

# Aplicación de Seis Sigma en una empresa productora de Cemento

## Application of six sigma in Cement manufacturer

Tomas Fontalvo Herrera<sup>1</sup>

*1 Docente de tiempo completo en la Universidad de Cartagena, adscrito a la Facultad de Ciencias Económicas en el programa de Administración Industrial. Dirección Piedra de Bolívar. Avenida del Consulado Calle 30 No. 48-152. Apartado Aéreo No. 1382. Telefax 6754457. Cartagena, Colombia.*

Recibido: Abril 28 de 2011  
Aceptado: Mayo 20 de 2011

### RESUMEN

En este artículo de investigación se presentan los resultados obtenidos en la evaluación de las no conformidades en el proceso de seguridad industrial y salud ocupacional SIHSO, en una empresa Productora de Cemento; en primera instancia se hace una revisión de los sistemas de seguridad industrial y salud ocupacional y de la metodología seis sigma, mostrando los resultados en la medición de variables asociadas a los procesos SIHSO de la empresa, mediante una descripción de la éstos, para lo cual se utilizó un amplio conjunto de herramientas tanto gráficas como estadísticas para llegar a determinar y analizar los problemas que afectan a los procesos. Este estudio desbordó la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos ya que estableció y explicó las relaciones causalmente funcionales que existen entre las variables SIHSO estudiadas.

**Palabras clave:** seguridad industrial, salud ocupacional, SIHSO, Seis Sigma, método analítico, método inductivo.

### ABSTRACT

In this research paper presents the results obtained in the evaluation of non-conformities in the process of industrial safety and occupational health SIHSO, the producer of asphalt, in the first instance is a review of industrial security systems and health occupational and six sigma methodology, showing the results in the measurement of variables associated with SIHSO processes of company by means of a description of these, for which an ample graphical set of tools was used as much statistical to arrive to determine and to analyze the possible problems that affect the processes. This study overflowed the description of concepts or phenomena or the establishment of relations between concepts since it causal established and it explained the functional relations that exist between studied variables SIHSO.

**Key words:** industrial safety, occupational health, SIHSO, six sigma, analytical method inductive method.

## 1. Introducción

En este artículo se presenta la conceptualización y las herramientas que permiten la realización de la evaluación de las no conformidades en el proceso de seguridad industrial y la salud ocupacional (SIHSO), en una empresa Productora de Cemento.

Para el desarrollo de esta investigación se recopiló información de los sistemas de seguridad industrial, salud ocupacional y la metodología seis sigmas.

El procedimiento de la herramienta de la metodología seis sigma consiste en la medición de variables asociadas a los procesos SIHSO de la empresa, mediante la utilización de sistemas de

medición como lo son la métrica seis sigma, las cuales ayudan a conocer detalladamente la situación y a buscar las causas raíces del problema.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Sistema de seguridad industrial y salud ocupacional y la metodología seis sigma

En este artículo se presenta el diseño de un programa de Seis Sigma, el cual se aplicó a procesos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional (SIHSO) en una empresa Productora de Cemento. Seis Sigma ha sido aplicado regularmente a la mejora de procesos productivos u otros procesos misionales, lo que hace innovador

esta investigación orientada a la aplicación de esta metodología a procesos SIHSO, sin embargo se reitera la importancia de este artículo en que el área de SIHSO presenta falencias en la compañía en estudio, al igual que otros procesos que se han estudiado con Seis Sigma, entonces es así como es viable la aplicación de esta metodología.

Los procesos SIHSO también se pueden medir, se pueden analizar, mejorar y controlar. Así que a partir de este apartado se definieron variables y como se diseñó el programa de Seis Sigma.

## 2.2. Salud ocupacional y seguridad industrial

La seguridad industrial y salud ocupacionales son condiciones y factores que afectan el bienestar de los empleados, trabajadores temporales, contratistas, visitantes y cualquier otra persona en el sitio de trabajo, ICONTEC (2007). Se trata de dos aspectos que adquieren importancia de primer nivel ante la integridad de todos y cada uno de los trabajadores de cualquier empresa ya sea en su lugar de trabajo, de descanso, y en todas las áreas de la compañía.

