

APLICACIÓN DE METODOLOGÍA SEIS SIGMA PARA DISMINUIR INTERVENCIONES EN PROCESO DE FABRICACIÓN DE VIDRIOS

APPLICATION OF SIX METHODOLOGY TO REDUCE THE GLASS MANUFACTURE PROCESS INTERVENTIONS

Carlos Torres Navarro¹, Oscar Antonio Monsalve Ochoa²

¹Departamento de Ingeniería Industrial, Facultad de Ingeniería, Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile,

²Empresa Manufacturera de Vidrio. Concepción. Chile

RESUMEN

Este trabajo se realizó con la finalidad de reducir el tiempo promedio de intervenciones de un proceso de corte mecánico de vidrio en una importante empresa manufacturera de la región. La metodología utilizada consideró la aplicación de la metodología Seis Sigma y especialmente la implementación del ciclo de procesos DMAMC, propio de esta metodología.

Para el análisis estadístico de los datos se utilizaron herramientas de control de procesos y la utilización del software Minitab como ayuda al proceso de procesamiento y análisis de datos.

La situación problema bajo estudio estaba relacionada con la observación de una alta cantidad de intervenciones humanas sin una justificación técnica de ellas, con la consiguiente reducción de la productividad del personal técnico operativo involucrado en el proceso de corte de vidrio. La situación problema poseía el respaldo de la alta dirección de la empresa, dado que el comportamiento del personal técnico operativo no era similar al observado en otras plantas de similar naturaleza.

Para el desarrollo de la metodología se identificaron problemas prioritarios, estableciéndose métricas para cada uno de ellos. Los resultados obtenidos, producto de la aplicación del ciclo DMAMC, permitió identificar Procesos, Actividades y Horas del día críticos, y para cada uno de ellos se estableció un plan de mejoras. Los resultados alcanzados, luego de cuatro meses de seguimiento de las mejoras implementadas, indican que fue posible cumplir y sobrepasar las metas establecidas identificando con mayor precisión las conductas del personal en el proceso de corte de vidrio, las necesidades de inversión tecnológica, actuales y potenciales y la identificación de aquellos aspectos de gestión que posibilitan la implementación exitosa de la metodología adoptada.

Palabras claves: Corte de vidrio, reducción de intervenciones, Seis Sigma,

ABSTRACT

This work was realised in order to reduce to the time average of interventions of a glass cuts process in an important manufacturing company of the region. The used methodology considered the application of Six Sigma methodology and the implementation of DMAMC cycle processes. For the statistic analysis were used for the data analysis process the Minitab software.

Autor para correspondencia: ctorres@ubiobio.cl

Recibido: 22.10.2008 Aceptado: 23.04.2009

The problem situation under study was related to the observation of a high amount of human interventions without a technical justification of them, with the consequent reduction of the productivity level of the operative technical personnel involved in the glass cuts process. The situation problem owned the endorsement of the high management of the company since the behaviour of the technical operative personnel was not similar to the observed in other plants of similar process.

For the development of the methodology high-priority problems were identified metric settling down for each of them. The results of product of the DMAMC methodology application allowed to identify critics Processes, Activities and Hours of the Day and for each of them a improvements plan was implemented. The final output of this study, after four months of pursuit of the implemented improvements indicate that it was possible to fulfill the goals and to be exceed too, identifying more accurately the personnel conducts in the glass cuts process, the needs of more technological investment they were identified and the identification of those aspects of quality management that make possible the successful implementation of the adopted methodology.

Key words: Glass cutting, reduction of interventions, Six Sigma

INTRODUCCION

La Metodología Seis Sigma ha demostrado ser una herramienta eficaz para mejorar la productividad y calidad en una amplia gama de procesos productivos y, por consiguiente, ha permitido generar impactos favorables desde el punto de vista económico, como se cita en Harry & Schroeder (2000).

Una de sus principales características es la velocidad con que se obtienen los resultados al aplicar de manera sistemática el Ciclo DMAMC acrónimo para identificar los procesos de: Definición, Medición, Análisis, Mejora y Control. El cálculo estadístico constituye un componente fundamental para el desarrollo exitoso de las iniciativas de mejoramiento de la calidad y productividad en diferentes organizaciones pudiéndose aplicar a cualquier tipo de proceso, ya sea procesos productivos o de servicios, altamente tecnificados o netamente administrativos. Dada la experiencia alcanzada en el desarrollo de ese trabajo, los requisitos necesarios para la implementación de esta metodología son: contar con el compromiso de la Alta Gerencia, disponer de los recursos necesarios para realizar las mejoras, identificar claramente el problema y contar con el personal capacitado y comprometido para el desarrollo de estos proyectos.

El presente trabajo fue desarrollado en una empresa de producción de vidrios de la región, específicamente en una etapa de su proceso producido, como es la línea de Corte Mecánico de Vidrio Float, proceso en el cual se observaba un elevado número de intervenciones injustificadas técnicamente por parte de los operadores del proceso en cuestión. El objetivo planteado fue reducir estas intervenciones en un 50% y, por ende, aumentar en un 100% el Tiempo Medio Entre Intervenciones; MTBT (Mean Time Between Touch) por sus siglas en inglés, término de uso habitual en la empresa.

