

## MEJORA DE LA CALIDAD DE LOS PROCESOS EN LA SECCIÓN DE ESTRUCTURAS CON METODOLOGÍA SEIS SIGMA. CASO APLICADO INDUSTRIA CARROCERA DE BUSES

Autores: Ing. Luis Patricio Tierra Pérez Mg.; Ing. Geovanny Guillermo Novillo Andrade Mg.;  
Ing. Sócrates Miguel Aquino Arroba Mg.

Institución: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

E mail: patricio.tierra@epoch.edu.ec, ggnovillo@epoch.edu.ec , saquino@epoch.edu.ec,

37

### RESUMEN:

La metodología Seis Sigma, se basa en cinco etapas; Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, denominada ciclo (DMAIC), la misma que se aplica con el objetivo de identificar los sub procesos críticos en la línea de producción de manufactura de estructura para carrocerías, durante la etapa de definición del problema se determina que Corte y Soldadura son los sub procesos críticos, por presentar un alto porcentaje de defectos, los mismos que generan pérdida de tiempos por reprocesos; desgaste del personal, paros en toda la línea etc. Para solucionar estos inconvenientes se determinó el nivel de Sigma inicial mediante la fórmula de defectos por millón de oportunidades (DPMO). Luego con la ayuda de la matriz Análisis, Modo Efecto Falla (AMEF) se miden cuantitativamente los defectos, se procede analizar para las soluciones más viables. Una vez realizada la implementación de las mejoras a los procesos se pudo evidenciar que el nivel de calidad global se incrementó de un nivel de Sigma de  $1,47\sigma$  inicial a  $1,68\sigma$  mejorado, de esta manera confirmando que las mejoras adoptadas, ofrecen una solución integral al problema presentado, se recomienda ampliar la metodología a todas las áreas de la empresa para mantener una mejora continua en sus procesos.

**Palabras Clave:** Mejoramiento continuo, Sigma, Procesos críticos, Calidad, Oportunidades de mejora

### ABSTRACT:

The Six Sigma methodology is based on the cycle (DMAIC) which consists of 5 stages: define, measure, analyze, improve and control; The same one that was applied with the objective of identifying the critical processes, which in turn become opportunities for improvement for the manufacture of structures for bodies, during the stage of definition of the problem could be determined that the critical processes are cut and Welding, which presents a high percentage of defects, causing loss of time due to reprocessing, wear and tear of personnel, stoppage of the entire line, etc. In order to solve these problems, the initial Sigma level was determined by the DPMO calculation, Defects per Million Opportunities (DPMO), using the fish diagram the root causes of these problems were determined. Then, with the help of the AMEF matrix, the defects are quantitatively measured, and the viable solutions are analyzed. Once the implementation of the improvements to the processes, it was

possible to show that the quality level of the global was increased from a Sigma level of  $1.47\sigma$  initial to  $1.68\sigma$  improved, thus confirming that the improvements adopted offer a comprehensive solution to the problem presented, it is recommended to extend the methodology to all areas of the company to maintain a continuous improvement in their processes.

Keywords: Continuous improvement, sigma, critical processes, quality, improvement units

## 1.- INTRODUCCIÓN.

38

La metodología SEIS SIGMA, se basa en cinco etapas; definir, medir, analizar, mejorar y controlar, denominada ciclo (DMAIC), la misma que fue aplicada con el objetivo de identificar los sub procesos críticos en la línea de producción de estructuras para carrocerías. Al implementar la metodología SEIS SIGMA a los procesos para la fabricación de estructuras se puede identificar posibles defectos antes de que ocurran, de esta manera controlar cada proceso para realizar mejoras y así contribuir al fortalecimiento de objetivos, políticas y estrategias establecidas por la empresa.

## 2.- METODOLOGÍA

La siguiente investigación es de tipo aplicada, los datos obtenidos son tomados en campo, con el levantamiento de esta información podemos realizar el análisis de cada uno de los procesos en la sesión de estructuración de buses, la cual servirá como base para el desarrollo de las mejoras y cambios que debemos realizar para llegar a cumplir con las metas objetivos planteados dentro del proyecto.

También se aplicará la investigación de tipo Bibliográfica–Documental, para realizar una correcta aplicación de las herramientas de metodología SEIS SIGMA ciclo (DMAIC) y obtener variables que nos permitan el control de la calidad en los procesos de estructuración

Para obtener un criterio claro de las dificultades y problemas que atraviesa el proceso constructivo de estructuras se ha realizado una encuesta a los trabajadores, como también una entrevista al Gerente de la empresa

### 2.1.- Encuesta.

La información obtenida nos ayudará a entender las posibles oportunidades de mejora según el criterio del personal involucrado en cada actividad, estos resultados nos ayudan a interpretar que variables, parámetros deben ser medidos para encontrar nuestro nivel de calidad actual de la sesión de estructuras de la planta de producción.

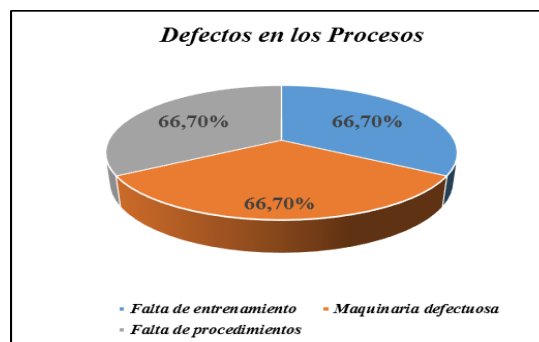


Figura 1. Defectos en proceso de fabricación de carrocerías

### Interpretación

La empresa no cuenta con herramientas para el control de la calidad, mucho menos con un modelo de sistema de gestión, por tal motivo los controles de calidad que se realizan son empíricos, no cuentan con registros, histogramas y muchos de ellos son realizados por los mismos operarios, por otro lado no se cuenta con un programa de capacitación continuo para la ejecución de las labores. Todo esto está repercutiendo en la calidad del producto, encontrando con ello insatisfacción en el cliente interno como externo, traduciéndose esto en reclamos.