En este orden de ideas la seguridad ejerce influencia benéfica sobre el personal, y los elementos físicos, en consecuencia también sobre los resultados humanos y rentables que produce su aplicación. Sin embargo, sus objetivos básicos y elementales son Ramírez (1986):

- Evitar la lesión y muerte por accidente. Cuando ocurre un accidente hay una pérdida de potencial humano y con ello una disminución de la productividad.
- Reducción de los costos operativos de producción. De esta manera se incide en la minimización de costos y la maximización de beneficios.
- Mejorar la imagen de la empresa y, por ende, la seguridad del trabajador que así da un mayor rendimiento en el trabajo.

- Contar con un sistema estadístico que permita detectar el avance o disminución de los accidentes, y las causas de los mismos.
- Contar con los medios necesarios para montar un plan de seguridad que permita la empresa desarrollar las medidas básicas de seguridad e higiene, contar con sus propios índices de frecuencia y de gravedad, determinar los costos e inversiones.

Todos estos aspectos inciden en la productividad de la organización, llegando así a definir que, para cualquier acto productivo elemental se realice con la máxima productividad es necesario que el sistema de trabajo empleado tienda a estas condiciones: ser el más sencillo y rápido, el menos fatigoso y costoso y el más seguro, Rodellar (1999). Es así como las compañías desde la más pequeña hasta la más grande deben promover al buen estado de salud e integridad de sus trabajadores, creando un mejor ambiente de trabajo, adecuando el lugar de trabajo a cada persona, con buenas y claras señalizaciones que eviten accidentes, capacitaciones en manejo de riesgos y trabajo seguro, entre otras herramientas que evitarán errores en un futuro y mejorarán directamente la productividad y por ende las ganancias de la empresa.

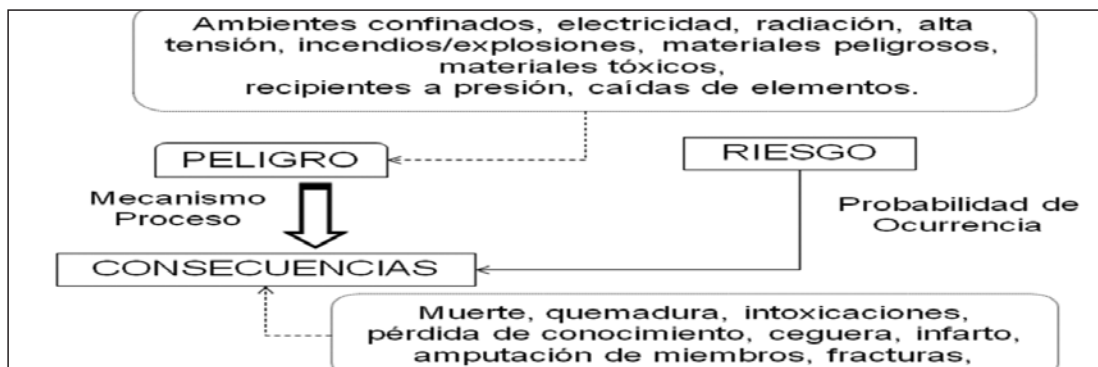
Para efectos de esta investigación se necesita tener una visión de los procesos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional que se desarrollan en una empresa, un ejemplo muy claro es la Figura 1.

Este cuadro ilustra la situación que se vive en las empresas hoy en día; que los ambientes confinados, materiales tóxicos entre otros generan un peligro que a su vez representan un riesgo en la empresa que si se materializan en el proceso traen consecuencias graves.

Las definiciones de estos términos ayudarán a entender y comprender mejor el tema de Seguridad Industrial Y Salud ocupacional:

- **Riesgo:** probabilidad de ocurrencia de un evento de características negativas, ICONTEC (1997).

Figura 1. Variables de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional



Fuente: Producción del autor

- **Factor de riesgo:** es todo elemento cuya presencia o modificación, aumenta la probabilidad de producir un daño a quien está expuesto a él.
- **Peligro:** es la expresión de la materialización construida de la observación directa de los riesgos.
- **Accidente:** evento no deseado que da lugar a muerte, enfermedad, lesión, daño u otra pérdida, ICONTEC (2007).
- **Enfermedad profesional:** identificación de una condición física o mental adversa actual y/o empeorada por una actividad del trabajo y/o una situación relacionada.
- **Incidente:** evento que generó un accidente o que tuvo el potencial para llegar a ser un accidente.

