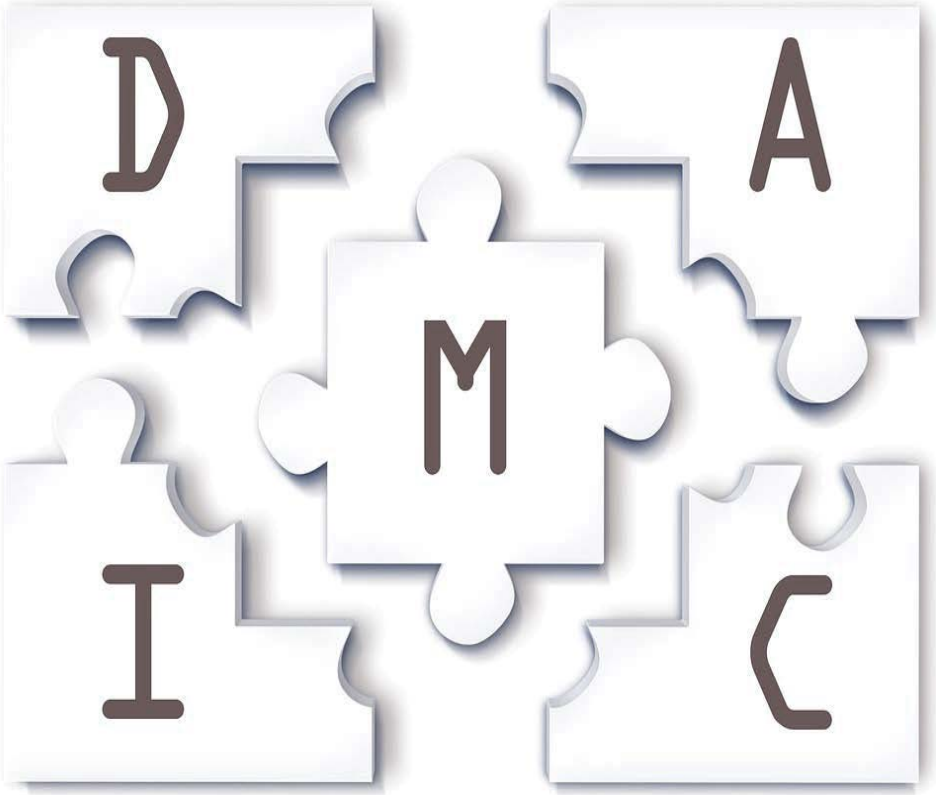


Figura 2. Flujo para la metodología DMAIC (Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane 2002).



1.2. Herramientas utilizadas en el proyecto

Cada fase de la metodología DMAIC ofrece una variedad de herramientas que ayudan al logro de objetivos, que es reducir la variabilidad en los procesos. Se muestra abajo una figura de las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto aplicado en un caso real de la industria automotriz, dentro de una planta de inyección de plástico, específicamente en el área de aplicación de pintura. Donde se producen partes pintadas para tableros que son ensamblados en el interior del vehículo. (Ver figura 3).

Fase	Herramientas
1) Define Resultados Cartera del proyecto - Declaración del problema. - Alcance, escala y límites del proyecto. - Equipo del proyecto. - Gráfica de Gantt / esquema de tiempo. - Metas y objetivos de mejoramiento. Voz del cliente / consumidor	Project chárter Gráfica de Pareto. Plan de actividades (preferente diagrama Gantt). Identificar oportunidades de mejoras rápidas. Requerimientos críticos de los clientes, (CTQ's) relacionados a los CTQ's del proceso.
2) Mide Resultados Datos base. Cartera del proyecto y/ó declaración del problema refinados. Mapa del proceso refinado.	Diagrama del proceso. Diagrama SIPOC. Análisis del sistema de medición (MSA). Capacidad actual del proceso CPK. Gráficos de control. (DPMO). Nivel sigma actual del proceso. Mapeo del proceso identificar "X"s y "Y"s.
3) Analiza Resultados Causa raíz identificada. Causa raíz validada.	Regresión Lineal Análisis de Modo y Efecto de Fallas (FMEA), en caso de ser necesario
4) Mejora Resultados Mejoramientos / contramedidas priorizadas. Plan de mejoramiento. Soluciones ó mejoramientos Validados.	Gráficas de control. Mapas de procesos. DOE (Design of Experiments) o Diseño de Experimentos. A prueba de errores/fallas. Tableros e indicadores del proceso. Costos de calidad. Análisis global de costos.
5) Controla Resultados Plan de control. Planes de Mantenimiento y mejoras futuras.	Gráficas de control. Tableros e indicadores del proceso. Planes de Mantenimiento. Planes de Capacitación.