El desarrollo de este proyecto cubrió un período de 6 meses, desde que se decidió enfrentarlo a través de la metodología Seis Sigma hasta observar y validar los resultados alcanzados.

Descripción del Proceso de fabricación de Vidrio Float:

El Proceso de fabricación de vidrio (Figura 1) se inicia con la mezcla de las Materias Primas

(Arena, Soda Solvay, Piedra Caliza, dolomía y Alúmina, principalmente). Estas son enviadas hacia la Boca de Carga del Horno de Fundición, mediante un sistema de Cintas transportadoras y alimentadas al Horno por medio de un Alimentador automático y continuo, que mantiene el nivel de vidrio dentro del Horno bajo control estadístico al disponer de un sistema Láser de nivel que lo retroalimenta.

Dentro del horno, las materias primas son fundidas a 1600° Celsius, por diferencia de nivel el vidrio fundido y líquido entra al Baño de Formación donde se determina el espesor y ancho de la tira continua de vidrio. Este flujo constante de vidrio, que viaja dentro del baño por efecto de los rodillos de la Extendería, flota en una piscina de estaño líquido que tiene 45 milímetros de profundidad. A la salida del Baño de Formación el vidrio ya se encuentra sólido y formado, teniendo definido su ancho y espesor. Durante el paso de la tira continua de vidrio al pasar por la etapa de Extendería, se baja la temperatura del vidrio desde los 600° Celsius a 90° Celsius en forma controlada, para así eliminar las tensiones del vidrio y hacerlo resistente y posible de cortar.

Finalmente, el vidrio llega a la Línea de Corte Mecánico, momento en que el vidrio es clasificado según sus características resultantes para luego dimensionarse según los requerimientos técnicos comprometidos ante sus clientes y destinado a consumo. El vidrio es distribuido a lo largo del país por camiones especialmente diseñados para este efecto.

Descripción del Proceso Corte Mecánico de Vidrio

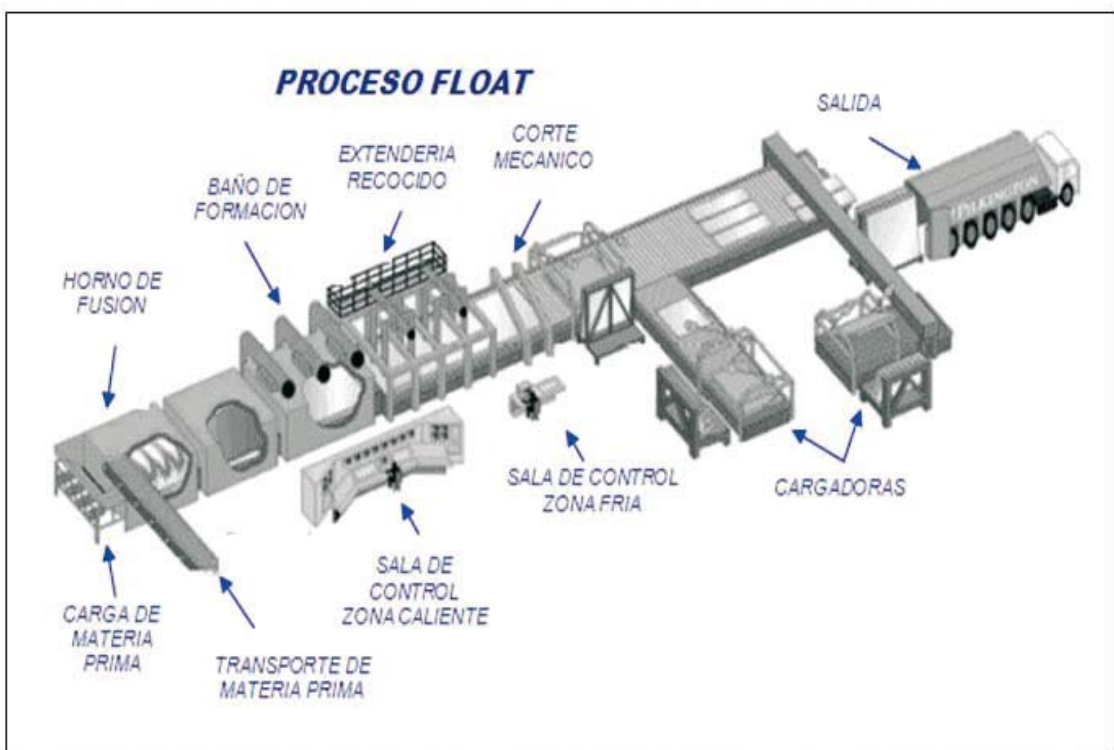


Figura 1: Proceso de vidrio Flota

El proceso de Corte Mecánico de Vidrio (Figura 2) se inicia una vez que la tira de vidrio ingresa desde la Extendería (1). El primer equipo corresponde al cortador transversal de emergencia de vidrio. Este cortador fraccionará la lámina de vidrio en trozos de dos metros cuando la lámina ingrese rota o quebrada desde la Extendería. A continuación, el Panel de Control de la basculante (2) acciona y desvía las láminas fraccionadas o cortadas anteriormente hacia un sistema de transporte de cascote o vidrio quebrado, el cual se encuentra en el subterráneo de la línea. Posteriormente, un Scanner (3) facilita el proceso de inspección de la línea continua de vidrio, permitiendo discriminar la calidad del producto y determinar la posición de los defectos del vidrio. Esta información es enviada en tiempo real al optimizador, quien, dependiendo de su programación, seleccionará y destinará la carga o rechazo del vidrio.

