

# Six sigma en logística: aplicación en el almacén de una unidad minera

FELIX ENRIQUE TINOCO ÁNGELES\*

RECIBIDO: 09/12/13 ACEPTADO: 16/12/13

## RESUMEN

El presente artículo trata sobre la aplicación de una herramienta moderna de administración total de la calidad: Six Sigma, en la logística de una empresa minera ubicada en la sierra central del Perú. Se detalla la aplicación de las cuatro primeras fases del ciclo DMAIC, habiéndose identificado las variables en las que la organización debe centrar sus esfuerzos para reducir el defecto definido inicialmente.

**Palabras clave:** Six Sigma, Ciclo DMAIC, logística, supply chain, administración total de la calidad

SIX SIGMA LOGISTICS: APPLICATION IN THE WAREHOUSE OF A MINING UNIT

## ABSTRACT

This article deals with the application of a modern tool total quality management: Six Sigma, logistics of a mining company located in the central highlands of Peru. The implementation of the first four phases of the DMAIC cycle is detailed, variables in which the organization should focus its efforts to reduce the defect been identified initially defined.

**Keywords:** Six Sigma, DMAIC cycle, logistics, supply chain, total quality management

## 1. INTRODUCCIÓN

La Administración Total de la Calidad requiere de un proceso constante, denominado mejoramiento continuo, donde la perfección nunca se logra pero siempre se busca. En economías con altos niveles de industrialización se utiliza la expresión cero defectos para describir los esfuerzos continuos de mejoramiento.

Una de las herramientas modernas usadas para la administración de la calidad es Six Sigma, que trata básicamente de reducir la variabilidad de los procesos haciéndolos estadísticamente más “capaces” y “confiables”, teniendo siempre como meta principal la satisfacción del cliente. La logística o su concepto más evolucionado, cadena de suministros, se orienta al correcto manejo de los recursos a lo largo del desarrollo de toda organización que garanticen la satisfacción del cliente.

Si se toma en cuenta que el fin de toda organización es obtener más clientes y mantener satisfechos a los que ya posee, es fundamental aplicar la metodología Six Sigma durante el desarrollo de todas las operaciones involucradas en la cadena de suministros, en la búsqueda de la mejora continua de todos los procesos, con énfasis en la satisfacción del cliente.

Las siglas “DMAIC” provienen de la terminología inglesa Define, Measure, Analyze, Improve, Check, que es la forma de definir e identificar la metodología Six Sigma y que en castellano equivaldría a “definir, medir, analizar, mejorar y comprobar”<sup>1</sup>. Los proyectos de mejora Six Sigma siguen de manera disciplinada dichas cinco etapas.

Al analizar las diversas clases de inventario se entiende porque la variación juega un rol importante en la manera de manejar los inventarios a lo largo de la cadena de suministros. Por ejemplo: los stocks de seguridad, son inventarios que brindan a la empresa protección frente a variaciones “desconocidas” del ritmo normal de sus operaciones (stock de seguridad en relación a la mala calidad de los productos de los proveedores, demandas no planificadas del mercado, demoras en la llegada de la mercadería, etc). Es decir, si se logra entender y controlar esas variaciones en la cadena de suministros (desde el proveedor hasta el cliente final), la organización será capaz de elevar la confiabilidad de sus procesos y reducir considerablemente los inventarios.

\* Ingeniero Industrial, egresado Maestría Logística Operaciones FII-UNMSM. E-mail: tinocofelix@gmail.com

1 Martin James (2007). Lean Six Sigma for Supply Chain, McGraw Hill.

## 2. APLICACIÓN EN ALMACÉN DE UNIDAD MINERA

La unidad minera en donde se realiza la investigación está ubicada en la sierra central del Perú, teniendo principalmente operaciones de recepción y despacho de concentrado de zinc. El concentrado es colocado en lozas especialmente acondicionadas para recibir este tipo de material. Al vender un concentrado minero los clientes toman en cuenta fundamentalmente tres variables:

- El peso seco del concentrado, el cual se mide en toneladas métricas (se debe tomar una muestra de la carga recibida para determinar su humedad).
- La calidad; es decir, la presencia de otros elementos en el concentrado, los que serán pagables o penalizables dependiendo del caso
- El precio, tomándose como punto de partida la cotización internacional del metal.