Figura 3. Herramientas utilizadas en la metodología Seis Sigma operacional.

2. Planteamiento y Desarrollo-Implementación del proyecto Seis Sigma

2.1 Etapa "Definir" de la metodología Seis Sigma operacional

Descripción del proceso: Se pintan partes plásticas con robot en Body Color 1, se prepara la pintura, se miden: Flujo, viscosidad y patrón, la pieza es pintada en la cabina de pintura, por último entra a un horno de pre-curado y curado para su inspección final.

2.1.1 Descripción del problema

En el área de Body Color 1:

Mensualmente se pintan en promedio 53,287 partes plásticas,

Julio 15-Enero 16 Se tuvo un 26% de defectivo (basuras, grumos, falta de pintura, etc.), esté defectivo es retrabajable.

Se re-trabajan 13,855 partes mensuales

Un 80% es pulido, 12% lijado y repintado y 8% scrap.

Costo por unidad re-trabajada $1.26 usd. (Pulido).

Costo unidad re-trabajada $2.50 dls. (Lijado y repintado).

Costo unidad por scrap $3.70 dls.

Afecta principalmente al paso directo de la línea, genera costos por re-trabajo y disminuye la capacidad del proceso.

Los principales problemas encontrados en el proceso de pintura son: Basura y grumos, los cuales representan un 82% de defectivo en el proceso de pintura, en el diagrama de Pareto. (Figura 4), se muestra el comportamiento.

Figura 4. Diagrama de Pareto sobre defectos en pintura.

2.2 Etapa "Medir" de la metodología Seis Sigma operacional

Para el desarrollo de la etapa "Medición", se realizó un mapa de pensamiento, donde se lograron identificar algunas áreas de oportunidad dentro del proceso. La generación de esta lluvia de ideas ayudó a identificar algunas características que no se consideraban en el proceso y que posiblemente pudieran ser fuente de generación del defectivo. Para ello, con el mapeo del proceso se identificaron los potenciales factores "X" que contribuyen al incremento en Re-trabajos "Y", estos factores se clasificaron por variables de ruido, estándar y controlables con la idea de estudiarlas en la etapa "Analizar". También se realizó un Mapeo de Proceso y SIPOC (Supplier – Inputs – Process – Outputs – Customers) o Proveedor – Entradas – Procesos – Salidas – Clientes para identificar las variables que afectan al proceso. (Ver figura 5).

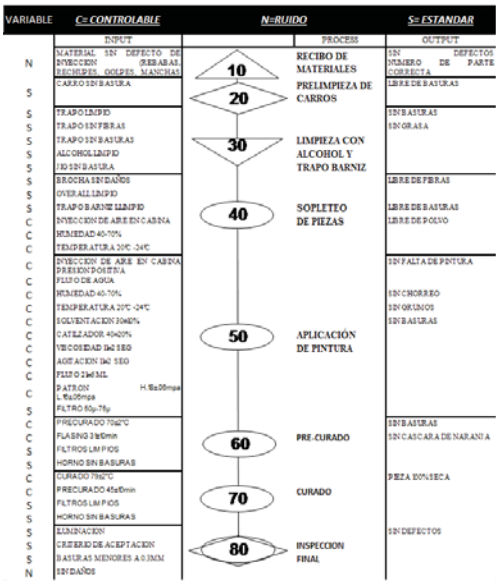


Figura 5. Mapeo del Proceso y SIPOC

Al realizar un estudio de medición MSA (Measurement System Analysis) o Análisis del Sistema de Medición por atributos, se observó que existe un porcentaje de aceptación entre operadores mayor al 85%, lo que significa que existe un criterio de aceptación favorable, (ver figura 6), así mismo se realizó un estudio de CPK (Process Capability) o Capaacidad de Proceso por atributos considerando la regla de decisión "pasa-no pasa" el cual arroja una eficiencia del 72% y Z=0.57 (Montgomery 2013). Ver figura 7.