### 2.2.- Evaluación técnica de la calidad actual en el proceso de estructuras

Para evaluar la calidad del proceso se utilizó la fórmula de los Defectos Por Millón de Oportunidades, que calcula la medida de la eficiencia de un proceso con base en el conteo de defectos de un producto. Este indicador a su vez se compara con la escala valorativa del SEIS SIGMA para establecer el nivel de eficiencia de un proceso.

$$DPMO = \frac{1'000000 \times \text{Número de defectos}}{\text{Número de unidades} \times \text{Número de oportunidades por unidad}} \quad (1)$$

En donde:

**Número de defectos:** Es la cantidad de elementos fuera de especificación (no conformidades) que existen en cierta cantidad de unidades de muestra, pudiendo ser más de una por cada unidad.

**Número de unidades procesadas:** es la cantidad de productos o el número de elementos totales de la muestra considerada.

**Número de oportunidades por unidad:** es la cantidad de defectos posibles dentro de una misma unidad o producto.

Para la evaluación de defectos por millón de oportunidades, los niveles sigma y la eficiencia de la producción en la sección de armado de estructuras en la empresa carrocera se desarrolló un estudio estadístico, el cual consiste en contabilizar el número de unidades producidas por procesos. Para los procesos de medición y corte se realizó el conteo de cada uno de los elementos que intervienen en la estructura y para el proceso de soldadura se realizó la toma de datos en campo del número de unidades que se realizan, obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 1:** Procesos en la fabricación de carrocerías

MUESTREO REALIZADO PARA EL ESTUDIO DE LA CALIDAD			
	OPERACIÓN	UNIDADES PRODUCIDAS	OBSERVACIONES
ESTRUCTURA BUS INTERPROVINCIAL	INSPECCIÓN DEL MATERIAL	50	Golpes por manipulación Espesores no especificados
	MEDIDAS DE ELEMENTOS	518	Piezas más grandes Piezas más pequeñas
	CORTE ELEMENTOS	518	Piezas más grandes Piezas más pequeñas, Piezas descuadradas Cortes mal realizados Exceso de viruta
	DOBLADO DE ELEMENTOS	58	Matriz defectuosa Elementos no homogéneos
	ESMERILADO DE CORTE	762	Superficies irregulares
	PUNTEADO PARA SOLDADURA	718	Poros, agujeros
	SOLDADURA DE ELEMENTOS	718	Discontinuidad en los cordones Poca penetración Concavidad externa o falta de relleno Socavaduras o mordeduras Salpicaduras Monta en la soldadura Exceso de rebajado Chispazos Agrietamientos

En la tabla anterior se presenta el consolidado de las unidades producidas, como también los defectos encontrados en cada una de ellas.

**Tabla 2:** Nivel de sigma situación actual

PROCESO	NÚMERO DE UNIDADES	NÚMERO DE DEFECTOS	NÚMERO DE OPORTUNIDADES	TOTAL DE OPORTUNIDADES	DPMO	NIVEL SIGMA
Inspección de materia prima	50	26	1	50	520000	1,45
Mediciones	518	441	2	1036	425675,68	1,69
Corte	518	518	2	1554	407335,907	1,3
Esmerilado	762	396	1	450	440000,00	1,65
Doblado	58	32	1	58	551724,14	1,37
Punteado de elementos	718	345	1	718	480501,39	1,55
Soldadura	718	718	5	3590	600000,00	1,25

Acabado superficial	312	278	2	624	445512,82	1,66
<b>TOTAL PROMEDIO</b>	<b>3342</b>	<b>2754</b>	<b>2,0</b>	<b>8180</b>	<b>483843,74</b>	<b>1,47<math>\sigma</math></b>

Como se puede observar los niveles de sigma fluctúan entre 1,25 $\sigma$  y 1,69 $\sigma$ , mientras que para todo el proceso se alcanza un nivel sigma de 1,47 $\sigma$ , la misma que equivale a una eficiencia global de 45%. Estos resultados reflejan que no todos los procesos tienen la misma eficiencia, por tal razón el nivel de SIGMA varía, afectando de manera directa al nivel de calidad de los procesos. Por tal motivo se presenta la necesidad de aplicar una metodología para controlar y mejorar los procesos del área de fabricación de estructuras para buses interprovinciales.

41

### 2.3.- Cálculo del rendimiento del proceso

Una vez determinado el nivel de sigma del proceso de fabricación de estructuras procedemos a determinar el rendimiento del proceso.

**Tabla 3:** Rendimiento del proceso

1. Número de unidades procesadas	N=	3342
2. Porcentaje de posibilidades de encontrar el defecto	O=	100%
3. Número de defectos detectados	D=	2754
4. Porcentaje de Defectos	DPU=D/(N×O)	52,5%
5. Productividad (Rto. del proceso)	=(1-DPU)×100	47,5%
6.	Nivel sigma del proceso =	1,44

Como se observa en la tabla para un nivel de sigma de  $\sigma = 1,44$  se tiene una productividad o rendimiento de 47,5% en todo el proceso de fabricación de estructuras.

### 2.4.- Interpretación del nivel de sigma del proceso.

A continuación se representa la curva de la distribución normal del proceso para la fabricación de estructura para buses interprovinciales con un rendimiento actual de 47,5%, esto nos permite concluir que existe un 52,5 % de oportunidades de mejora para nuestro estudio.

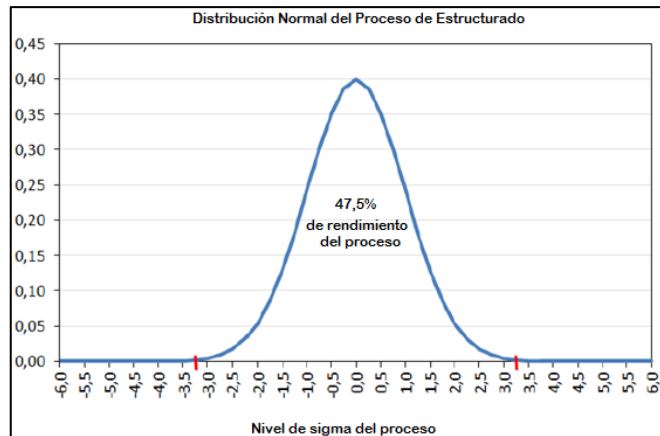


Figura 2. Rendimiento del proceso de fabricación de carrocerías

### 3.- PROPUESTA DE MEJORA.

En la siguiente tabla se detalla cada una de las etapas que constituyen la metodología SEIS SIGMA y el ciclo DMAIC aplicadas para este caso.