Debido a la alta cotización de los minerales, las mermas contabilizadas podrían llegar a general pérdidas millonarias no sólo a la empresa y a sus clientes, si no a toda la cadena productiva. Es por eso que el servicio de almacenaje debe garantizar que las toneladas métricas recepcionadas no presenten diferencias significativas con respecto a las toneladas métricas despachadas, es decir que la merma durante la estadía del concentrado en el almacén sea mínima.

### 2.1. Análisis de escenario inicial

Las operaciones realizadas en el almacén de concentrados son estratégicas, debido a que es el último punto de tránsito del material hasta su venta final. Se obtiene el porcentaje promedio de merma originada por las operaciones en el almacén de concentrados tomando como referencia el promedio de toneladas métricas secas (tms) almacenadas y el promedio de mermas de los años 2010 y 2011, obteniendo:

**Tabla 1.** Merma promedio mensual

| MERMA PROMEDIO MENSUAL (TMS)  |       |
|-------------------------------|-------|
| TMS promedio almacenadas      | 8,450 |
| Total de merma promedio (tms) | 11.57 |
| Porcentaje de merma           | 0.14% |

Fuente: Elaboración propia.

Si a esto se agrega el precio del zinc por tonelada se obtiene el total de pérdidas del periodo.

**Tabla 2.** Merma contabilizada en dólares

| MERMA EN US\$           |           |
|-------------------------|-----------|
| Precio Zinc U\$S / TM   | 2,125.50* |
| Merma promedio mensual  | 11.57     |
| US\$ de pérdida mensual | 24,592    |
| US\$ de pérdida anual   | 295,104   |

Fuente: Elaboración propia.

\* Cotización internacional del zinc al 29/02/2012

Con la información recabada, se procede a aplicar la metodología DMAIC de Six Sigma, teniendo como objetivo principal disminuir las pérdidas originadas durante el desarrollo de las operaciones de almacenaje y despacho en el almacén de concentrados de la unidad minera.

### 2.2. Descripción del proceso

El proceso se inicia con la instrucción u orden de almacenaje del concentrado minero por parte de la planta productora, donde se detalla el tonelaje y la cantidad de camiones a recibir. Los camiones ingresan al almacén donde se retiran los precintos colocados en la planta para luego pasar a la balanza, donde se realiza la primera pesada (peso de carga + peso de camión) realizada digitalmente por los operadores de balanza gracias a el uso del ERP SAP. Posteriormente el camión pasa al patio de operaciones donde realiza la descarga del concentrado que puede ser realizada de dos formas distintas: los camiones con sistema hidráulico realizan la descarga sin apoyo de equipo pesado y los camiones sin sistema hidráulico lo hacen con el apoyo de un cargado frontal y un brazo metálico denominado rastra.



**Figura 1.** Camión haciendo la descarga del concentrado en el patio de operaciones.

Luego se realiza una limpieza interior del camión para asegurar que todo el material se ha descargado. Una vez realizada la descarga total se toma una muestra del material descargado mediante el uso de una sonda con la que se extraen 30 kg aproximadamente para determinar la humedad del material. Es importante tomar en cuenta que el concentrado llega húmedo y el peso descargado incluye el peso del concentrado (tms) más un porcentaje de agua por lo que la muestra ayuda a determinar el grado de humedad del concentrado descargado y por ende el peso seco (tms) que se recibe. Finalmente, el camión ya descargado pasa por una segunda pesada (peso del camión sin carga) y por diferencia aritmética se obtiene el peso húmedo descargado en la loza (Ver Anexo A).