Ahora bien, se tiene claro los conceptos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, pero que significa Seis Sigma, ¿en qué consiste la metodología?, a continuación la explicación clara y breve de la metodología que se utilizó en el artículo.

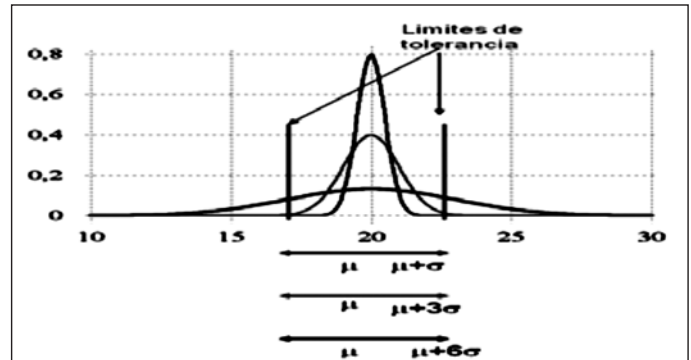
### 2.3. Seis sigma (6s)

El término Seis Sigma hace referencia al objetivo de reducir los defectos hasta casi cero. Sigma es la letra griega que los estadísticos utilizan para representar la desviación estándar de una población. La desviación estándar nos muestra cuanta variabilidad hay en un grupo de elementos. El propósito de Seis sigma es reducir la variación para conseguir desviaciones estándar muy pequeñas, de manera que prácticamente la totalidad de sus productos o servicios cumplan, o excedan, las expectativas de los clientes; es llevar los procesos a un rendimiento eficiente en un 99.99966% con solo 3.4 posibles defectos entre mil posibilidades.

Una de las ventajas del Seis Sigma es que convierte la confusión típica de la desviación en una clara medida del éxito. Un producto o servicio cumple o no cumple con los requisitos del cliente, y cualquier cosa que no cumpla los requisitos del cliente se denomina defecto. Se puede definir y medir los requisitos del cliente, entonces puede calcular tanto el número de defectos en su proceso y en el resultado como el rendimiento del proceso, es decir el porcentaje de productos buenos; sin defectos, Pande, P., Neuman, R., Cavanaugh, R., (2004). En la figura 2 se visualiza más claramente la definición de Seis Sigma:

La escala de calidad de la metodología Seis Sigma mide el n° de sigmas que caben dentro del intervalo definido por los límites de tolerancia. Un proceso Seis Sigma debe estar siempre dentro de los límites de tolerancia. Y la curva debe responder a un nivel 6s, en la siguiente tabla se encuentran los niveles diferentes niveles sigma:

Figura 2. Gráfica 6s.



Fuente: Producción del autor

Tabla 1. Niveles Seis Sigma

| Nivel   | DMPO (Defectos en partes por millón) | % de precisión          |
|---------|--------------------------------------|-------------------------|
| 1 sigma | 691.462                              | 30,85% de eficiencia    |
| 2 sigma | 308.538                              | 69,15% de eficiencia    |
| 3 sigma | 66.807                               | 93,32% de eficiencia    |
| 4 sigma | 6.210                                | 99,38% de eficiencia    |
| 5 sigma | 233                                  | 99,977% de eficiencia   |
| 6 sigma | 3,4                                  | 99,99966% de eficiencia |

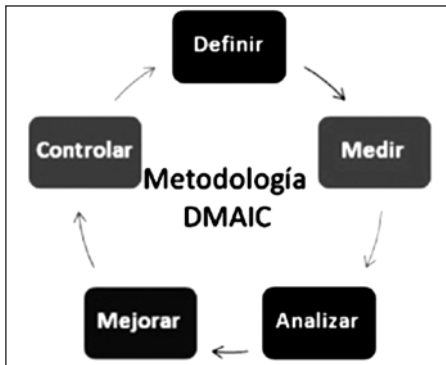
Fuente: Producción del autor

### 2.4. Metodología Seis Sigma

Seis Sigma es una metodología de mejora que permite incorporar un enfoque sistemático de reducción de defectos en los procesos SIHSO, para lo cual se hizo uso de un amplio conjunto de herramientas tanto gráficas como estadísticas para determinar y analizar los posibles problemas que afectan a los procesos en estudio y cuya variabilidad se requiere reducir, Montaner, M (2011). Dichas herramientas son utilizadas para alcanzar el objetivo Seis Sigma, el cual es alcanzar un proceso con una tasa de fallos mínima (3,4 defectos por millón), lo cual significa querer llegar a un grado de perfección.