Tabla 4: Rendimiento del proceso

<div style="display: flex; justify-content: space-around; text-align: center;"> <span><i>D</i> Definir</span> <span><i>M</i> Medir</span> <span><i>A</i> Analizar</span> <span><i>I</i> Mejorar</span> <span><i>C</i> Controlar</span> </div>		
ETAPA	PASOS	HERRAMIENTAS UTILIZADAS (MODO RECOLECCIÓN DE DATOS)
Definir	Definir las oportunidades de mejora, identificar las necesidades de los clientes, los procesos asociados y el equipo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Mapeo de proceso (Técnica Lean Manufacturing)</li> <li>➢ Diagrama de procesos</li> </ul>
	Definir el alcance del proyecto e identificación de las variables críticas de entrada y de salida del proceso de soldadura en el área de estructuras.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Diagrama de Ishikawa</li> <li>➢ Diagrama de Pareto</li> <li>➢ CTPs Tree (Árbol de variable crítica de proceso)</li> </ul>
Medir	Conformación de las variables críticas de entrada y de salida del proceso.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Diagrama de flujo del Proceso</li> <li>➢ Diagrama de Causa Efecto</li> </ul>
	Validación de los métodos de medición	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Pareto Efectos</li> <li>➢ Análisis de Riesgos (FMEA)</li> </ul>
	Recolección de datos( desempeño inicial del proceso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ MSA (Gage R&amp;R)</li> <li>➢ Gráfica de Barras</li> <li>➢ Pareto de Defectos</li> </ul>
Analizar	Identificación de las variables críticas	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Programa Estadístico Minitab</li> </ul>
	Desarrollo estadístico	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Diagrama de Pareto</li> <li>➢ Gráfico de efectos principales</li> </ul>
Mejorar	Mejoramiento del equipo	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Campaña de mejora, revisión y mantenimiento del sistema.</li> </ul>
Controlar	Diseño de los controles necesarios para mantener el proceso en las condiciones óptimas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Plan de control</li> </ul>

#### 3.1.- Etapa de Definir.

Se realiza el mapa de procesos de la sección de estructuras para buses, esta herramienta nos permite planear e identificar los elementos de entrada y salida para mejorar su diseño y operación de esta forma ver claramente todas aquellas actividades que se desarrollan en la empresa con el fin de mejorarlas, eliminarlas o cambiarlas lo cual se traduce en un beneficio tangible para la empresa

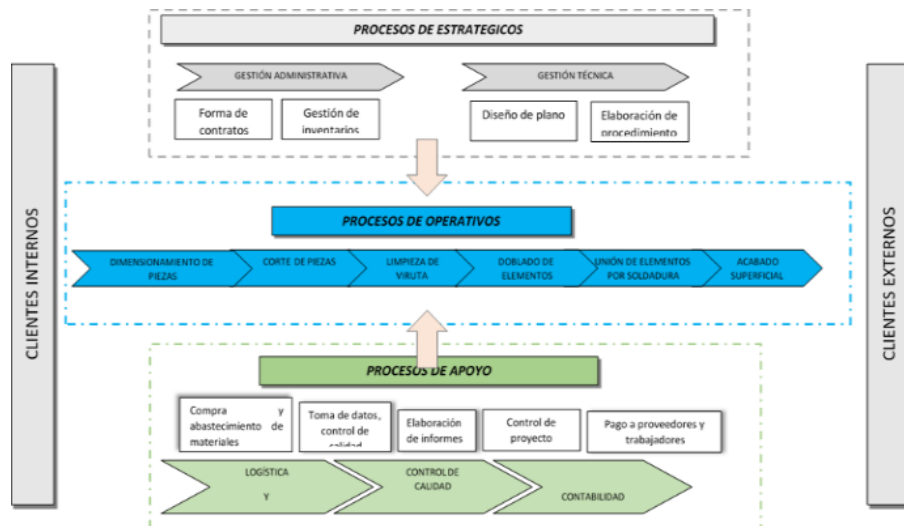


Figura 3. Mapa de procesos

**Identificación de los procesos críticos.-** Se realiza un diagrama de Pareto para identificar de forma gráfica los procesos críticos, los mismo que presentan mayor número de fallas o defectos, mismo que vistos desde una perspectiva Seis Sigma las convierte en oportunidades de mejora.

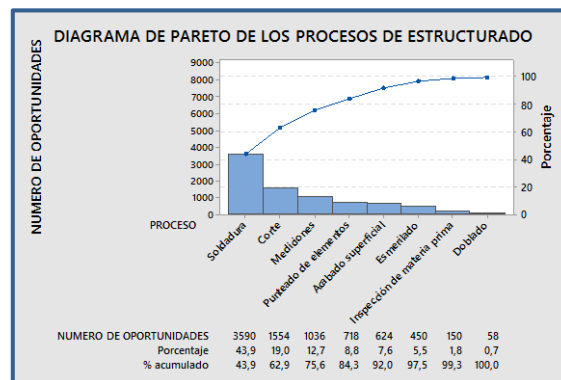


Figura 4. Diagrama de Pareto, proceso de estructurado

Podemos observar los procesos con mayores modos de fallas de sección de estructuras, donde claramente podemos observar que las operaciones de Corte y Soldadura son las actividades que mayores defectos presentan en su ejecución

Con la información obtenida del mapa de procesos se elabora el diagrama causa-efecto para determinar las oportunidades de mejora que se presentan en cada proceso.- A continuación en se procede a realizar el diagrama causa efecto o espina de pescado de los procesos críticos es decir soldadura y corte; en el mismo se describen las causas como los efectos que se generan en las actividades.