### 2.2.1 Fase Definir

Lo primero que se define son los requisitos claves del cliente para este servicio. Para el servicio de almacenaje de concentrados:

- Óptimas condiciones de almacenaje del concentrado de zinc
- Diferencias mínimas entre las tms recepcionadas y las tms despachadas

Posteriormente, en función de los requisitos claves del cliente, se listan las principales oportunidades de defecto a lo largo de todo el proceso:

- Toma de muestras incorrecta
- Mala homogenización de la muestra
- Determinación de pesos incorrectos en la recepción
- Determinación de pesos incorrectos en el despacho

De acuerdo a lo descrito líneas arriba, se define como defecto del proceso a la **merma en las operaciones de almacenaje de concentrados de zinc**; es decir, obtener menos toneladas métricas secas (tms) despachadas que las recepcionadas inicialmente.

### 2.2.2 Fase Medir

Debido a que ya se ha medido el porcentaje de merma promedio de la operación, se procede a medir el nivel sigma en el que se encuentra el proceso. Para esto se requiere, en primera instancia, calcular la cantidad de Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO) de la operación, que resulta de multiplicar el total de merma promedio

por un millón y dividirlo entre el producto del total de tms almacenadas (unidades trabajadas) por la cantidad de oportunidades de defecto. Luego se determina la probabilidad de falla de la operación dividiendo los defectos por millón de oportunidades entre un millón. Finalmente se calcula la inversa de la distribución normal de la probabilidad de falla y se le suma 1.5, obteniendo el nivel sigma.

Tabla 3. Cálculo del Nivel Sigma

| CÁLCULO DEL NIVEL SIGMA              |         |
|--------------------------------------|---------|
| TMS promedio almacenadas             | 8,450   |
| Oportunidades de defectos            | 4       |
| Total de merma promedio (tms)        | 11.57   |
| Defectos por Unidad                  | 0.14%   |
| Defectos por Millón de Oportunidades | 342.31  |
| Probabilidad de Falla                | 0.0342% |
| NIVEL SIGMA                          | 4.90    |

Fuente: Elaboración propia

El nivel sigma obtenido es 4.90, el cual es considerado alto, sin embargo no es el máximo alcanzable (6).

El siguiente paso dentro de la metodología DMAIC es determinar si el proceso es capaz, es decir si posee la habilidad, basada en rendimiento demostrado, de satisfacer los requerimientos del cliente. Para ello primero se efectúa un análisis de normalidad de los defectos por unidad (DPU) durante el último año, con el uso del software Minitab.

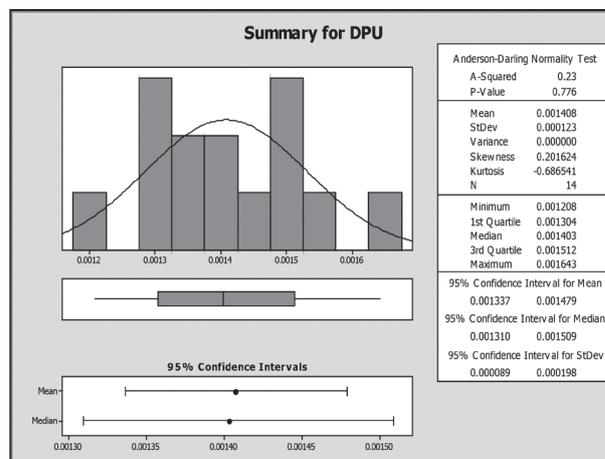


Figura 2. Análisis de normalidad de los DPU.

Fuente: Elaboración propia con soporte en Minitab.

El P-value obtenido fue de 0.776, mayor que 0.05, con lo cual se verificó que los datos siguen una distribución normal. En seguida se procedió a realizar la prueba de capacidad del proceso, teniendo en cuenta que un proceso es capaz de cumplir con las especificaciones cuando su dispersión es menor que la distancia entre especificaciones (límites superior e inferior).