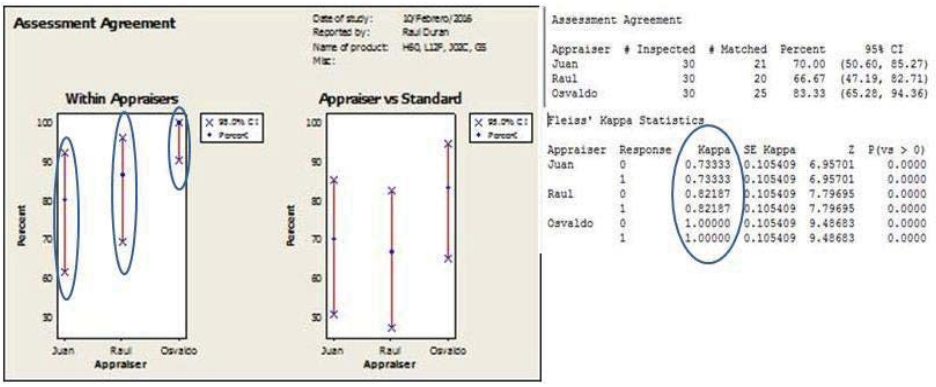


Figura 6. MSA

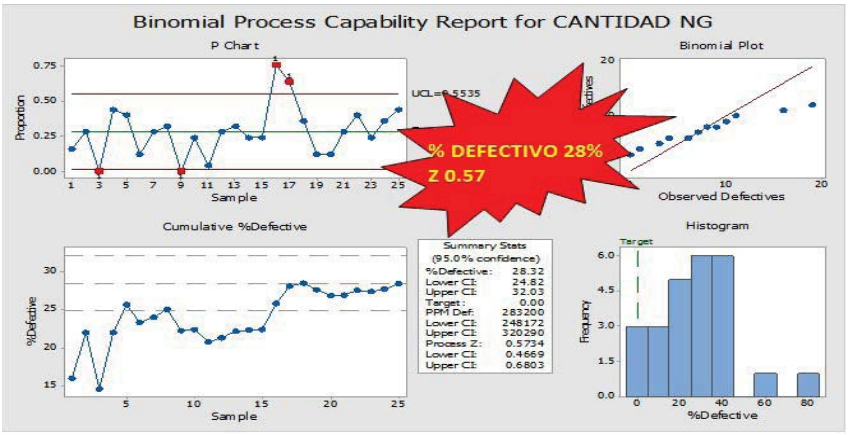


Figura 7. CPK

Los DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades), actualmente son de 259,348, ya que en la compañía se pintan 319,721 partes de 5 diferentes modelos, de las cuales 82,219 se rechazaron por defectivo. Nivel sigma equivalente a 2.1. (Ver figura 8).

Sigma	DPMO	YIELD	Sigma	DPMO	YIELD
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%

Figura 8. DPMO

Al realizar el análisis dentro del Mapa de Proceso se identificaron las variables "X" que potencialmente están relacionadas o que pueden llegar a afectar a la salida "Y" del proceso de aplicación de pintura, en la figura 9, se muestra una tabla de las variables "X's" y "Y" que se consideraron para realizar el DOE.