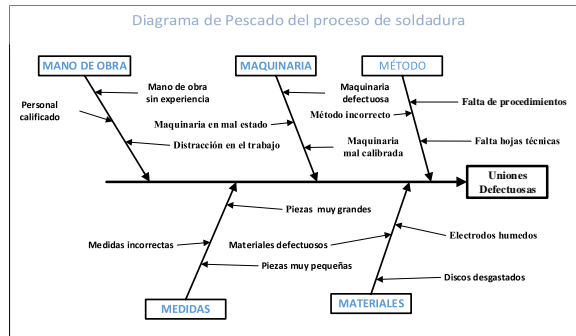


Figura 5. Diagrama de pescado proceso de soldadura

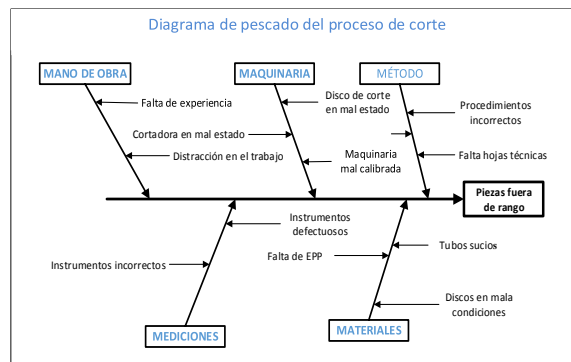


Figura 6. Diagrama de pescado proceso de corte

### 3.2.- Etapa medir

A continuación se presenta la matriz Causa – Efecto desarrollada para medir de manera cuantitativas las causas raíces de los problemas detectados en esta fase.

Tabla 5: matriz causa - efecto



MATRIZ DE CAUSA – EFECTO									
Rango o importancia		1-10						TOTAL	
PROCESOS	SALIDAS O CTQ'S	Medidas incorrectas	Piezas descuadradas	Exceso de viruta	Superficies Irregulares			TOTAL	
Corte	Falta de entrenamiento Instrucción	7	8	6	6				243
	Habilidad para la operación	5	3	5	2				75
	Material irregular	2	3	5	3				74
	Falta de EPP	3	2	3	2				94
	Distracción en el trabajo	4	3	6	2				65
	Unidades sucias	2	3	3	3				70
	Altas Temperaturas	2	3	2	3				65
	Falta de procedimientos	7	7	7	2				70
	Disco de corte en mal estado	5	4	3	4				243
	Equipos en mal estado	7	7	6	5				290
	Falta de orden y limpieza	5	3	3	2				74
Equipos sin guardas	2	4	1	2			60		
Rangos o importancia		1-10						TOTAL	
PROCESOS	SALIDAS O CTQ'S	Sobre monta	Chispazos	Mordeduras	porosidades	Salpicaduras	Pobre material depositado	TOTAL	
Soldadura	Falta de entrenamiento	8	8	9	6	3	4		270
	Habilidad para la operación	5	3	5	4	2	1		75
	Instrumentos inadecuados	5	3	2	3	1	3		70
	Experiencia y capacidad	7	4	3	2	2	1		265
	Falta de EPP	5	4	4	3	5	2		240
	Falta de instrumentos	6	5	5	4	3	1		65
	Falta de procedimientos	4	7	5	3	1	4		250
	Altas Temperaturas	5	7	5	3	2	3		94
	Intensidad de corriente no adecuada	3	2	1	2	3	2		75
	Amperaje mal calibrado	2	4	1	3	4	5		55
	Falta de información en hoja de instrucción	3	3	2	1	3	2		75
	Falta de orden y limpieza	5	7	3	2	3	2		80
Maquinaria en mal estado	7	3	6	4	4	3	290		
Electrodos en malas condiciones	4	5	3	4	5	4	235		

### Interpretación de la matriz

**Proceso de corte:** Como podemos observar en la matriz Causa – Efecto la falta de entrenamiento o capacitación y el equipo en mal estado son las causas principales para obtener elementos defectuosos, siendo estos defectos piezas cortadas muy grandes o piezas

muy pequeñas como también piezas descuadradas estos elementos cuantifican 243 y 290 respectivamente siendo los valores más altos de la tabla.

**Proceso de soldadura:** En la Matriz Causa – Efecto podemos identificar que las causas que influyen en la calidad de la soldadura están directamente relacionados con el personal (falta de entrenamiento, experiencia, altas temperaturas, falta de procedimientos) y el equipo defectuoso (equipo en mal estado, electrodos caducados, cables defectuosos) cuantificando estos los valores de 270, 290 y 235 respectivamente siendo estos valores los más altos de la matriz

46

Para determinar que causas potenciales tiene un mayor impacto en el efecto medido se realizó el diagrama de Pareto, el mismo que nos ayuda a fijar prioridades de lo que se debe comprobar con datos reales establecidos en la matriz causa efecto

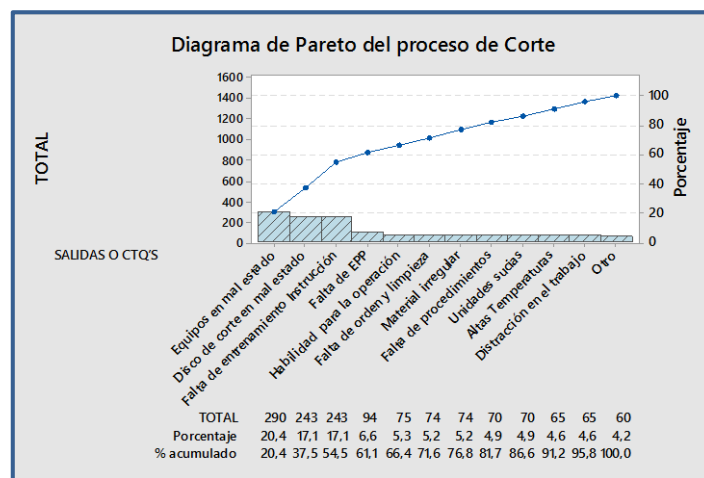


Figura 7. Diagrama de Pareto, proceso de corte

El Pareto fue desarrollado con la información obtenida en la matriz causa-efecto, como podemos observar el equipo en mal estado y el entrenamiento son los defectos con mayor incidencia en la calidad de nuestro proceso y estos serán los atacados para elevar la calidad en el mismo.