Esta meta se alcanza aplicando el ciclo DMAMC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar), etapas de un programa de Seis Sigma y que han sido aplicadas en este artículo:

Figura 3. Proceso DMAMC.



Fuente: Las claves prácticas de Seis Sigma, 2ª edición, P. Pande, R. Neuman, y R. Cavanagh.

- **Definir:** En esta etapa se definió en detalle cuales son los elementos que conforman el artículo, es decir un diagnóstico de la situación actual del área SIHSO y esto nos ayudó a definir el problema y el objetivo a alcanzar, identificar a los clientes del proceso que se está estudiando, definir los requisitos de esos clientes y redactar un plan sobre cómo se completará el artículo. Se hizo uso de dos herramientas; el QFD y el Análisis SIPOC.
- **Medir:** En esta etapa se identificaron las variables que regulan el proceso. A partir de esta caracterización, se define el método para recoger datos sobre el funcionamiento actual del proceso, y a si mismo determinar las métricas que serán utilizadas para medir su funcionamiento. Las métricas utilizadas fueron el DPMO (defectos en partes por millón), y evaluación del desempeño, cuyas fórmulas son las siguientes Gutiérrez, P. (2002):

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000 \quad (1)$$

DPMO: Cantidad de defectos por millón de oportunidades

U: Cantidad de unidades críticas revisadas de calidad de la organización

O: Oportunidad de error por unidad

T: Total de defectos factibles

n: Número de no conformidades o fallas presentes en el proceso

Luego, se calculó la fórmula de rendimiento, que en el caso de esta investigación se aplicó por año:

$$\text{Rendimiento} = 1 - \left( \frac{\# \text{ de unidades defectuosas}}{\# \text{ de unidades de entrada}} \right) \quad (2)$$

- **Analizar:** Esta es una etapa crítica en el desarrollo del artículo Seis Sigma en los procesos SIHSO, ya que se identificaron las causas vitales de variación de este proceso. Esto a través del análisis primero de los datos y luego de los procesos, para así encontrar patrones y tendencias que puedan rechazar o aceptar teorías. Por tanto se acudió a herramientas estadísticas avanzadas como lo son gráficos de tendencia y de frecuencia y diagrama de causa y efecto – espina de pescado o diagrama de Ishikawa.
- **Mejorar:** En este paso se requirieron un gran número de ideas de solución, ideas creativas, a través de lluvia de ideas que nos permitieron ver el problema de SIHSO de forma diferente y que puede tener no solo una sino varias soluciones. Para esto se utilizó técnicas de creatividad avanzada y técnicas “rompe-reglas” para desarrollar ideas que incluyan cambios en los procesos. Algunas de estas herramientas utilizadas son: matriz de impacto esfuerzo, matriz de criterios, y AMFE.
- **Controlar:** Cuando hablamos de controlar nos referimos mantener el proceso SIHSO para que funcione de forma estable, predecible y que cumple los requisitos de cliente. En esta etapa se diseñan cuadros de gestión por procesos críticos para monitorizar el proceso SIHSO en la organización y su objetivo es mantener el proceso en continuo funcionamiento.

Es así como la metodología Seis Sigma se convierte en un método eficaz, eficiente y efectivo para la mejora de procesos. Este sistema posee una serie de características las cuales se hacen necesarias al momento de pensar en alcanzar el nivel Seis Sigma en los procesos de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional. Estas son llamadas los principios básicos del Seis Sigma, enfoque genuino en el cliente, dirección basada en datos y hechos, orientación a procesos, gestión por procesos y mejora por procesos, dirección proactiva, colaboración sin barreras, busque la perfección.

Por consiguiente, la consecución de estos principios en el estudio Seis Sigma de uno de los procesos claves en empresa productora de Cemento es realmente importante. Estos principios le dieron vida al artículo, ya que inyectó al equipo energías para seguir adelante, pero sobre todo marcó un horizonte que seguir en búsqueda de la perfección.