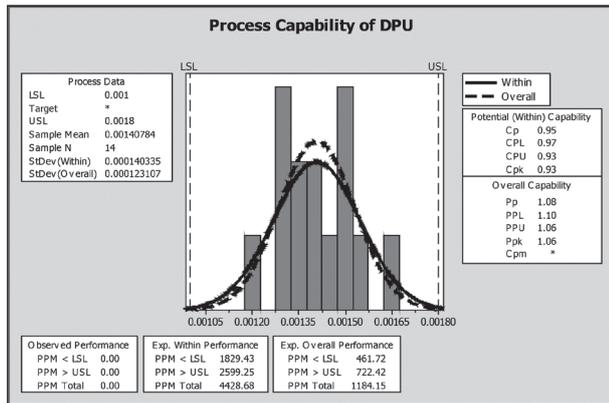


Figura 4. Análisis de capacidad.

Fuente: Elaboración propia con soporte en Minitab.

Con un Cp = 0.95 (muy cercano a 1) se afirma que el proceso es capaz y, por lo tanto, es pertinente acceder a la siguiente fase de la metodología.

**2.2.3 Fase Analizar**

En esta etapa se analizan las causas que originan el defecto, mediante una herramienta denominada Matriz de Análisis de Modo y Evaluación de Fallas (AMEF).

Esta matriz considera el indicador NPR (Nivel de prioridad del riesgo), resultado de multiplicar el nivel de Severidad de la falla (SEV), Ocurrencia de las fallas (OCC) y nivel de Detección de los controles establecidos (DET).

Si el NPR es mayor a 100 entonces se concluye que existen modos potenciales de falla que podrían ser una causa significativa del defecto definido.

Tabla 4. Matriz AMEF

| Pasos del Proceso                      | Modos Potenciales de Falla        | Efectos de Fallas Potenciales      | SEV | Causas Potenciales de Falla  | OCC | Controles de Proceso Actuales     | DET | NPR |
|--|-----------------------------------|------------------------------------|-----|--|-----|-----------------------------------|-----|-----|
| Primera pesada de unidad de transporte | Ingresar mal los datos al sistema | Data errada en el sistema          | 6   | Ingreso errado del peso (tmh)  | 1   | Control de peso digital           | 1   | 6   |
|  | Registrar mal el peso de la carga | Data errada en el sistema          | 6   | Descalibración de la balanza   | 1   | Calibración semestral de balanzas | 1   | 6   |
| Descarga de unidades de transporte     | Polución excesiva                 | Descarga incorrecta                | 6   | Mala práctica operativa de los choferes u operarios de equipo pesado | 2   | Supervisión                       | 1   | 12  |
|  |                                   | Exceso de uso de maquinaria pesada | 5   | Camión sin sistema de descarga hidráulica                            | 4   | Sin control                       | 8   | 160 |
|  |                                   | Pérdida de material                | 7   |  | 4   | Sin control                       | 8   | 224 |

|   |  |   |                    |  |                                    |                                   |            |            |
|---|--|---|--------------------|--|------------------------------------|-----------------------------------|------------|------------|
| <b>Segunda pesada de unidad de transporte</b> | Ingresar mal los datos al sistema      | Data errada en el sistema                               | 6                  | Ingreso errado del peso (tmh)                          | 1                                  | Control de peso digital           | 1          | <b>6</b>   |
|   | Registrar mal el peso de la carga      | Data errada en el sistema                               | 6                  | Descalibración de la balanza                           | 1                                  | Calibración semestral de balanzas | 1          | <b>6</b>   |
| <b>Toma de Muestra</b>                        | Toma de muestra contaminada            | Muestra contaminada                                     | 7                  | Herramientas con residuos de otro material             | 4                                  | Check List de Sonda               | 2          | <b>56</b>  |
|   |  |   | 7                  | Herramientas con señales de oxidación                  | 4                                  | Check List de Sonda               | 2          | <b>56</b>  |
|   |  |   | 7                  | Personal no capacitado en la selección de herramientas | 4                                  | Charlas de inducción              | 5          | <b>140</b> |
|   | Toma de muestra no representativa      | Muestra no representativa                               | 8                  | Toma de muestra en puntos no representativos           | 5                                  | Supervisión                       | 3          | <b>120</b> |
|   |  |   | 8                  | Personal no capacitado correctamente                   | 5                                  | Supervisión                       | 3          | <b>120</b> |
|   | Mal traslado de muestra al laboratorio | Reproceso de toma de muestra                            | 8                  | Caída de balde en la loza                              | 2                                  | Supervisión                       | 2          | <b>32</b>  |
|   |  |   | 8                  | Ruptura de balde                                       | 2                                  | Supervisión                       | 2          | <b>32</b>  |
|   |  | Reproceso de toma de muestra                            | 8                  | Ruptura del sello de balde                             | 2                                  | Supervisión                       | 2          | <b>32</b>  |
|   | <b>Homogenización de la muestra</b>    | Mesa de acero contaminada con residuos de otro material | Muestra defectuosa | 8  | Mesa con residuos de otro material | 4                                 | Check List | 2          |
| 8   |  |   |                    | Mesa con señales de oxidación                          | 4                                  | Check List                        | 2          | <b>64</b>  |
| Error en la reducción de la muestra           |  | Muestra defectuosa                                      | 5                  | Exceso de Muestra                                      | 5                                  | No hay Control                    | 6          | 150        |
|   |  |   | 5                  | Menos muestra  | 5                                  | No hay Control                    | 6          | 150        |