Seguidamente existe un proceso de medición de las tensiones del vidrio, que se realiza a través del registro de la temperatura y transmisión de luz registrando las tensiones del vidrio, graficando y cuantificando los resultados, información que es utilizada para hacer las intervenciones en el proceso que correspondan. Sigue el medidor electrónico de impulsos (4), cuya finalidad es determinar la velocidad de la línea, y sincroniza todo el sistema para la acción de los equipos y posición de las láminas. Posteriormente cortadores longitudinales (5-8) y cortadores transversales (9-10) cortan o fraccionan la tira continua de vidrio según corresponda. Finalmente, el proceso de corte mecánico de vidrio termina en una mesa denominada rompe bordes (12-13), donde se extraen los bordes de la tira de vidrio dejándola con un ancho útil de 3600 milímetros. Después de esto, las láminas fraccionadas de vidrio se desvían mecánicamente hacia las cargadoras, pasando por una inspección electrónica posterior para determinar la existencia de laminas quebradas o mal cortadas. También en esta parte del proceso se agrega polvo separador o papel inter lámina para evitar que éstas se peguen debido a la perfecta planimetría que existe entre ellas.

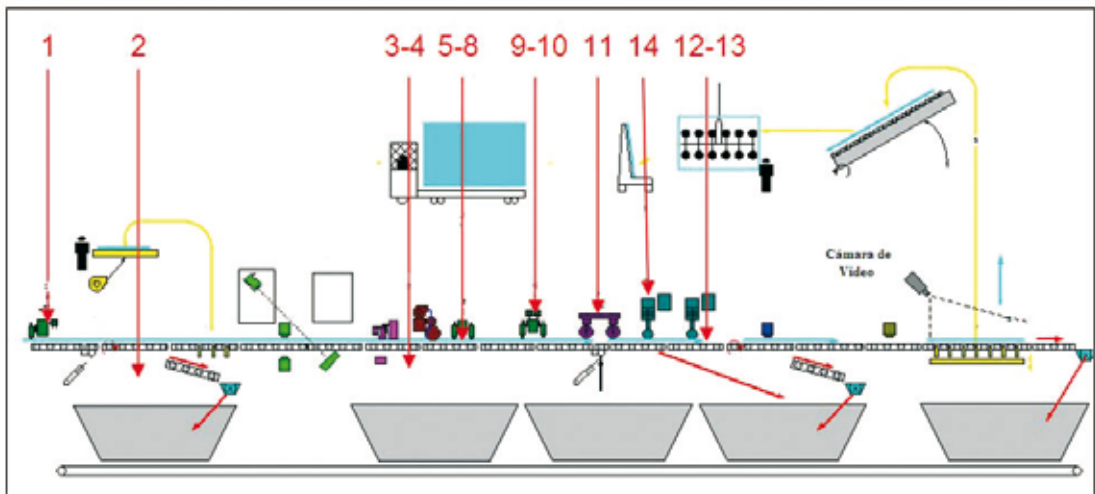


Figura 2: Proceso de Corte Mecánico de Vidrio

Discusión Bibliográfica

La metodología Seis Sigma ofrece una sistemática robusta para enfrentar el despliegue de actividades que permitan alcanzar mejores niveles de calidad, productividad y rentabilidad en las organizaciones. Esta metodología se define, según Werkema (2004) como una estrategia gerencial, disciplinada y altamente cuantitativa, donde una de sus principales características

es la necesidad de disponer de información cuantitativa y veraz respecto del desempeño de los procesos y productos bajo estudio; además, esta metodología exige validar permanentemente las hipótesis, de modo que se puedan desarrollar los pasos metodológicos de manera coherente y consistente según las circunstancias que exhiba el proceso productivo.

Algunos autores sostienen que los programas de calidad seis sigma representan el estado del arte en la gerenciación de la calidad en las organizaciones, debido a que tales programas nacen como una evolución natural y conceptual de los precursores de la calidad, y que posee características únicas (Arnheiter & Maleyeff, 2005). Calidad seis sigma ciertamente ha heredado los aportes y principios de mejoramiento continuo propuestos por de E. Deming, tales como: el enfoque en el cliente, la toma de decisiones basada en hechos y datos, la necesidad de realizar análisis de causas basales, estructuración de los problemas que requieren solución y el análisis de la capacidad de los procesos de manera objetiva, como se sostiene en Arnheiter & Maleyef (2005) y en Evans & Lindsay (1995).