DEFECTIVO POR BASURAS Y GRUMOS

No. de Variable	Variable	Norma
X1	Trapo 3M para limpieza de partes	Limpio/Sucio
X2	Jig	Limpio/Sucio
X3	Base de Jig	Limpio/Sucio
X4	Velocidad de aire en cabina	presión positiva
X5	Humedad en la cabina	50-70 %
X6	Temperatura en la cabina	20-24 °C
X7	Viscosidad de pintura	9-13 ml/15seg
X8	Flujo de pintura	18-25 ml
X9	Patron	L .10-.22 mpa
X10	Patron	H .12-.24 mpa
X11	Precurado	68-72 °C
X12	Curado	77-81 °C
X13	Tiempo de precurado	21-41 min
X14	Tiempo de curado	35-55 min
X15	Filtro de pintura	50-75 µ
X16	Horno	Limpio/Sucio

Figura 9. Potenciales "X" que incrementan el defectivo en el proceso de pintura.

2.3 Etapa "Analizar" de la metodología Seis Sigma operacional

En esta etapa se realizó un análisis de regresión lineal, donde se tomaron datos históricos del defectivo (Y) y parámetros de aplicación (X), de los meses de Septiembre a Diciembre del 2015 y en total se analizaron 16 variables identificadas como potenciales en la etapa de "Medir". (Ver figura 10).

		ok/ng (1/0)	ok/ng (1/0)	ok/ng (1/0)	ok/ng (1/0)	40-70%	20-24 °C	9-13 ml/15seg	18-25 ml	L .10-.22 mpa
Transforma da Johnson	defectivo	trapo nuevo/desg astado	jig limpio/suci o	Base de jig limpio/sucio	velocidad de aire en cabina	humedad cabina	temperatur a cabina	viscosidad de pintura	flujo de pintura	patron
Y	Y	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9
0.5244844	151	1	0	0	0	46	23	9.35	23	0.18
1.00363989	190	1	0	0	0	40	25	9.35	23	0.18
0.15584248	121	1	0	0	0	48	24	9.36	23	0.18
-0.11404194	102	0	0	0	0	53	23	9.6	24	0.19
0.33261644	135	0	0	0	0	46	24	9.5	22	0.19
0.06168203	114	1	0	0	0	54	24	9.68	24	0.19
0.787318	173	1	0	0	0	43	24	9.5	24	0.18
0.28330684	131	1	0	0	0	44	23	10.45	24	0.18
0.28330684	131	0	0	0	0	44	24	10.5	22	0.18
-0.09851673	103	0	0	0	0	64	24	9.5	22	0.18
-0.9762113	65	0	0	1	1	68	26	9.48	22	0.18

Figura 10. Datos de variables categóricas y continuas tomados del mes de Septiembre a Diciembre 2015 en el proceso de pintura de Body Color 1

Debido a que los datos no se ajustaban a una distribución normal, se utilizó la transformada de Johnson sobre "Y". El modelo se observa ahora en la figura 11 con un buen ajuste y con un porcentaje de predicción del 81%, los residuales también presentan una varianza constante. Por lo tanto, es considerado un buen modelo.

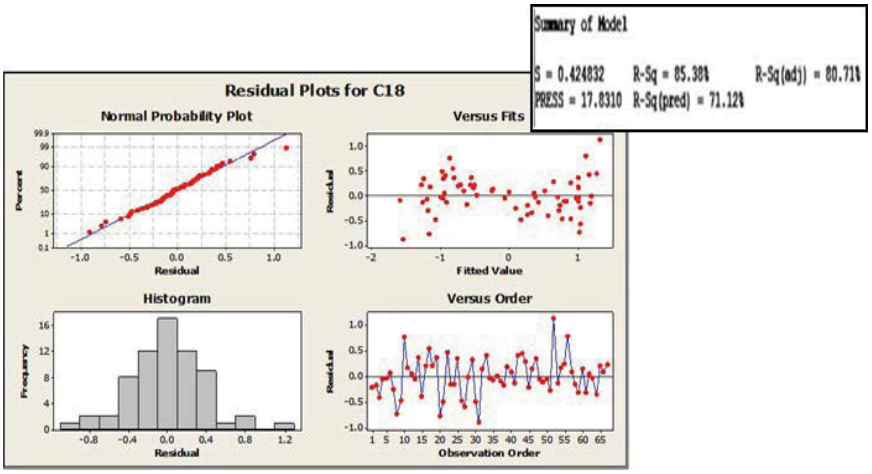


Figura 11. Distribución de los datos con transformada de Johnson

Una vez realizados los análisis anteriores, se determinó la causa raíz del problema. Las variables estudiadas y las que resultaron más significativas por su valor P < 0.05, es decir las que están afectando al incremento del Re-trabajo por defectivo son X3 (Base de Jig limpio/Jig sucio) y X5 (humedad en cabina 40-70%). De acuerdo al valor VIF menor a 10. Con esto concluimos que no existe multicolinealidad entre variables. (Ver tabla 12).