En fin, este importante conocer la metodología antes de implementarla, conocer su objetivo, sus principios, sus etapas y especificaciones, pero saber esto no basta, es necesario conocer el proceso donde se va a aplicar al metodología, en este caso es un proceso productivo; el proceso de producción de mezcla asfáltica.

En este estudio se especificó este proceso desde principio a fin, pasando por cada etapa, los materiales utilizados, y el método

para la producción de la mezcla. Además fue necesario también conocer que actividades acerca de Seguridad Industrial y Salud Ocupacional relacionan en la caracterización de sus procesos.

### 3. Metodología

Este artículo es de tipo descriptivo, de esta forma la investigación contiene la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual de los procesos SIHSO en una empresa Productora de Cemento, y la composición de los fenómenos dados. El enfoque se hace sobre los comportamientos de estos fenómenos en su realidad actual.

En este estudio se mide y evalúa diversos aspectos, dimensiones o componentes del fenómeno SIHSO. Como desde el punto de vista científico, describir es medir por ello se selecciona una serie de cuestiones y se mide cada una de ellas independientemente para así describir lo que se investiga Sampier (1991).

Este estudio es de igual forma explicativo; los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; están dirigidos a responder a las causas de los eventos físicos o sociales.

Se utilizó este tipo de investigación puesto que se descubrió, estableció y explicó las relaciones causalmente funcionales que existen entre las variables SIHSO estudiadas, y cómo, cuándo, dónde y por qué ocurre el fenómeno en estudio. A través de esta metodología se logró establecer las razones por las cuales se están diagnosticando no conformidades dentro del sistema SIHSO en una empresa Productora de Cemento; es decir que situaciones se están dando que impiden que el sistema de Gestión Integrado se implemente de la mejor forma.

#### 3.1. Los métodos de investigación utilizados en este estudio fueron:

El método analítico, porque se tomo partes del sistema SIHSO de empresa productora de Cemento, para estudiarlas y examinarlas juntas y por separado y así establecer qué tanto se cumplen las normas establecidas en estos manuales de la compañía, y encontrar las posibles causas a los problemas.

El método inductivo, porque a través de la identificación individual de las realidades de los trabajadores, se llegó a una conclusión general del clima organizacional en cada dependencia y a nivel general.

### 4. Análisis y discusión de resultados

#### 4.1. Medición de variables asociadas a los procesos SIHSO de empresa productora de Cemento

En esta etapa de medición se clarificó el problema a través de herramientas de medición, las cuales ayudaron a conocer detalladamente la situación y a buscar las causas raíces del problema.

Estas herramientas de medición fueron aplicadas a los puntos críticos del proceso los cuales son las métricas del Seis Sigma, entre estas se calcularon los defectos en partes por millón de oportunidades del proceso (DPMO), y el rendimiento del proceso.

#### 4.2. Métrica seis sigma para tributos (dpmo)

DPMO (Defectos por millón de oportunidades):

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000 \quad (3)$$

Definición de variables:

n: accidentes e incidentes por año

U: grado de exposición al riesgo (Nº de trabajadores\*días trabajados al mes\*meses trabajados al año)

O: condiciones inseguras de trabajo por parte críticas del proceso identificadas.

Esta es la ecuación que se utilizó para calcular los defectos en un millón de oportunidades de la planta de Cemento exactamente en las partes críticas del proceso Luego a partir de estos datos se buscó el valor del nivel sigma para cada año.

Para el desarrollo de esta ecuación fue necesario saber cuántos y cuáles fueron los accidentes e incidentes que se dieron en el transcurso de los años 2008, 2009 y 2010; información suministrada por la administración de Empresa productora de Cemento. No obstante, para remplazar el valor de n en la fórmula, para lo cual solo se tomó del siguiente listado los accidentes e incidentes ocurridos en las partes críticas del proceso, los cuales están resaltados en la tabla:



**Tabla 2.** Accidentes e incidentes 2008 – 2010

|                 | No | Lugar                | I | A | Descripción   |
|-----------------|----|----------------------|---|---|---|
| 2008            | 1  | Trituradora          |   | x | Atasco de mano y fractura de dedo al tratar de desatascar una piedra en la trituradora.   |
|                 | 2  | Planta               | x |   | Caída en las instalaciones de la planta al resbalarse causando dolor fuerte en espalda.   |
| <b>Total: 2</b> |    |                      |   |   |   |
| 2009            | 1  | Trituradora          | x |   | Golpe en costilla y brazo al resbalarse durante la reparación de la trituradora   |
|                 | 2  | Tolva de trituradora |   | x | Fractura en dedo de la mano derecha durante la remoción de piedras en la tolva  |
|                 | 3  | Báscula              | x |   | Golpe al caer en báscula luego de ir a buscar unas llaves en el despacho de la báscula  |
|                 | 4  | Trituradora          |   | x | Lesión en codo, al tratar de desatorar la trituradora, la piedra atascada salió y repicó en el codo del trabajador.                             |
| <b>Total: 4</b> |    |                      |   |   |   |
| 2010            | 1  | Almacén              |   | x | Herida en dedo, almacenando tierra y otros elementos se encontró con un obstáculo afilado el cual le causo el pinchazo.                         |
|                 | 2  | Caldera              |   | x | Quemaduras en rostro causadas durante una explosión provocada por una fuga de gas durante la instalación de la caldera.                         |
|                 | 3  | Planta               |   | x | Lesión en rodilla causada durante un recorrido por la planta; el trabajador no pisó bien y se resbaló.  |
|                 | 4  | Trituradora          |   | x | Fractura en brazo de trabajador al tropezar con unas piedras atascadas en esta máquina, causando su caída y la doblez del brazo, fracturándolo. |
|                 | 5  | Planta               |   | x | Irritación de ojos causada por una cantidad de polvo presentada en el área durante las labores en la planta.                                    |

Fuente: Producción del autor

De acuerdo a lo anterior, de 2008 a 2010 se generaron accidentes solo en 2 de los 5 puntos críticos; la trituradora y el almacén; es decir, en estos dos puntos es donde se desarrollarán las ecuaciones de las métricas.

De igual forma, para el desarrollo de la fórmula se hizo necesario saber cuáles son las condiciones inseguras de trabajo, para lo cual, durante visitas a las instalaciones de la planta de Cemento y por observación directa se identificaron tales condiciones por partes críticas del proceso, las cuales son (Tabla 3):

Las celdas que están resaltadas son las condiciones inseguras de la trituradora y almacén, las cuales fueron utilizadas para el desarrollo de las fórmulas. Las otras condiciones inseguras de igual forma son de los puntos críticos identificados, pero como en los años en estudio no se dieron accidentes e incidentes en estos puntos, no son tomados en cuenta.

Es así como, los datos utilizados en el desarrollo de la fórmula fueron tomados de los años estudiados. En el caso de n (accidentes e incidentes) y O (condiciones inseguras de trabajo), solo se tomaron aquellos que se dieron en las partes críticas identificadas del proceso, a las cuales se les aplicó la fórmula, es decir, a la trituradora y el almacén. Para el cálculo de U, se tomaron 7 de los trabajadores de la planta, ya que es este número el que está expuesto a los dos puntos críticos en estudio; todos siete trabajadores en algún momento de sus labores requieren usar

**Tabla 3.** Condiciones inseguras de trabajo

| Partes críticas del proceso | No. | Condición insegura   |
|-----------------------------|-----|--|
| 1. Almacén                  | 1   | - Mal uso de los EPP (Elementos de protección personal)  |
|                             | 2   | - Presencia de polvos  |
|                             | 3   | - No hay señalización de lugares peligrosos  |
|                             | 4   | - Mal distribución de espacios   |
| 2. Trituradora              | 1   | - No hay señalización en zonas de riesgo de la máquina y sus alrededores                         |
|                             | 2   | - Pisos en mal estado  |
|                             | 3   | - Presencia de polvos  |
|                             | 4   | - Ruido  |
|                             | 5   | - Vibraciones  |
|                             | 6   | - Máquinas oxidadas  |
|                             | 7   | - Mal uso de los EPP (Elementos de protección personal)  |
|                             | 8   | - Aguas estancadas (Humedad relativa)  |
|                             | 9   | - Presencia de microorganismos   |
| 3. Zaranda                  | 1   | - Pisos en mal estado  |
|                             | 2   | - Presencia de polvos  |
|                             | 3   | - No hay señalización en zonas de riesgo de la máquina y sus alrededores                         |
|                             | 4   | - No uso de los EPP  |
| 4. Banda transportadora     | 1   | - Presencia de polvos  |
|                             | 2   | - Estado de la banda (por atascamientos hay posibilidades de golpes al momento de la reparación) |
|                             | 3   | - No uso de los EPP  |
| 5. Mixer Droom              | 1   | - No uso de los EPP  |
|                             | 2   | - Cambios bruscos temperatura  |
|                             | 3   | - Herramientas inadecuadas (al encender la mecha del mixer)                                      |