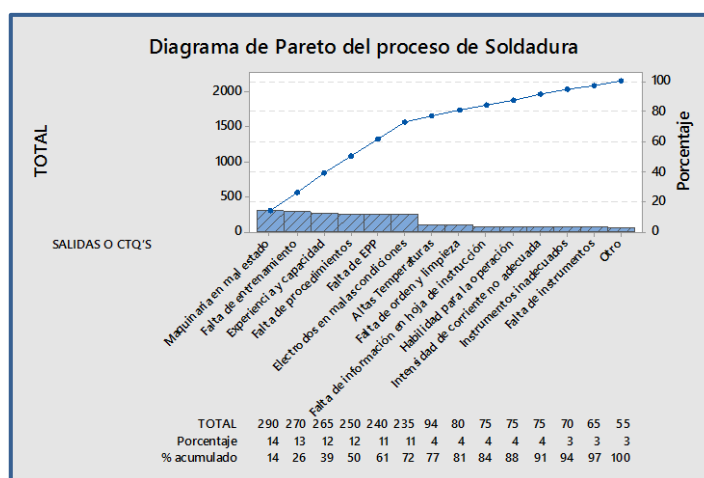


Figura 8. Diagrama de Pareto, proceso de soldadura

El Diagrama de Pareto o de defectos nos muestra la existencia de varias causas que requieren ser atacadas para elevar la calidad de nuestro sub proceso. El diagrama de Pareto también nos ayuda a identificar el 20% de Causas que debemos atacar para resolver el 80% de Oportunidades. Interpretando las gráficas y a la experiencia del personal se decidió iniciar con la maquinaria en mal estado y la falta de entrenamiento o capacitación de los soldadores y para posteriormente se trabajará con la calibración de los equipos y finalmente con los parámetros de los demás parámetros.

### **3.3.- Etapa Análisis.**

En esta fase se efectúa el análisis de los datos obtenidos en la etapa de Medición, con el propósito de conocer las relaciones causales o causas raíz del problema. La información de este análisis nos proporcionará evidencias de las fuentes de variación y desempeño insatisfactorio, el cual es de gran utilidad para la mejora del proceso.

El sistema de medición está orientado a determinar de la variación de los CTQ's: los niveles de calidad, y la satisfacción de los clientes, para nuestro caso particular del nivel de calidad expresando en SEIS SIGMA será el principal parámetro de interés para nuestro estudio de investigación ya que en la situación actual se determinó un nivel de calidad el mismo que se pretende mejorar.

#### **3.3.1.- Determinación de capacidad del sub proceso de corte mediante el nivel de sigma.**

**Tabla 6:** Medias de elementos

<b>Variable Y<sub>1</sub> (dimensionamiento y corte de elementos que conforman la estructura). Todas la medidas serán respetas con una tolerancia de ± 5mm</b>							
<b>Valores tomado en campo luego del plan de mejoras (Ln= 755)</b>							
Número de elementos	Cantidad inspeccionadas	Número de elementos	Cantidad inspeccionadas	Número de elementos	Cantidad inspeccionadas	Número de elementos	Cantidad inspeccionadas
1	755	26	756	51	756	76	756
2	758	27	759	52	760	77	760
3	758	28	761	53	760	78	760
4	760	29	760	54	760	79	760
5	759	30	759	55	762	80	762
6	760	31	759	56	760	81	760
7	759	32	758	57	757	82	757
8	760	33	762	58	760	83	760
9	758	34	761	59	761	84	761
10	760	35	758	60	758	85	758
11	759	36	760	61	763	86	763
12	758	37	759	62	760	87	760
13	755	38	761	63	761	88	760
14	755	39	758	64	758	89	758
15	758	40	755	65	755	90	755
16	758	41	755	66	755	91	755
17	760	42	758	67	758	92	758
18	759	43	758	68	758	93	758
19	760	44	760	69	760	94	760
20	759	45	759	70	759	95	759
21	758	46	758	71	758	96	758
22	760	47	760	72	760	97	760
23	759	48	759	73	759	98	759
24	760	49	760	74	760	99	760
25	759	50	759	75	759	100	759

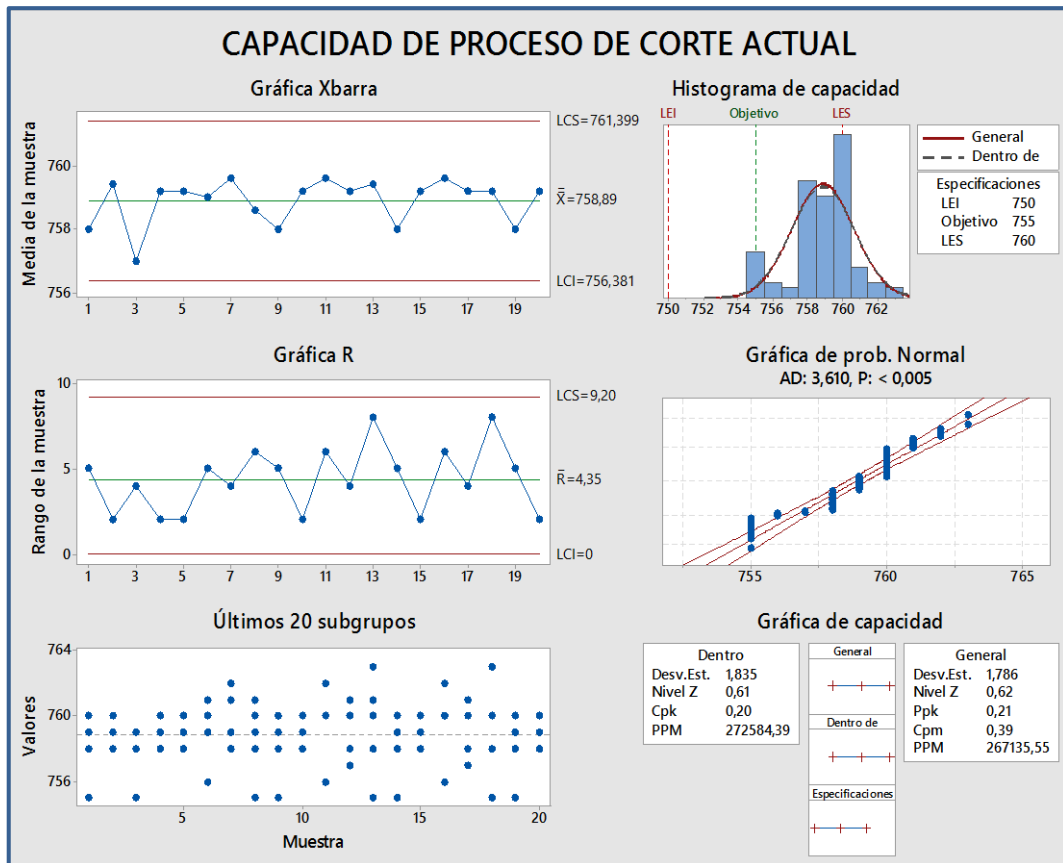


Figura 9. Capacidad del proceso de corte actual

En la gráfica de capacidad del proceso de Corte, encontramos seis gráficos de control los mismo que nos indican si nuestro proceso o sub proceso están dentro del comportamiento normal o si presentan alguna variación extrema, gráfica Xbarra, nos muestra que todos nuestros datos están dentro de los límites establecidos, la gráfica R nos muestra que el rango de la muestra tiene un comportamiento normal como podemos verificar todos los elementos medidos están dentro de los límites permisibles.

