

**Especialización en Gestión de la Calidad**  
**Universidad del Salvador**



**TESIS: “Aplicación de la metodología  
Seis Sigma al proceso de fabricación de  
piezas cerámicas”**

USAL  
UNIVERSIDAD  
DEL SALVADOR

**Alumna: Ing. María Emilia Medina**

**Tutora: Ing. Ana María López**

Año 2018





---

## RESUMEN

El presente trabajo resume la aplicación de un proyecto Seis Sigma de la empresa de servicios Ingeniería de Calidad SRL.

El cliente Piezas Cerámicas Argentinas (PCA SRL), solicitó el análisis de su proceso de producción de cierto tipo de piezas, que denominaremos aquí "piezas cerámicas de tipo II". La fabricación de dichas piezas se reanudó durante el corriente año. El fabricante observó que, una vez iniciada la producción, se generaba un elevado número de piezas que se hallaban fuera de especificación, de modo tal que la cantidad de scrap de producción alcanzó valores máximos admisibles.

La causa fue analizada en el laboratorio de calidad y se determinó que se hallaba asociada a la elevada presencia en las piezas del defecto de fisuras de capping.

Sin embargo, luego de la fabricación del lote N° 16, la empresa informó que dejó de percibir esta no conformidad en su línea de producción, la cantidad de piezas con fisuras se redujo drásticamente, y los lotes producidos a continuación de éste cumplían con la especificación. Desconociendo la causa que había permitido solucionar el problema, la empresa solicitó nuestros servicios para dilucidar qué modificación condujo a la mejora de la calidad de las piezas fabricadas, a fin de orientar la acción futura en esa dirección.

Lo que se planteó en este trabajo, con ayuda de los encargados del área de producción y del área de investigación de la empresa, analizando datos e información provista por el fabricante y buscando bibliografía, es el procedimiento Seis Sigma de mejora de la calidad de las piezas cerámicas. El objetivo fue evitar la presencia de los defectos hallados en cantidades superiores a las permitidas por la especificación del fabricante, y prevenir la producción de lotes fuera de especificación en el futuro (en la sección I.3 se detallan más ampliamente los mismos). Para ello, se contó con la información correspondiente de los lotes fabricados por la empresa antes y luego del cambio en la calidad de las piezas, datos sobre características físicas y químicas de la materia prima y datos de las condiciones de fabricación empleadas.

Para el análisis de la información y los datos brindados por el fabricante, se hizo uso del modelo DMAIC, que será explicado en la introducción de este informe. Esto incluyó el empleo de distintas herramientas estadísticas aprendidas durante la cursada de la Especialización en Gestión de la Calidad y la utilización del programa Minitab 17, software para la aplicación de dichas herramientas. Finalmente, ellas nos permitieron determinar que los ajustes en la operación de prensado, introducidos durante el mantenimiento de la prensa, son la causa principal de la mejora observada en la calidad de las piezas fabricadas, que el fabricante cuenta con un indicador para el seguimiento de su proceso y que es posible la rápida mejora del mismo mediante sencillas acciones de fácil aplicación (éstas se determinan en el capítulo V).



## ÍNDICE GENERAL

|  |             |
|--|-------------|
| <b>RESUMEN</b>   | <b>III</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>   | <b>VI</b>   |
| <b>ÍNDICE DE TABLAS</b>  | <b>VIII</b> |
| <b>AGRADECIMIENTOS</b>   | <b>X</b>    |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO I. Introducción</b>  |             |
| <b>I.1    El enfoque Seis Sigma</b>  | <b>2</b>    |
| I.1.1    Proceso DMAIC   | 4           |
| <b>I.2    Fabricación del producto</b>   | <b>5</b>    |
| I.2.1    Defecto de “capping”  | 6           |
| <b>I.3    Objetivos del proyecto</b>   | <b>7</b>    |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO II. Primera etapa: Definir</b>   |             |
| <b>II.1    Proceso de fabricación de las piezas cerámicas tipo II</b>                          | <b>10</b>   |
| <b>II.2    Criterio de aprobación del producto</b>   | <b>11</b>   |
| II.2.1    Control sobre el producto  | 13          |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO III. Segunda etapa: Medir</b>  |             |
| <b>III.1    Sistema de muestreo</b>  | <b>15</b>   |
| <b>III.2    Análisis estadístico de los lotes fabricados</b>                                   | <b>16</b>   |
| <br>   |             |
| <b>CAPÍTULO IV. Tercera etapa: Analizar</b>  |             |
| <b>IV.1    Identificación de factores que afectan al proceso</b>                               | <b>23</b>   |
| <b>IV.2    Descripción de las causas principales</b>   | <b>28</b>   |
| IV.2.1    Funcionamiento de la prensa  | 29          |
| IV.2.2    Desempeño de los operarios   | 29          |
| <b>IV.3    Análisis de las causas principales</b>  | <b>30</b>   |
| IV.3.1    Análisis de influencia del factor ajuste de la prensa sobre el proceso de producción | 31          |
| IV.3.2    Análisis de asociación de las variables  | 34          |
| <b>IV.4    Estado de avance</b>  | <b>37</b>   |