Las características únicas de los programas seis sigma son el entrenamiento y capacitación eficaz del personal involucrado directamente en el proyecto, la concepción amplia de lo que significa el valor para los clientes, y no sólo circunscribirla a la calidad del servicio y entrega, el acoplamiento claro entre la mejora de los procesos y los beneficios financieros (Arnheiter & Maleyeff, 2005; de Harry & Schroeder, 2000).

Las actividades de mejora en un proyecto seis sigma comienzan con la debida definición de un proyecto acertado y respaldado por la alta dirección de la empresa Snee (2001), considerándose que el proyecto a abordar requiere el establecimiento de métricas que se pueden utilizar para fijarle necesariamente metas al proyecto. En este sentido, calidad seis sigma, estadísticamente, significa que la amplitud de la distribución normal (en el rango +/- 3 sigmas) quepa dos veces dentro del rango de las especificaciones que tiene el producto o proceso, requiriéndose, por ende, esfuerzos para reducir la variabilidad bajo estudio.

Por otra parte, las personas que intervienen en proyectos seis sigma deben recibir el entrenamiento necesario e intensivo en herramientas de calidad y métodos estadísticos. En este sentido, lo singular de la metodología es que se establecen y reconocen niveles de conocimiento y destreza entre el personal involucrado, denominándose cinturones (negro, verde y amarillo). (Gutiérrez, 2004.). De modo que los respectivos "cinturones negros, verdes o amarillos" desarrollan la metodología DMAIC que consiste en una secuencia de intervención que considera los siguientes procesos metodológicos: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, como se representa en la Figura 3.



Figura 3: Ciclo DMAMC

El proyecto por seleccionar para desarrollar e implementar posteriormente la metodología seis Sigma (DMAIC) debe alcanzar una mejora de calidad significativa y, a su vez, debe monitorearse su impacto desde una perspectiva financiera. (Rotondaro, 2002; Montgomery 2000; Snee, 2001; de Harry & Schroeder, 2000). Específicamente para garantizar viabilidad en un proyecto seis sigma se requiere un análisis desde tres puntos de vista: técnico, financiero, y económico, según se señala en Carvalho (2002). El primer punto se ocupa del riesgo de imaginar una solución factible. El segundo punto de vista considera la disponibilidad de recursos financieros necesarios para invertir en el proyecto. El tercer punto se ocupa del análisis de costes y beneficios del proyecto. Por otra parte, la selección del proyecto seis sigma también considera tres requerimientos importantes; a saber: enfoque en el cliente, énfasis de la toma de decisión sustentada necesariamente en datos cuantitativos, y evaluación de los potenciales ahorros en dinero que arroje el proyecto (De Mast, 2003).

Finalmente, la literatura ofrece también experiencias exitosas en la implementación de otra metodología, como es la metodología "Lean Six Sigma", (Busso & Miyake, 2007); sin embargo, en esta primera etapa del proyecto se considera suficiente la aplicación de solo la metodología Seis Sigma, por las siguientes razones: a) está orientada a la reducción de las intervenciones durante el proceso de fabricación del vidrio; b) exige la necesidad de analizar datos para reducir su variabilidad (que es un aspecto de interés en este estudio); c) es factible aplicarla en un contexto manufacturero, como es la concepción original de seis sigma; d) ofrece un marco metodológico fácil de comprender, y e) el personal de la empresa ha recibido entrenamiento y capacitación específica en los ámbitos de acción de la metodología seis sigma.

METODOLOGÍA SEIS SIGMA Y RESULTADOS

Proceso de definición del problema

La definición del problema principal en este estudio estuvo a cargo de la alta dirección de la empresa y se definió como sigue: Existe un alto número de intervenciones por parte de los operadores de corte de vidrio, que no agregan valor al proceso afectando la productividad en equipos cortadores transversales, longitudinales, mesa rompe bordes, equipo aplicador de agua a bordes y snaps (separador de láminas de vidrio), durante los períodos de estado normal de operación. La frecuencia de intervenciones en el proceso era una situación no observada en otras plantas industriales del conglomerado.

Como parte de esta etapa, se define como variable crítica para el proyecto seis sigma el MTBT (Tiempo promedio entre intervenciones). La meta establecida para esta variable crítica es disminuir en un 50% el tiempo medio entre intervenciones respecto de la situación actual en el proceso de corte mecánico del vidrio.

Como estrategia de implementación se establece que todo el personal que interviene en la línea productiva de vidrio Float se involucre en el proyecto. Se autoriza la asignación de recursos necesarios, siguiendo el procedimiento de asignación de recursos establecido en la empresa, según el monto de la inversión, para enfrentar la situación y se establece una sistemática de reuniones de trabajo y análisis de datos e información con la finalidad de monitorear los avances del proyecto. Para este efecto se construyen gráficos de línea asociadas a rendimientos, pérdidas de bordes, pérdidas de anchos y su estratificación según equipos, para su mejor análisis.