### 3.3.2.- Determinación de capacidad del sub proceso de soldadura mediante el nivel de sigma.

Tabla 7: Defectos en el proceso de soldadura

N° de muestra	Cantidad inspeccionadas n	N° disconformidades np	Proporción de no conformidades p	N° de muestra	Cantidad inspeccionadas n	N° disconformidades np	Proporción de no conformidades p
1	50	4	0,08	26	50	3	0,06
2	50	2	0,04	27	50	1	0,02
3	50	2	0,04	28	50	4	0,08
4	50	3	0,06	29	50	1	0,02
5	50	3	0,06	30	50	2	0,04
6	50	3	0,06	31	50	3	0,06
7	50	0	0	32	50	0	0
8	50	4	0,08	33	50	2	0,04
9	50	3	0,06	34	50	4	0,08
10	50	5	0,1	35	50	1	0,02
11	50	3	0,06	36	50	0	0
12	50	4	0,08	37	50	2	0,04
13	50	2	0,04	38	50	3	0,06
14	50	3	0,06	39	50	4	0,08
15	50	4	0,08	40	50	3	0,06
16	50	1	0,02	41	50	2	0,04
17	50	3	0,06	42	50	4	0,08
18	50	2	0,04	43	50	1	0,02
19	50	3	0,06	44	50	2	0,04
20	50	4	0,08	45	50	3	0,06
21	50	1	0,02	46	50	2	0,04
22	50	2	0,04	47	50	0	0
23	50	1	0,02	48	50	2	0,04
24	50	4	0,08	49	50	3	0,06
25	50	0	0	50	50	4	0,08
				total	2500	122	



**Calculo de los límites inferior y superior del proceso de soldadura.**

Cálculos de los limites inferior superior

$$\rho = \frac{\sum np}{\sum n} \qquad \rho = \frac{122}{2500} = 0,0488$$

$$UCL = 0,0488 + 3 \frac{\sqrt{0,0488 * (1 - 0,0488)}}{50} \qquad LCL = 0,0488 - 3 \frac{\sqrt{0,0488 * (1 - 0,0488)}}{50}$$

$$UCL\rho = 0,140208$$

$$LCL\rho = -0,04261$$

$$LCL\rho = 0,00$$

**Análisis de capacidad de Poisson**

El análisis de capacidad Poisson determinar los defectos por unidad (DPU) que satisface los requisitos básicos de calidad, este tipo de análisis se recomienda para evaluar la capacidad de un proceso que produce datos de atributos.

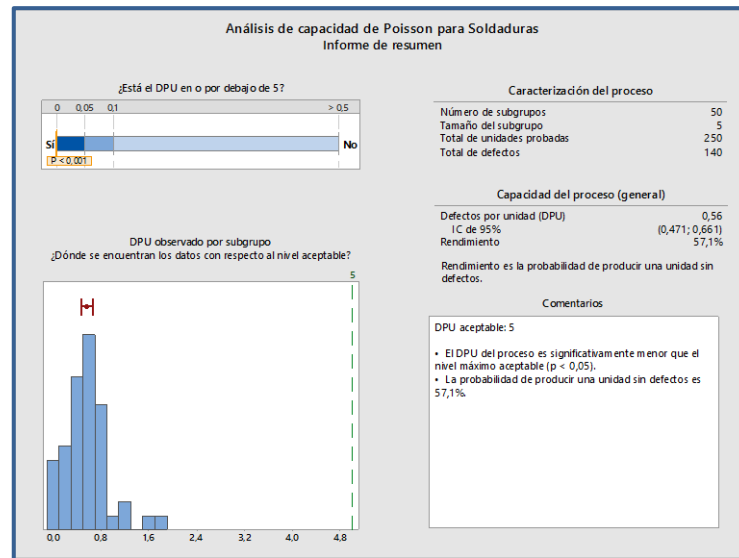


Figura 10. Capacidad del proceso de soldadura actual

En la gráfica de capacidad del proceso de soldadura, encontramos seis gráficos de control los mismo que nos indican si nuestro proceso o sub proceso están dentro de tienen un comportamiento normal o si presentan alguna variación extrema, gráfica Xbarra, nos muestra que todos nuestros datos están dentro de los límites establecidos, la gráfica R nos muestra que el rango de la muestra tiene un comportamiento normal como podemos verificar todos los elementos medidos están dentro de los límites permisibles.

### 3.4.- Etapa de Mejora

En esta etapa se desarrollan, implementan y validan alternativas de mejora para el proceso. Para hacer esto se requiere de una lluvia de ideas que genere propuestas, las cuales deben ser probadas usando corridas piloto dentro del proceso. La habilidad de dichas propuestas para producir mejoras al proceso debe ser validada para asegurar que la mejora potencial es viable. De estas pruebas y experimentos se obtiene una propuesta de cambio en el proceso, es en esta etapa en donde se entregan soluciones al problema.

El planteamiento de las alternativas de mejora del proyecto se encaminará en conseguir resultados a corto plazo de esta manera se pretende corregir las variables del proceso, para posteriormente realizar un plan de mejora a largo plazo. Por otro lado se debe tomar en cuenta que el proyecto de estudio está dirigida a una pequeña empresa que no posee la capacidad para realizar grandes inversiones para la implementación al 100% de tecnología, maquinaria y talento humano.

Bajo este contexto las alternativas de mejora propuestas tendrán un tiempo estimado de tres meses, tomando en cuenta las características de las mejoras.