---

## **CAPÍTULO V. Cuarta etapa: Mejorar**

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| <b>V.1</b> | <b>Generación de ideas para la mejora</b> | <b>40</b> |
| <b>V.2</b> | <b>Aplicación de la mejora propuesta</b>  | <b>44</b> |

## **CAPÍTULO VI. Quinta etapa: Controlar**

|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>VI.1</b> | <b>Planilla de control</b>  | <b>47</b> |
| <b>VI.2</b> | <b>Control estadístico de la producción</b>   | <b>48</b> |
| <b>VI.3</b> | <b>Cálculo de la capacidad del proceso</b>  | <b>51</b> |
| <b>VI.4</b> | <b>Análisis de la influencia de la mejora aplicada en los factores que afectan la calidad de las piezas</b> | <b>54</b> |

## **CAPÍTULO VII. Conclusiones y recomendaciones**

|              |                        |           |
|--------------|------------------------|-----------|
| <b>VII.1</b> | <b>Conclusiones</b>    | <b>59</b> |
| <b>VII.2</b> | <b>Recomendaciones</b> | <b>60</b> |

|                    |           |
|--------------------|-----------|
| <b>REFERENCIAS</b> | <b>61</b> |
|--------------------|-----------|

## **ANEXOS**

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>ANEXO DE TABLAS</b> | <b>63</b> |
|------------------------|-----------|

|   |    |
|---|----|
| Tabla A.I. Cantidad de piezas con fisuras de cada uno de los lotes producidos al comienzo del año de producción | 66 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabla A.II. Valores de los parámetros dimensionales y de la cantidad de fisuras aprobadas en las piezas fabricadas | 69 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Tabla A.III. Parámetros técnicos de la metodología TRIZ | 70 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| Tabla A.IV. Principios inventivos de metodología TRIZ | 71 |
|---|----|

|  |    |
|--|----|
| Tabla A.V. Cantidad de piezas con fisuras aprobadas en el control visual de producción luego de la implementación de la mejora propuesta | 72 |
|--|----|

|   |    |
|---|----|
| Tabla A.VI. Cantidad de piezas con fisuras aprobadas en el control visual de producción. Muestra tomada posteriormente a los primeros 30 lotes fabricados luego de la implementación de la mejora propuesta | 73 |
|---|----|

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| <b>PROJECT CHARTER</b> | <b>74</b> |
|------------------------|-----------|



## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura I.1. Herramientas y métodos empleados por la metodología Seis Sigma   | 3  |
| Figura I.2. Esquema del tipo de pieza analizada  | 5  |
| Figura I.3. Esquema del funcionamiento de una prensa de doble efecto   | 6  |
| Figura I.4. Defecto de “capping” presente en las piezas cerámicas fabricadas   | 6  |
| Figura II.1. Diagrama del proceso de fabricación de las piezas cerámicas   | 10 |
| Figura II.2. Esquema de las fisuras de capping observadas en las piezas cerámicas y condiciones de aprobación de la muestra  | 12 |
| Figura III.1. Comparación de la cantidad de fisuras en los lotes fabricados antes y después del lote N° 16   | 17 |
| Figura III.2. Gráfico de control “NP” para la cantidad de piezas con fisuras aprobadas correspondiente a los primeros 16 lotes del año   | 18 |
| Figura III.3. Gráfico de control “NP” para la cantidad de piezas con fisuras no aprobadas correspondiente a los primeros 16 lotes del año  | 19 |
| Figura III.4. Gráfico de control “NP” para la cantidad de piezas con fisuras aprobadas correspondiente a los lotes siguientes al 16  | 20 |
| Figura III.5. Gráfico de control “NP” para la cantidad de piezas con fisuras no aprobadas correspondiente a los lotes siguientes al 16   | 21 |
| Figura IV.1. Diagrama de causa-efecto de las posibles causas que dan origen a la presencia de fisuras en las piezas cerámicas  | 25 |
| Figura IV.2. Diagrama de Pareto de las causas de aparición del defecto de capping en las piezas cerámicas  | 27 |
| Figura IV.3. Gráfica de series de tiempo que relaciona la presencia de fisuras aprobadas en los lotes producidos (líneas azules) con el diámetro medido en cada lote (líneas rojas)                        | 32 |
| Figura IV.4. Gráfica de series de tiempo que relaciona la presencia de fisuras aprobadas en los lotes producidos (líneas azules) con la concavidad de las piezas medida en cada lote (líneas rojas)        | 32 |
| Figura IV.5. Gráfica de series de tiempo que relaciona la presencia de fisuras aprobadas en los lotes producidos (líneas azules) con la longitud medida en cada lote (líneas rojas)                        | 33 |
| Figura IV.6. Gráfica de series de tiempo que relaciona la presencia de fisuras aprobadas en los lotes producidos (líneas azules) con la altura del hombro de las piezas medida en cada lote (líneas rojas) | 33 |
| Figura V.1. Esquema de resolución inventiva de problemas según Altshuller  | 40 |
| Figura V.2. Gráfico de Pareto para la selección de los principios más relevantes a considerar  | 43 |