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Constant	3.5312	10.9388	0.32282	0.748	
x1	0.1378	0.1302	1.05878	0.295	1.44606
x2	0.1184	0.1262	0.93805	0.353	1.27232
x3	-0.4455	0.2168	-2.05510	0.045	4.08123
x4	0.5000	0.2766	1.80798	0.077	7.02089
x5	-0.0790	0.0124	-6.35251	0.000	7.58156
x6	-0.0122	0.0635	-0.19196	0.849	1.31020
x7	0.0532	0.1008	0.52716	0.600	1.09835
x8	0.0682	0.0509	1.33923	0.187	1.60836
x9	-15.2498	12.0385	-1.26675	0.211	1.34471
x10	-6.4980	12.4355	-0.52254	0.604	1.36324
x11	0.0046	0.1137	0.04036	0.968	1.15475
x12	0.0312	0.0441	0.70752	0.483	1.14927
x13	-0.0179	0.1333	-0.13447	0.894	1.51736
x14	0.0104	0.1170	0.08923	0.929	1.24624
x15	-0.0006	0.0053	-0.11012	0.913	1.50027
x16	-0.0359	0.0463	-0.77596	0.441	1.26811

Figura 12. Tabla de variables significativas (Causa raíz del problema)

2.4 Etapa "Implementar" de la metodología Seis Sigma operacional

Para la etapa de Implementar, se identificaron y seleccionaron las soluciones de mejora, así como el desarrollo de las acciones necesarias para el logro de la disminución del Re-trabajo por defectivo.

A través del DOE se establecieron valores óptimos con los que debe trabajar el proceso. Se establecieron planes de acción para llevar a cabo la implementación al proceso y maquinaria. También se evaluó como estos cambios influyen de manera positiva a los métricos que se plantearon en el Project Charter (Carta o Definición del Proyecto) y finalmente medimos el DPMO para conocer el nivel sigma en el cuál se encuentra el proceso una vez realizadas las mejoras.

Relación de variables y=f(x), las variables X3 y X5 son significativas, es por ello que se validó la correlación que tienen con la variable de respuesta. La correlación que existe entre la variable de respuesta Y=Re-trabajo por defectivo y las variables de predicción X3=Base de Jig Limpio/sucio y X5=humedad en la cabina 40-70%; es alta, ya que P-Value<0.05. (Ver figura 13).

Correlations: C18, x3

Pearson correlation of C18 and x3 = -0.759
P-Value = 0.000

Correlations: C18, x5

Pearson correlation of C18 and x5 = -0.898
P-Value = 0.000

Figura 13. Relación de variables y=f(x)

Así mismo se realizó en el software Minitab un diseño de experimentos 2^2 (ver figura 14), para determinar el valor óptimo (parámetro) del nivel máximo de humedad más estable para la disminución del Re-trabajo en el pulido por basuras dentro del proceso de pintura y se definió que la humedad de la cabina debe ser del 70%, ya que el modelo sigue una buena distribución normal, un buen ajuste en los residuales y un buen porcentaje de predicción cercano al 70%. (Ver figura 15).