Fuente: Elaboración propia,

El análisis de la Tabla 4, permite listar las variables que podrían ser una causa significativa de los defectos:

1. Capacitación del personal
2. Rotación del personal
3. Uso de camiones sin sistema hidráulico
4. Tipo de metodología de muestreo
5. Mantenimiento del equipo pesado
6. Horas extras realizadas por el personal



De las seis variables analizadas sólo resultaron significativas las 4 primeras (capacitación del personal, rotación del personal, uso de camiones sin sistema hidráulico y tipo de metodología de muestreo) em tanto los p-values fueron menores que 0.05.

### 3. CONCLUSIONES:

1. La variable **Capacitación de personal** es altamente correlativa e inversamente proporcional a la variable % Merma de TMS, es decir: un mayor porcentaje de capacitación de personal influirá significativamente en la reducción de la merma.
2. La variable **Rotación de personal** es medianamente correlativa y directamente proporcional a la variable % Merma de TMS, es decir: un menor porcentaje de rotación de personal influirá significativamente en la reducción de la merma.
3. La variable **Uso de camiones con sistema hidráulico** es altamente correlativa e inversamente proporcional a la variable % Merma de TMS, es decir: un mayor porcentaje de camiones con sistema hidráulico influirá significativamente en la reducción de la merma.
4. La variable **Tipo de muestreo** es medianamente correlativa y directamente proporcional a la variable % Merma de TMS, es decir: un menor porcentaje de operaciones con muestreo distinto al normalmente usado influirá significativamente en la reducción de la merma.

### 4. CONSIDERACIONES FINALES

Seis Sigma se viene aplicando desde sus inicios y con gran éxito a la racionalización de multitud de procesos que tienen que ver con cuestiones de tipo logístico. Las herramientas que incorpora son especialmente apropiadas para la medida, el análisis y la mejora de este aspecto crucial de la gestión industrial.