Proceso de medición de la situación actual

Para implementar un proceso de medición eficaz se desarrollaron las siguientes estrategias:

Implementación de un sistema de cámaras de video sensible a los movimientos del personal en 14 puntos críticos del proceso de fabricación de vidrio, estableciéndose un total de 9 variables Y_s y, un total de 65 variables X_s . Por otra parte, se establecieron criterios para detectar intervenciones de modo de identificar, a través de la cámara de video, aquellas intervenciones de carácter innecesario para mantener la continuidad del flujo del proceso de aquellas intervenciones necesarias como producto de la necesidad de cambiar, por ejemplo, los espesores y anchos del producto.

El proceso de medición estuvo soportado por la implementación de gráficos de barra, gráficos de línea, diagramas de Pareto y diagramas de caja y bigote de modo de facilitar la identificación y comportamiento de las variables por analizar, de modo de conocer de manera objetiva y veraz la frecuencia de intervenciones según turnos, tipos de equipos y Horario.

La Figura 4 corresponde a una carta de control de individuales donde se evidencia la evolución y comportamiento de las intervenciones por parte del personal para un período de 28 días de observación, y según una jornada de trabajo de 24 horas de fabricación de vidrio, además de observar tendencias de las intervenciones durante el periodo.

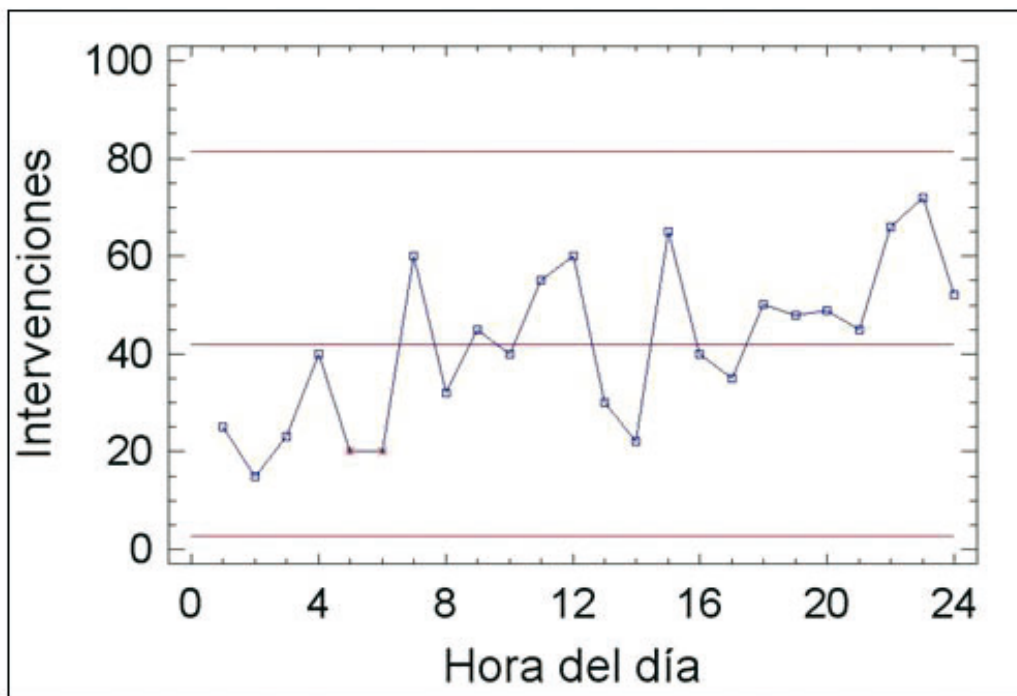


Figura 4: Promedio de intervenciones según horario

La implementación de cámaras de video y observancia del comportamiento de las variables bajo medición permitió identificar problemas prioritarios, los que a su vez se estratificaron según: Equipos, Actividades y Horario.

Para el caso de los Equipos, la prioridad de análisis se circunscribió a la zona de Cortadores longitudinales, Panel de mesa rompe bordes y Aplicaciones de agua en el proceso de producción de vidrio.

Para el caso de la Actividad, ésta se relacionó con el “Movimiento de Lámina” durante el proceso de fabricación de vidrio.

Para el caso del Horario se definió la necesidad de analizar las operaciones según hora del día.

En relación con la definición de objetivos y metas asociada a los problemas prioritarios se estableció lo siguiente:

Para el caso de los Equipos se establece una meta de reducción de las intervenciones en un 50%.

Para el caso de de la Actividad asociada al movimiento de línea se establece como objetivo estudiar el proceso de formación del vidrio y corregir los desvíos que afectan el proceso de corte mecánico del vidrio.

Para el caso del Horario se establece como objetivo estudiar el comportamiento de los operadores durante las jornadas de trabajo, e implementar capacitación técnica sobre buenas prácticas de fabricación del vidrio.

La definición del área del proyecto quedó establecida dentro del actual campo de intervención del equipo de trabajo, delegándose tareas entre el personal involucrado según conocimiento, experiencia y responsabilidad de cada integrante del grupo de trabajo.