**Tabla 8:** Matriz de mejoras adoptadas

DEFECTOS O FALLAS	ALTERNATIVAS DE MEJORA	RESPONSABLE	HERRAMIENTAS	PERIODO DE IMPLEMENTACIÓN
OPERADORES	Capacitación y adiestramiento	Gerente general; Supervisor de Calidad Jefe de Producción	Programas de capacitación teóricos y prácticos a nivel interno y externo	Corto plazo
	Selección del personal	TT-HH Jefe de producción	Pruebas de soldadura	Corto plazo
	Elaboración de procedimientos de trabajo)	Supervisor de Calidad Jefe de producción	Uso estricto de procedimientos de trabajo	Corto plazo
	Control de calidad	Supervisor de Calidad Jefe de producción	Check list de inspección en campo	Corto plazo
MAQUINARIA Y EQUIPO	Control periódico de maquinaria y equipos	Supervisor de Calidad Jefe de producción	Mantenimiento preventivo	Corto plazo
	Inspecciones periódicas	Supervisor de calidad	(Check list)	Corto plazo

### Análisis de la factibilidad propuesta.

Antes de poner en marcha las mejoras planteadas es indispensable verificar la viabilidad de la propuesta de mejoramiento. Para ello se va a tomar en cuenta los siguientes aspectos.

**Tabla 9:** Factibilidad de las mejoras adoptadas

FACTIBILIDAD DE LAS ALTERNATIVAS DE MEJORA	
ASPECTO	DETALLES
TÉCNICOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- En base al estudio realizado se puede realizar la medición y análisis del nivel actual de calidad: DPMO, nivel <math>\sigma</math>, NPR y capacidad del proceso de acuerdo a la metodología SEIS SIGMA.</li> <li>- La empresa cuenta con los técnicos (Jefe de producción y supervisor de calidad) de la metodología SEIS SIGMA.</li> <li>- La planta brindan todas condiciones necesarias para llevar a efecto las mejoras, de esta manera se podrá medir y evaluar los beneficios reales.</li> </ul>
ECONÓMICO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La ejecución de las alternativas de mejora no requieren de una gran inversión, ya que se cuenta el personal que puede llevar a cabo la implementación y las herramientas estadísticas para la adecuada implementación del proyecto</li> <li>- El gerente general de la empresa debe comprometerse en dar seguimiento y los recursos económicos para la completa implementación como también velar que todas las recomendaciones se cumplan en los plazos establecidos.</li> </ul>
BENEFICIARIOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La propuesta de las mejoras tiene como propósito incrementar la producción y de la calidad de los procesos, de esta manera elevar sus ingresos y garantizando la estabilidad de los trabajadores y clientes.</li> </ul>

### Capacitación y adiestramiento al personal técnico y operadores

El programa de capacitación estará dirigido tanto al personal técnico como soldadores y ayudantes, lo que se propone es capacitar a todos los involucrados en el proceso, mediante la capacitación con personal especializado en materia de Procesos de producción, SEIS SIGMA y soldadura, para que de esta manera se cree una cultura de Producción esbelta, cumpliendo cada uno con sus responsabilidades, luego será responsabilidad del gerente y personal técnico dar cumplimiento a producir con calidad, tomando como principal eje principal de la empresa los la calidad de sus productos



### 3.4.4.- Evaluación de las mejoras.

En base al estudio preliminar se han planteado las alternativas de mejora, las cuales contarán con el respaldo de la documentación y registros. Todas las actividades deben ser registradas en la matriz AMEF. Se establece la nueva matriz AMEF considerando las alternativas de mejora.

**Tabla 10:** Matriz AMEF, análisis modo fallas y efectos

ANÁLISIS DE MODO FALLA Y EFECTOS EN EL PROCESO															
N° de código: AMEF 01															
PRODUCTO: Fabricación de Estructuras para Carrocerías de buses Interprovinciales															
ELABORADO POR: Patricio Tierra															
Paso del proceso	Modo de falla Potencial	Efectos de falla potenciales	S E V	Causas potenciales	O C U	Controles actuales de prevención /detención	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsable	Acciones adoptadas	R E V	O C U	D E T	N P R
Cortar	Piezas irregulares	Piezas de mayor o menor longitud que la normal	8	Falta adiestramiento	2	Visual y no registrada	6	96	Capacitación y supervisión	Supervisor de calidad	Capacitación	8	1	8	64
	Cortes descuadrados	Complejidad en la unión	9	Maquinaria y equipos en malas condiciones	2	Visual y no registrada	6	108	Capacitación y supervisión	Supervisor de calidad	Capacitación	7	1	9	63
	Exceso de viruta	Pérdida de tiempo en correcciones	8	Falta de habilidad	1	Visual y no registrada	3	24	Uso correcto de materiales	Supervisor de calidad	Revisión de materiales	8	1	7	56
	Forma incorrecta	Piezas deformes que dificultan el correcto armado	7	Mediadas mal tomadas, distracción o prisa	2	Visual y no registrada	2	28	Establecer procedimiento y tiempo tipo	Supervisor de producción	Supervisión adecuada	7	1	2	14
Soldar	Elementos descuadrados	Elementos desalineadas	8	Falta de entrenamiento o distracción	3	Visual y no registrada	5	120	Capacitación y supervisión	Supervisor de calidad	Capacitación	8	1	2	16
	Salpicadura excesiva	Presencia de residuos en la superficie	8	Equipo mal calibrado	1	Visual y no registrada	2	16	Verificación de cables, lagartos.	Soldados	Supervisión adecuada	8	1	2	16
	Porosidad	Presencia de agujeros en la unión	9	Maquinaria y equipos en malas condiciones	4	Visual y no registrada	8	288	Plan de mantenimiento	Supervisor de calidad	Capacitación	9	1	2	16
	Escaso material depositado	Superficie irregular							Plan de mantenimiento	Supervisor de calidad	Capacitación	9	1	9	81
	Fisuras o grietas	Pérdida de tiempo en reprocesos							Plan de mantenimiento	Supervisor de calidad	Capacitación	9	1	9	81
	Mordeduras	Defectos en la superficie							Plan de mantenimiento	Supervisor de calidad	Capacitación	9	1	9	81
	Sobre montas	Superficies con exceso de soldadura	7	Falta de habilidad, material defectuoso	2	Visual y no registrada	2	28	Mayor concentración	Supervisores de calidad y producción	Stock de materiales	7	1	2	14
	Chispazos	Superficies desgastadas	8	Falta de capacitación	2	Visual y no registrada	2	28	Capacitación	Supervisor de calidad y producción	Capacitación programada	8	1	2	16

Una vez que se ha realizado los cambios propuestos en la etapa de mejora se procede a realizar el llenado de la matriz AMEF completamente para de esta manera verificar si existen cambios significativos de los niveles de NPR anterior y los mejorados, realizando una comparación entre las dos columnas podemos demostrar que existe una disminución aceptable entre los NPR, actual y el mejorado.