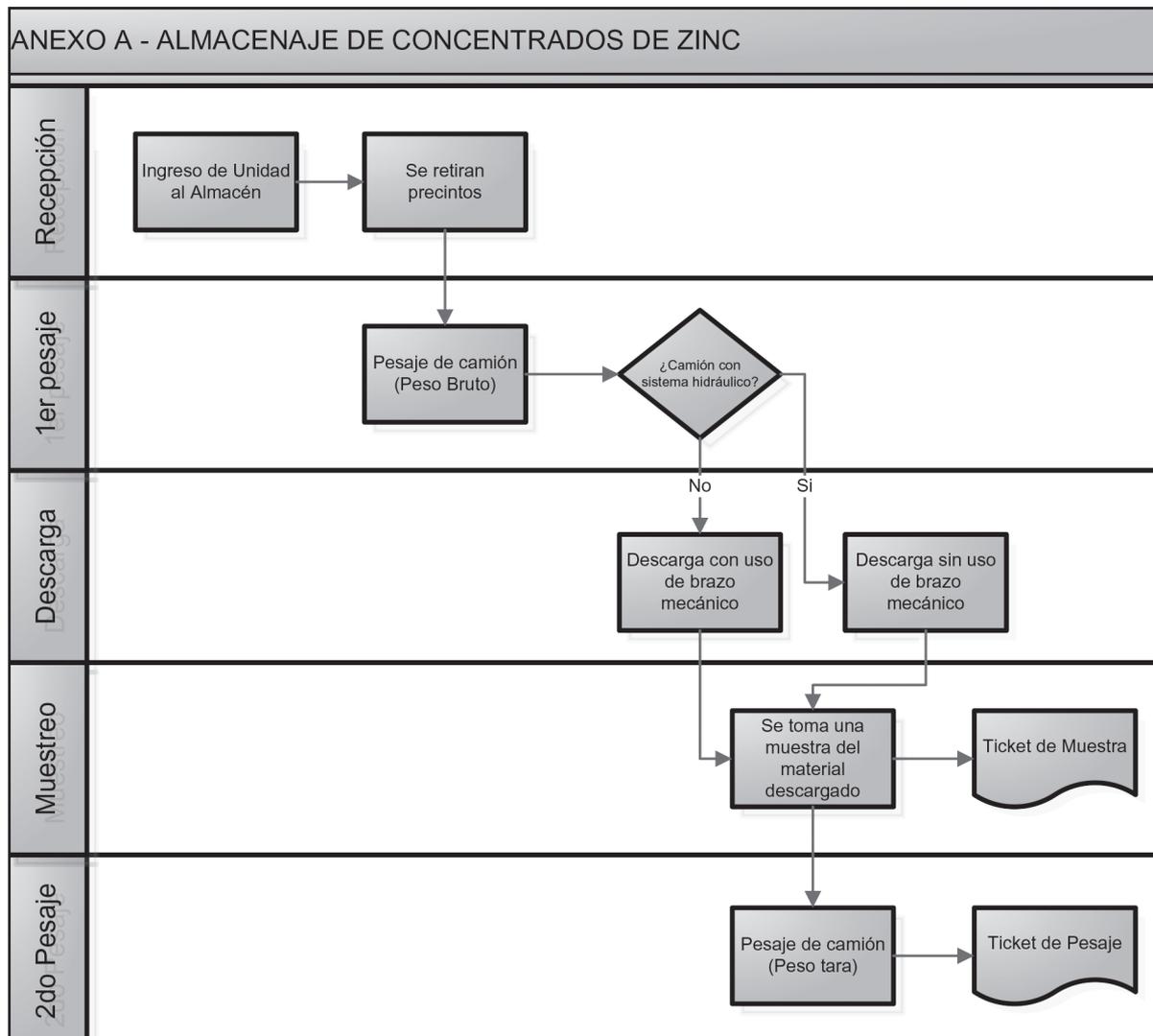
La aplicación reportada en el artículo sólo abarca las 4 primeras fases del ciclo DMAIC debido a que la última fase (Control) es realizada una vez que se han aplicado mejoras significativas al proceso y se ha comprobado estadísticamente que estas han incrementado el nivel Sigma del proceso, en el artículo sólo se muestran las variables en las que se deben centrar los esfuerzos de la organización para lograr reducir el defecto definido inicialmente.

Tener presente que el ciclo DMAIC debe repetirse periódicamente, es decir se deben volver a revisar los requerimientos claves del cliente, las nuevas fallas o potenciales fallas del proceso, las posibles causas de los defectos y su correlación con el defecto definido y principalmente monitorear el nivel Sigma en el que se encuentra el proceso. Esto será un buen indicador para conocer y reducir la variabilidad de los procesos, ya que un proceso con poca variabilidad será un proceso sostenible a largo plazo.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] GOLDSBY & MARTICHENKO (2005). Lean Six Sigma Logistics, J.Ross Publishing.
- [2] MARTIN JAMES (2007). Lean Six Sigma for Supply Chain. McGraw-Hill.
- [3] <http://es.wikipedia.org>

ANEXO A – DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO



Fuente: Elaboración propia.