La métrica utilizada para evaluar los resultados de las mejoras fue el “tiempo medio entre intervenciones” (MTBT por su sigla en inglés, concepto habitual y conocido en la empresa.)

Proceso de análisis de la causa raíz

Para la implementación de este proceso de análisis se implementó una sistemática de reuniones de trabajo, de modo de analizar los hechos en base a información objetiva. Las técnicas de control de proceso implementadas fueron las siguientes: Método de Lluvia de ideas o Brainstorming, (entre el equipo de trabajo y los superiores jerárquicos para visualizar las fronteras de acción, especialmente ante la eventualidad de enfrentar y decidir la factibilidad económica y disponibilidad de recursos financieros ante requerimientos de mejora tecnológica, principalmente), Diagrama de Pareto Simple, y Diagrama de Pareto estandarizado (con la finalidad de detectar los factores estadísticamente significativos que incidían en el problema prioritario asociado al movimiento de Lámina), Gráficas de control y Análisis de varianza (con la finalidad de detectar eventuales comportamientos asociados a los turnos de trabajo, los resultados indicaron que no existían diferencias estadísticas significativas de comportamiento entre los diferentes turnos de trabajo)

El resultado del análisis de los resultados permitió identificar que, para mantener estable los espesores del vidrio, se debía poner atención, principalmente durante el proceso de fabricación del vidrio, a la temperatura del estaño, dado que este componente produce desplazamientos de la tira de Vidrio dentro del baño de estaño, afectando el proceso de corte mecánico del vidrio, haciendo necesario reposicionar los cortadores longitudinales cada vez que se desplazaba la lámina dentro del baño respectivo y, en consecuencia, haciendo aumentar la frecuencia de intervenciones en el proceso. La Figura 5 presenta el Diagrama de Pareto estandarizado correspondiente.

Respecto del problema “Horario” se relacionó la frecuencia de intervenciones a lo largo de los días, evidenciándose una tendencia creciente en las intervenciones observadas a medida que avanza la jornada de trabajo, como se mostró en la figura 4. La conclusión respecto de esta situación reflejó que la frecuencia de intervenciones se relacionaba principalmente con la cultura del personal involucrado al realizar intervenciones sin una necesaria justificación técnica; además, estas intervenciones estaban altamente relacionadas con los períodos de salida a colación del personal técnico, cambios de turno, etc., reconociéndose por parte del personal involucrado que tales intervenciones revestían un carácter innecesario.

En resumen, como producto del proceso de análisis de la información, se establecieron las siguientes estrategias:

Para el caso de los Equipos se estableció como estrategia prioritaria mejorar y/o modificar los cortadores longitudinales, los aplicadores de agua y el sistema de la mesa rompe bordes.

Para el caso de las Actividades se estableció como estrategia prioritaria mejorar el proceso de Formación de Vidrio, centrándose en estabilizar la temperatura del estaño dentro del baño.

Para el caso del Horario se estableció como estrategia prioritaria capacitar a los operadores, en orden a que pudiesen comprender mejor el proceso productivo del vidrio y hacerles reconocer las actividades que efectivamente agregan valor al corte de vidrio, a diferencia de las prácticas operacionales que no aportaban valor al proceso.

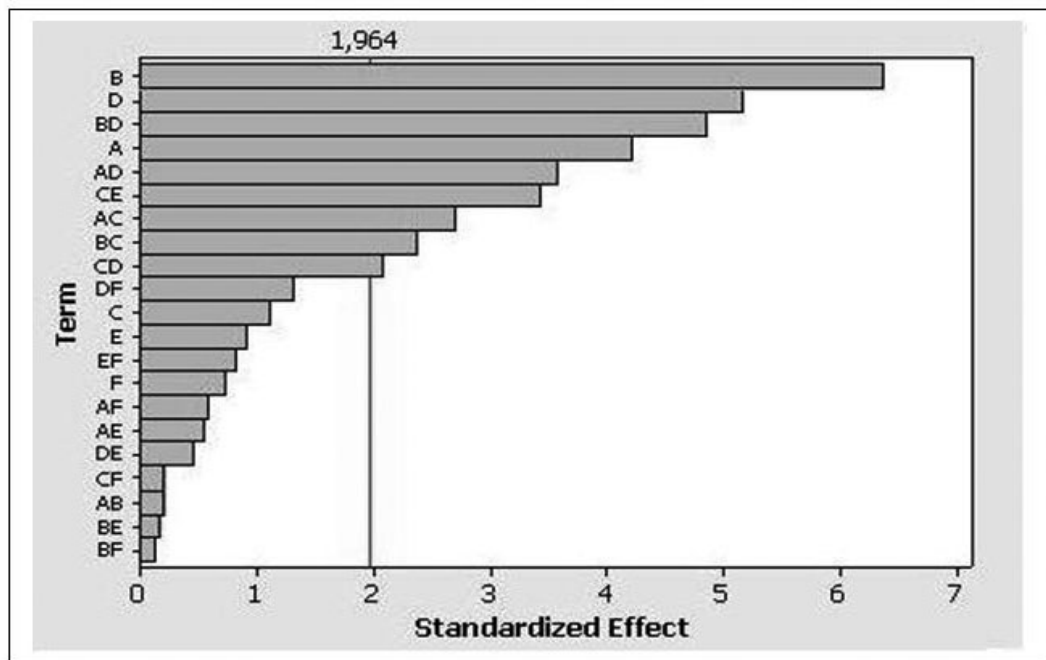


Figura 5: Pareto estandarizado para Movimiento de Láminas

(A) Temperatura del estaño; (B) Temperatura estaño; (C) Atmósfera; (D) Presión baño; (E) Ancho lámina; (F) Tensión de la red.