Fuente: Producción del autor.

estos dos puntos. Por esto se toma este número de trabajadores para el desarrollo de la fórmula DPMO, así como también los 24 días hábiles del mes y los 12 meses del año, que trabaja la planta.

En efecto, la aplicación de la fórmula da como resultado el valor del DPMO, con este resultado se halló la equivalencia en niveles sigma y a su vez el rendimiento en función del nivel sigma correspondiente.

A continuación el desarrollo de la fórmula para la trituradora y para el almacén, en ambos puntos, se realiza el cálculo para cada punto en los años 2008, 2009 y 2010:

### DPMO en Trituradora

Año 2008: En el año 2008, se presentaron 2 eventos; un incidente en planta y un accidente en la trituradora, solo se tomó el de la trituradora, ya que esta es la identificada como punto crítico del proceso.

Datos:

$n = 1$  (número de accidentes en la trituradora en el año 2008).

$U = 7$  operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

$O = 9$  (número total de condiciones inseguras de trabajo en la trituradora).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{1}{2.016 \times 9} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{1}{18144} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 5,51146E-05 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 55,1146$$

Este resultado indica que para el 2008 existió la probabilidad que dentro de un millón de oportunidades de error o de accidentes e incidentes fueran efectivos 55,1146 en la trituradora. Con este resultado también se concluye que el nivel sigma para el año 2008 fue de 3.1 sigma, es decir el proceso tuvo un rendimiento de 94.5%.

Año 2009: En el año 2009, se presentaron 4 eventos, 2 accidentes en la trituradora y 2 incidentes; uno en la trituradora y otro en la báscula. Para la aplicación de la fórmula se tomaron los 2 accidentes y el incidente de la trituradora, es decir,  $n=3$ .

Datos:

$n = 3$  (número de accidentes e incidentes en la trituradora en el año 2009).

$U = 7$  operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

$O = 9$  (número total de condiciones inseguras de trabajo en la trituradora).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{3}{2.016 \times 9} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{3}{18144} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 0.00016534 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 165,3439$$

Este resultado indica que dentro de un millón de oportunidades de error, 165, 3439 fueron potencialmente los que pudieron suceder durante el 2009 en la trituradora. Efectivamente se dieron 2 accidentes y 1 incidente de trabajo en este punto, pero las oportunidades para que se dieran siguen siendo altas. El nivel sigma para 2009 fue de 2.5 sigma, quiere decir que de un rendimiento de 94.5% en 2008 pasó a 84.1%, lo que quiere decir que disminuyó en 10.4%.

Año 2010: En el año 2010, se presentaron 7 eventos; 6 accidentes y 1 incidente. Pero como se está analizando el punto crítico de la trituradora, solo se tomaron los presentados allí, es decir, 1 accidente.

Datos:

$n = 1$  (número de accidentes en la trituradora en el año 2010).

$U = 7$  operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

$O = 9$  (número total de condiciones inseguras de trabajo en la trituradora).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{1}{2.016 \times 9} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{1}{18144} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 5,51146E-05 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 55,1146$$

Durante 2010 se generó solo un 1 accidente en trituradora, pero la probabilidad de suceso de accidentes dentro de un millón de oportunidades fue de 55,1146, lo que lleva a decir que el rendimiento del proceso en este año fue de 94.5%, con un nivel sigma de 3.1. Lo que indica que la probabilidad de ocurrencia de accidentes e

incidentes disminuyó volviendo al estado que se encontraba en 2008; en cierto modo mejoró, pero siguen ocurriendo accidentes y la probabilidad de ocurrencia sigue siendo alta.