---

|  |    |
|--|----|
| Figura VI.1. Planilla de control de las piezas en verde  | 47 |
| Figura VI.2. Gráfico de control de los lotes fabricados luego de la aplicación de la mejora propuesta  | 49 |
| Figura VI.3. Gráfico de control de los lotes fabricados posteriormente a la aplicación de la mejora propuesta y luego de los primeros 30 lotes | 50 |
| Figura VI.4. Informe del análisis de capacidad binomial del proceso  | 52 |
| Figura VI.5. Diagrama de Pareto de las causas de aparición del defecto de capping en las piezas cerámicas luego de la aplicación de la mejora  | 55 |





## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| Tabla III.1. Tabla correspondiente a los resultados de la prueba para la gráfica NP de la Figura III.2   | 18 |
| Tabla III.2. Tabla correspondiente a los resultados de la prueba para la gráfica NP de la Figura III.3   | 19 |
| Tabla III.3. Tabla correspondiente a los resultados de la prueba para la gráfica NP de la Figura III.4   | 20 |
| Tabla III.4. Tabla correspondiente a los resultados de la prueba para la gráfica NP de la Figura III.5   | 21 |
| Tabla IV.1. Tabla correspondiente al diagrama de afinidad de las posibles causas de aparición de fisuras en las piezas cerámicas fabricadas  | 24 |
| Tabla IV.2. Escala empleada para la determinación del índice de priorización de riesgo   | 25 |
| Tabla IV.3. Determinación del índice de priorización de riesgo para cada una de las posibles causas de aparición de fisuras en el producto   | 26 |
| Tabla IV.4. Principales causas de la aparición de defectos de capping y los porcentajes asociados a ellas  | 28 |
| Tabla IV.5. Tabla de contingencia de las variables “Cantidad de Fisuras” y “Altura del Hombro”   | 34 |
| Tabla IV.6. Tabla de tabulación cruzada entre las variables “Cantidad de Fisuras” y “Altura del Hombro”  | 35 |
| Tabla IV.7. Tabla de comparación de las frecuencias observadas y esperadas bajo independencia entre las variables “Cantidad de Fisuras” y “Altura del Hombro”                        | 35 |
| Tabla IV.8. Resultado del test de independencia entre las variables “Cantidad de Fisuras” y “Altura del Hombro”  | 36 |
| Tabla V.1. Interrelaciones entre los parámetros involucrados   | 42 |
| Tabla VI.1. Estadísticos descriptivos correspondientes a los datos de los lotes fabricados posteriormente al N° 16, a partir del cual la empresa observa una mejora en su producción | 50 |
| Tabla VI.2. Estadísticos descriptivos correspondientes a los datos de los lotes fabricados luego de la aplicación de la mejora propuesta por nuestra compañía                        | 51 |
| Tabla VI.3. Determinación del índice de priorización de riesgo de los factores afectados por la mejora aplicada  | 54 |
| Tabla VI.4. Comparación de los índices de priorización de riesgo de los factores afectados por la mejora   | 55 |
| Tabla VI.5. Principales causas de la aparición de defectos de capping y los porcentajes asociados a ellas luego de la aplicación de la mejora  | 56 |