Proceso de Mejora

Para implementar el proceso de mejora se definió un conjunto de 16 proposiciones de mejora que se priorizaron utilizando una Matriz de Priorización: Los criterios de valuación de las propuestas fueron las siguientes: Costo, Factibilidad, Impacto sobre causa y Efecto secundario.

Como resultado de la actividad de priorización se implementaron las siguientes propuestas de mejora:

Para el caso de los Equipos, las propuestas de mejora fueron las siguientes: a) Desarrollo de nuevos aplicadores de agua; b) Solicitar al proveedor de aplicadores de agua datos que permitan comparar los rendimientos en planta y deducir futuras acciones; y c) Realizar adaptaciones tecnológicas para introducir nuevos aplicadores de agua en el proceso de producción de vidrio.

Para el caso de las Actividades, las propuestas de mejora fueron las siguientes: a) Instalar nuevas banderas sumergidas en el baño de formación; b) Comparaciones configuraciones tecnologías con otras plantas del holding para deducir potenciales intervenciones para mejoramiento de productividad; c) Confeccionar banderas adicionales, de modo de mejorar el proceso de formación del vidrio dentro del baño.

Para el caso del Horario, las propuestas de mejora fueron las siguientes: a) Potenciar el proceso de análisis de datos en conjunto con los operadores del proceso de elaboración del vidrio; b) Capacitar en el uso de nuevos aplicadores de agua; y c) Reasignar nuevas funciones a los puestos de trabajo, de modo de disponer de personal más integral dentro del proceso productivo.

El seguimiento y control de la implementación de las propuestas de mejora se monitoreó a través de la implementación de una Carta Gantt y, además, se fortaleció el proceso de capacitación en el equipo de personas que intervenían directamente el proceso de producción, dada la información y datos objetivos recopilados durante el proyecto seis sigma.

La Figura 6, presenta la evolución de las intervenciones antes y después de implementar las mejoras en el proceso de Formación del vidrio, observándose que las intervenciones innecesarias bajaron para los equipos Rompe Bordes y Aplicadores de Agua, en un 62%, superando la meta inicialmente establecida de 50%.

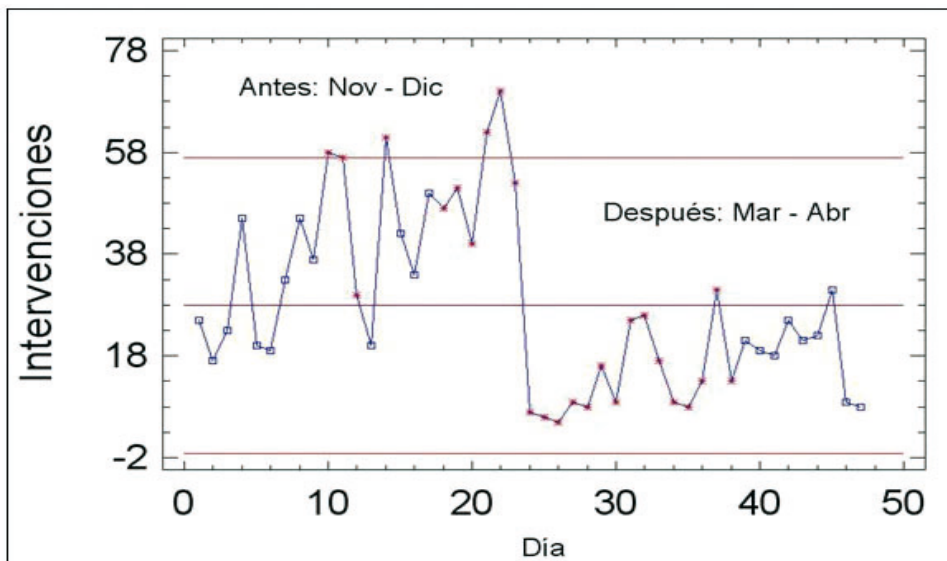


Figura 6: Carta de X-Individual para intervenciones en equipos, antes y después de implementación de mejoras

Por otra parte, la implementación de Diagramas de Pareto permitió comparar los lugares dentro del proceso de producción donde se presentaban las intervenciones asociadas a Equipos, constatándose que en la situación antes de la implementación de mejoras, el 96,8% de las intervenciones se concentraban en 10 puntos típicos del proceso. Luego de la implementación de las mejoras, se observó que el 96,4% de las intervenciones se focalizaban en sólo 4 puntos típicos del proceso, siendo estas de carácter necesario para la continuidad del proceso de fabricación de vidrio.