X3	X5	Defectivo	Bloque
-1	-1	23	1
1	-1	21	1
-1	1	24	1
1	1	15	1
-1	-1	26	2
1	-1	20	2
-1	1	20	2
1	1	13	2
-1	-1	28	3
1	-1	24	3
-1	1	23	3
	1	14	3

Figura 14. DOE con replicas

```
S = 1.79505        PRESS = 77.3333
R-Sq = 92.29%      R-Sq(pred) = 69.18%    R-Sq(adj) = 85.87%

Analysis of Variance for Defectivo (coded units)

Source              DF  Seq SS  Adj SS   Adj MS      F      P
Blocks               2   12.67   12.67     6.333   1.97  0.221
Main Effects         2  204.83  204.83   102.417  31.78  0.001
  X3                 1  114.08  114.08   114.083  35.41  0.001
  X5                 1   90.75   90.75    90.750  28.16  0.002
2-Way Interactions   1   14.08   14.08    14.083   4.37  0.082
  X3*X5              1   14.08   14.08    14.083   4.37  0.082
Residual Error       6   19.33   19.33     3.222
Total               11  250.92
```

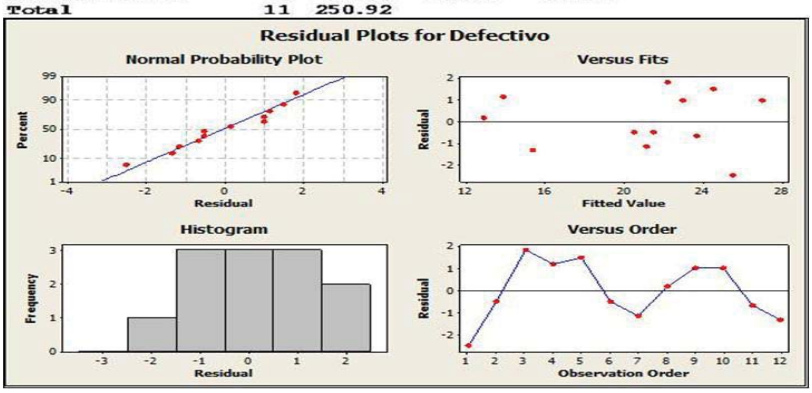


Figura 15. Variables significativas

En la figura 16, se puede apreciar de manera gráfica la validación de las variables significativas.

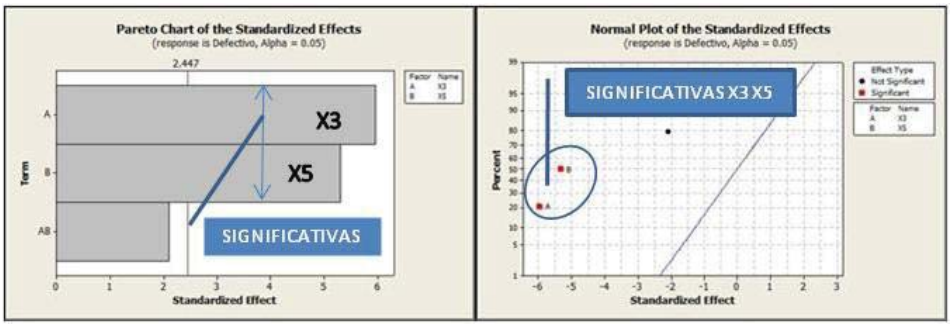


Figura 16. Validación de variables significativas

De acuerdo a la gráfica de cubo, (ver figura 17), se recomienda trabajar el proceso con los siguientes valores: X3= Base de jig limpio (nivel alto 1) y X5= Humedad de cabina 70% (nivel alto 1).

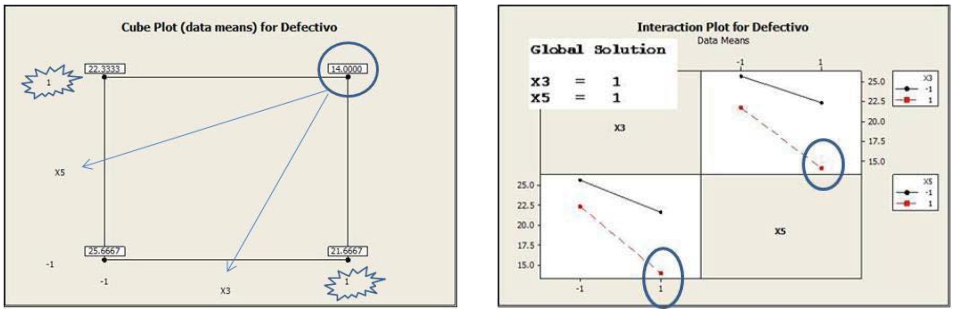


Figura 17. Grafica de cubo con valores de operación

En la figura 18 se muestran los beneficios obtenidos una vez implementadas las acciones:

MÉTRICOS			
ANTES		DESPUÉS	
MÉTRICO	NIVEL ANTERIOR	NIVEL ACTUAL	BENEFICIO
Costo por Re-trabajo de Pulido	167,586 USD/Año	102,306 USD/Año	65,280 USD/Año
Piezas Re-trabajo Pulido /mes	13,855 Piezas.	8,528 Piezas.	39% Mejora
% Paso Directo Pintura/Mes	74%	84%	10% Mejora
Nivel Sigma	2.1	2.5	0.4 de Mejora
DPMO	259,349	156,890	102,458 Mejora

Figura 18. Comparativo de métricos antes y después de la mejora

2.5 Etapa "Controlar" de la metodología Seis Sigma operacional

En esta etapa se describen los planes, acciones y mecanismos para comunicar, implementar y asegurar la permanencia de la mejora. Por medio de gráficos de control, se pretende monitorear el paso directo, la medición de partículas, y el DPMO´s, de manera que se logre analizar el comportamiento del proceso productivo y poder tomar acciones de contención necesarias al momento en que se presenten desviaciones dentro del mismo. Con ello, se busca que estas acciones estabilicen el proceso productivo antes de que se presente defectivo que en un momento llegue a perjudicar, aumentando los costos por re-trabajo en el pulido de partes pintadas.

Las acciones a tomar para estabilizar el proceso productivo son: La modificación a los procedimientos de trabajo y de mantenimiento preventivo a los equipos. para ello, se tomaran en cuenta los parámetros de operación que se definieron en la etapa de mejora. Al mismo tiempo se implementaron planes de entrena-

miento y planes de implementación de cambio en el proceso.

3. Conclusiones

Este proyecto está relacionado con la metodología Seis Sigma y presenta los resultados de la investigación de "Reducción de Re-trabajo en el Pulido de Body Color 1" por basuras y grumos en las partes pintadas, mediante la metodología DMAIC.

En este proyecto se analizó la correlación entre el Re-trabajo por basuras y grumos y la base de jig y humedad de cabina, siendo ésta la hipótesis planteada.

En la etapa o fase Definir se lograron identificar las variables que afectan a la contribución del defectivo y de esta manera disminuir la variabilidad del proceso, identificando los principales problemas que se presentan en la aplicación de pintura.

Mediante el mapa de proceso se identificaron todas las variables potenciales que afectaban a la variable de salida, que para este caso es el Re-trabajo por defectivo. Por lo tanto, controlando estas variables, el defectivo en el proceso disminuirá, lo cual genera ahorros económicos en la compañía.

Se analizaron 3 modelos de regresión uno por turno de producción, resultando que el 3er turno presenta una mejor distribución en los datos y el cual se utilizó para el análisis, sobre este modelo se realizó un ajuste a través de la transformada de Johnson a la variable de respuesta para obtener la normalidad de este modelo, en el análisis de regresión se identificaron 2 variables como significativas, pero al aplicar Stepwise y BestSubsets regresión (Análisis de Regresión y Correlación como método de comprobación para determinar que las variables seleccionadas son las correctas) en Minitab, también se presenta como significativa la variable X4 (velocidad de aire en cabina), por lo que, se decide realizar un análisis de correlación entre variables resultando la variable X4 y X5 con alta correlación, por lo que se decidió tomar únicamente las variables X3 y X5 que resultaron significativas para este modelo de regresión y sobre las cuales se revisó el AMEF (Análisis de Modo y Efectos de Falla), de manera que se incluyeron como modo de falla en el proceso, ya que no estaban consideradas dentro del mismo, posteriormente se realizaron algunas tareas, donde se identificó que la mayoría de las bases de Jig´s se encuentran con saturación de pintura y la humedad de la cabina no es constante.