### 3.5.- Etapa de control

Tras validar que las soluciones funcionan, es necesario implementar controles que aseguren que el proceso se mantendrá en su nuevo rumbo. Para prevenir que la solución sea temporal, se documenta el nuevo proceso y su plan de monitoreo. Solidez al proyecto a lo largo del tiempo.

#### 4.- DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Una vez aplicada la metodología Seis Sigma, conocida como ciclo DMAIC, al proceso de constructivo de carrocerías para buses analizaremos los resultados obtenidos en cada una de sus etapas de esta manera medir el éxito del proyecto y determinar los ajustes que se debe realizar o acciones que se deben tomar para garantizar la calidad de nuestros procesos.

##### Situación Actual

**Tabla 11:** Plan de control de mejoras

SITUACIÓN ACTUAL	
PROCESOS	NIVEL SIGMA
Inspección de materia prima	1,45
Dimensionamiento o Medición	1,45
<b>Corte</b>	<b>1,68</b>
Esmerilado	1,65
Doblado	1,37
Punteado de elementos	1,55
<b>Soldadura</b>	<b>1,25</b>
Esmerilado	1,66
<b>TOTAL</b>	<b>1,47</b>

##### 4.2.- Situación Propuesta

**Tabla 12:** Nivel de sigma global de la situación propuesta

Situación Mejorada	
PROCESO	NIVEL SIGMA ( $\sigma$ )
Inspección de materia prima	1,45
Dimensionamiento o Medición	1,69
<b>Corte</b>	<b>2,40</b>
Esmerilado	1,65
Doblado	1,37
Punteado de elementos	1,55
<b>Soldadura</b>	<b>1,62</b>
Esmerilado	1,66
<b>TOTAL</b>	<b>1,68</b>

**Tabla 13:** tabla de nivel de sigma actual versus el mejorado

PROCESO	Situación Actual	Situación Mejorada	VALOR DE SIGMA MEJORADO
	NIVEL SIGMA $\sigma$	NIVEL SIGMA $\sigma$	
Corte	1,69	2,40	0,71
Soldadura	1,25	1,62	0,37

Podemos observar los nivel de sigma inicial y mejorado tanto del proceso de corte como de soldadura, los mismo que identificados como los críticos para la fabricación de estructuras.

55 Realizando una comparación entre los valores de sigma podemos apreciar que en el sub proceso de corte el nivel de sigma (calidad del proceso) se incrementa de 1,69 a 2,40 obteniendo un aumento en la capacidad del proceso de 0,71, mientras que en el sub proceso de soldadura de un nivel de sigma de 1,25 se incrementa a 1,62 que traduciéndolo a indicadores de calidad es incremento significativo para mejorar nuestros procesos

**Tabla 14:** tabla de nivel de sigma actual versus el mejorado

PROCESO	Situación Actual	Situación Mejorada	VALOR DE SIGMA MEJORADO
	NIVEL SIGMA $\sigma$	NIVEL SIGMA $\sigma$	
Proceso de fabricación de estructura para carrocerías.	1,47	1,68	0,21

Se concluye en que la correcta aplicación de la metodología Seis Sigma se pudo incrementar el nivel de calidad de 1,47 correspondiente a la situación actual a 1,68 luego de realizar las mejoras establecidas por la metodología.

## Bibliografía

**Anthony, J.** (2006). *Design for Six Sigma*.

**Bonnin, R.** (2005). La estrategia Seis Sigma y el control interno de la calidad. *Dignostico In Vitro*, 1-2.

**Carrión G. A. and Maluenda Molla.** (s.f.). *Gráfico de control por atributos*.

**CHACE, R. B.** (2014). *Administración de operaciones, Producción y cadena de suministro*. Mexico D.F: Interamericana Editores S:A. de C.V.

**Escobedo, M. O.** (junio 2012). Control estadístico del proceso.

**Gutiérrez Pulido, H., & De la Vaca Salazar, R.** (2009). *Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma*. México, D.F: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.

**Gutiérrez, H., & De la Vaca Salazar, R.** (2009). Mexico: McGRAW-HILL.

**Mustafa, A. M.** (2012). Cartas de control por variables.

**Ortega, C. S.** (Julio 2009). Guía para la elaboración d diagramas de flujo.

**Reyes, P.** (2002). Manufactura delgada y Seis Sigma en empresas Mexicanas: experiencias y reflexiones. *Contaduría y Administración*, 61.

**Daza.. J.** 2006, "Estadística aplicada", Ed Megabyte. Lima. Peru. 44

**Harrington, J.**, 1994 "Mejoramiento de os procesos de la empresa", Ed Limusa, Perú, pp35-36

**Karlins, D.**, 2005, "Manual del Ingeniero Industrial de Maynard", Ed McGrawhill, Mexico. Pp.682-687

**Pazmiño, I.**, 1997, "Metodología de la Investigación Científica", Imprenta Mariscal, Quito – Ecuador. pp. 42,43

**Wortman, B.**, 2007, "the Six Sigma Black Belt Premier", Quality Council of indiana (QCI), piv - 55

**Kim, P.**, 2005, Six Sigma For The Next mmillennium, ASQ Quality Press, Milwaukee, wisconsin, p.3

**Park-Sung H.**, Six Sigma for Quality and Productivity Promitiòn, Asian Productivity Organización, primera edision , Tokyo, Japan p. 3

**Pineda, G.**, 2009 " Manufactura Esbelta", <http://www.slideshare.net/manufactura-esbelta-presentation>,(marzo 2010)

**Quesada, G.**, 2008 "Concepto Seis Sigma", <http://grupokaizen.com>, (Mayo2010)

**Venegas,R.**,2005 "Manual de las 5'S"[Http://www.gestiopolis.com/recursos5docs/ger/cincos.htm](http://www.gestiopolis.com/recursos5docs/ger/cincos.htm),