Proceso de control

El proceso de control se desarrolló a través de la capacitación adicional sobre los cambios tecnológicos introducidos en el proceso bajo estudio, y se implementaron instructivos y procedimientos mejorados incorporándolos en las prácticas de gestión integral de calidad vigentes en la empresa.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos luego de la implementación de las mejoras anteriormente definidas se resumen en Tabla 1. Por razones de confidencialidad de la información no se presenta en esta publicación el impacto económico que significaron para la empresa los logros alcanzados como producto de la implementación y desarrollo de la metodología Seis Sigma. No obstante, se estima que la cuantía de los logros alcanzados es satisfactorio por la alta dirección de la empresa, considerándose que la implementación de mejoras tecnológicas adicionales para mejorar el nivel de sigmas del proceso, más allá del alcanzado con las mejoras implementadas, se hará cuando las condiciones de comercialización y competitividad justifiquen económicamente inversiones adicionales, especialmente en el ámbito tecnológico.

Tabla 1: Resultados consolidados según la meta establecida.

Resultado	Estado Inicial	Estado final	Meta	Logro
Meta Específica	MTBT: 39 minutos.	MTBT: 115 minutos.	Aumentar en 100 % el MTBT Situación inicial: 78 minutos.	47 % sobre la Meta.
Meta Prioritaria Equipos (Cortadores Longitudinales, Aplicadores de Agua, Rompe Bordes)	842 intervenciones	326 intervenciones	Disminuir en 50 % las intervenciones Situación inicial: 421 intervenciones	22.6 % sobre la Meta
Meta Prioritaria Actividad (Movimiento de Lámina)	543 intervenciones	117 intervenciones	Disminuir en 50 % las intervenciones Situación inicial: 272 intervenciones	57 % sobre la Meta.
Meta Prioritaria Horario	42.2 intervenciones promedio diaria	15.08 intervenciones promedio diaria	Disminuir en 50 % las intervenciones promedio diaria Situación inicial: 21.1 intervenciones promedio día	29 % sobre la Meta.
DPMO: Defectos por Millón de Oportunidades, en Proceso de Corte Mecánico de Vidrio	1809	623	-	-
Escala de Sigma	4.43 Sigma	4.68 Sigma	-	5,6%

CONCLUSIONES

Con el desarrollo de esta aplicación queda demostrado que la metodología Seis Sigma es efectiva como estrategia de mejoramiento de la calidad y productividad, en el ámbito de los procesos de fabricación de vidrios.

Los objetivos planteados inicialmente, en tres dimensiones diferentes; Equipos, Actividades y Horario, se han cumplido, al evidenciar que las metas fijadas para dimensión incluso se han sobrepasado. Se estima que la efectividad en la aplicación de esta metodología ha estado fundamentada en: a) una fuerte capacidad de liderazgo del equipo asignado al proyecto seis sigma para conducir los procesos de análisis e implementación de mejoras de manera planificada; b) la efectiva utilización de métricas y herramientas de mejoramiento de la calidad en forma oportuna y con un proceso de recopilación de datos veraz y c) la disposición de la gerencia de la empresa para asignar los recursos que exigía el proyecto seis sigma, de modo de materializar las mejoras propuestas.

BIBLIOGRAFIA

Arnheiter, E. D & Maleyeff, J. (2005). The integration of lean management and six sigma. *The TQM Magazine*, 17, 5-18.

Busso, C & Miyake, D. (2007). Estratégias de implementação lean six sigma, XXVII Enegep: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Brasil

Carvalho, M & Rotondaro, R. (2002). Seis sigma: estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. Atlas -São Paulo-Brasil, 49-79.

Canegusuco, L., Jansen, J. (2007). Pensamento sistêmico em projetos seis sigma: buscandomudanças de alta alavancagem. XXVII Enegep: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Brasil

De Mast, J. (2003). Quality Improvement from the Viewpoint of Statistical Method. *Quality and Reability Engineering International*, 19, 255-264.

De Oliveira, D. (2007). Aplicação de ferramentas de qualidade six-sigma. XXVII Enegep: Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Brasil

Evans, J. R & Lindsay, W. M. (1995). The management and control of quality. South Western College Publishing - Cincinnati . Ohio. 1ª ed.

Gutiérrez, H. (2004). Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma. 1ª ed., McGraw-Hill. México, D.F.

Harry, M & Schroeder, R. (2000). Six sigma: the breakthrough management strategy revolutionising the world's top corporations. Currency Publishers. 1ª ed., New York.

Montgomery, D. (2000). Introduction to statistical quality control. 4ª ed., Wiley - New York.

Rotondaro, R. G. (2002). Seis sigma:estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. Atlas – São Paulo-Brasil, 23-48.

Snee, R. D. (2001). Dealing with the Achilles' hell of six sigma initiatives, *Quality Progress*. March, 34, 3, 66-72

Werkema, C. (2004). Criando a Cultura Seis Sigma. Werkema Ed.