Una vez aplicado el diseño de experimento a las variables que se identificaron como causa raíz del Re-trabajo por pulido, se definieron los parámetros de operación para las variables, siendo, X3=Base de jig, éste es necesario mantenerlo limpio al aplicar la pintura, lo que respecta a la variable X5=humedad en cabina, se recomienda trabajar a un nivel de humedad del 70%.

Logrando controlar estos parámetros, el proceso se hará más estable, lo que implica que el Re-trabajo por pulido disminuya y se produzcan menores cantidades de piezas con defectivo por basuras y grumos.

El beneficio económico obtenido en este proyecto fue de 65,280 USD anuales, gracias a las acciones ejecutadas para estabilizar el proceso productivo, como por ejemplo: La definición de parámetros de operación, modificación de procedimientos de trabajo y de mantenimiento preventivo a los equipos, planes de entrenamiento y planes de cambios en el proceso.

Bibliografía

1. Brassard Michael, Finn Lynda, Ginn Dana, y Ritter Diane (2002). Six Sigma, Editorial GOAL/QPC, First Edition, USA.
2. Chysler Group, Ford Motor Company and General Motor Corporation LLC (2010). Measurement Systems Analysis, Editorial AIAG, Fourth Edition.
3. Chysler Group LLC, Ford Motor Company and General Motor Corporation (2008). Potential Failure Mode and Efectts Analysis, Editorial AIAG, Fourth Edition.
4. Chrysler Group LLC, Ford Motor Company and General Motor Corporation (2005). Statistical Process Control, Editorial AIAG, Second Edition.
5. Ginn Dana, Varner Evelyn, Barbará y Streibel Jersildsé Chistine (2002). The design for six sigma, Editorial GOAL/QPC, First Edition, USA.
6. Henderson G. Robin (2006). Six Sigma Quality Improvement with Minitab, Editorial John Wiley & Sons, 1ª Edición.
7. JURAN, J.M. Y GRYNA F.M. (1994), Análisis y planeación de la calidad. Tercera edición. Mac Graw Hill. México.
8. Jay L. Devore (2012). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias, Editorial CENGAGE Learning, Octava Edición.
9. Liker Jeffrey K. y Meier David (2006). The Toyota Way Fieldbook, A practical Guide for Implementing Toyota's 4Ps, Editorial McGraw Hill, 1ª Edición.
10. L Michael. George (2012). Lean Six Sigma, Combining Six Sigma Quality with Lean Speed, Editorial McGraw Hill,
11. Minitab (2010). Manual Minitab, Editorial Versión 16.1.0. Ayuda a realizar de una manera más óptima las técnicas estadísticas.
12. Montgomery Douglas C., Peck Elizabeth A., Vining G. Geoffrey (2006). Introduction to Linear Regression Analysis, Editorial Wiley, Cuarta Edición.
13. Montgomery Douglas C. (2013). DESING AND ANALYSIS OF EXPERIMENTS, Editorial John Wiley & Sons, Eight Edition.
14. Seehy Paul, Navarro Daniel, Silver Robert, Keyes Victoria, y Dixon Deb (2002). The Black Belt, editorial GOAL/QPC, Firts Edition, USA.
15. "Plan de Acción 5w +1h" recuperado de la liga de internet: http://grupodecumbuca.blogspot.mx/2010/10/plano%EdeEacao%E5wE1hEanexo%EcapE4.htm.
16. Srinivason Ku (2015). Técnicas 5W & 1H Framework - Tool for Organizational Productivity: Management Framework, Editorial Hegoa, 601 Edición.
17. "Diseño de Experimentos (DOE): Para qué sirve y cómo realizarlo" recuperado de la liga http://www.pdcahome.com/2117/diseno-de-experimentos-para-que-sirve-y-como-realizarlo/
18. "Using the Five W's and One H Approach to Six Sigma" del Autor Pradeep Mahalik recuperado de la liga http://www.isixsigma.com/implementation/basics/using-five-ws-and-one-h-approach-six-sigma/