### DPMO en Almacén

Año 2008: En el año 2008, se presentaron 2 eventos, pero ninguno de estos fue en el área de almacén, por lo tanto en este caso n es igual a cero.

Datos:

n = 0 (número de accidentes e incidentes en el almacén en el año 2008).

U = 7 operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

O = 4 (número total de condiciones inseguras de trabajo en el almacén).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{0}{2.016 \times 4} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{0}{8064} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 0 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 0$$

En realidad, este resultado es muy bueno, debido a que no se presentaron incidentes ni accidentes en el área de almacén durante el 2008, lo que indica que la probabilidad de ocurrencia de accidentes e incidentes para ese año fue cero, con un nivel sigma de 6 y el rendimiento del 100%, lo que es perfecto en términos sigma. Ahora bien, seguramente en este año los controles en esta área fueron muy bien aplicados y más efectivos.

Año 2009: En el año 2009, se presentaron 4 eventos, pero al igual que el año 2008 ninguno de estos fue en el área de almacén, por lo tanto la n sigue siendo igual a cero.

Datos:

n = 0 (número de accidentes e incidentes en el almacén en el año 2009).

U = 7 operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

O = 4 (número total de condiciones inseguras de trabajo en el almacén).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{0}{2.016 \times 4} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{0}{8064} \times 1.000.000$$

$$DPMO = 0 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 0$$

Es evidente, que durante 2008 y 2009 el área de almacén tuvo probabilidades nulas de existencia o presencia de accidentes e incidentes de trabajo, se mantiene en nivel sigma 6 y con un rendimiento del 100%. Seguramente la gestión de la administración fue mejor, o las acciones de los trabajadores estuvieron encaminadas a evitar estos eventos, o usaron bien los elementos de protección personal, entre otras causas que pudieron llevar a estos buenos resultados.

Año 2010: En el 2010, se presentaron 7 eventos, de los cuales 3 fueron en el almacén, de estos 2 accidentes y 1 incidente. Lo que quiere decir que a diferencia de 2008 y 2009 el valor de la variable n es de 3.

Datos:

n = 3 (número de accidentes e incidentes en el almacén en el año 2010).

U = 7 operarios \* 24 días/mes \* 12 meses = 2016 (grado de exposición anual)

O = 4 (número total de condiciones inseguras de trabajo en el almacén).

$$DPMO = \frac{n}{U \times O} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{3}{2.016 \times 4} \times 1.000.000$$

$$DPMO = \frac{3}{8064} \times 1.000.000$$



$$DPMO = 0,000372 \times 1.000.000$$

$$DPMO = 372,023$$

Indudablemente, el resultado que arrojó la fórmula para el 2010 sorprende en comparación para los dos años anteriores, donde la probabilidad de ocurrencia era igual a cero, para este año la probabilidad de que algún evento desfavorable se llevase a cabo fue de 372,023, es decir, que dentro de un millón de oportunidades de error (accidentes e incidentes), pudieron efectuarse 372,023. Es así como, el nivel sigma pasó de 6 en 2008 y 2009 a 1,8 en 2010. El rendimiento pasó de 100% al 61,8%.

Estos resultados mostraron las cifras de accidentes e incidentes en partes por millón de oportunidades en 2008, 2009 y 2010 para la trituradora y para el almacén. Por otro lado, se calcularon también los rendimientos en función de las unidades de salida defectuosas.

#### 4.3. Rendimiento por año en función de unidades de salida

En este caso se midió el rendimiento en función de las partes que entran al proceso y que salen defectuosas del mismo, mientras que en el rendimiento calculado en el apartado anterior, se halló el rendimiento pero en función del nivel sigma.

De igual forma, este rendimiento es calculado para los dos puntos críticos del proceso; trituradora y almacén. Y fueron usadas las mismas cifras de accidentes e incidentes identificadas en los cálculos anteriores para los tres años en estudio.

Ecuación de rendimiento:

$$\text{Rendimiento} = 1 - \left( \frac{\# \text{ de unidades defectuosas}}{\# \text{ de unidades de entrada}} \right) \quad (4)$$

Remplazando las variables:

$$\text{Rendimiento} = 1 - \left( \frac{\# \text{ de accidentes e incidentes anuales por punto crítico}}{\text{Grado de exposición al riesgo}} \right) \quad (5)$$

Rendimiento en Trituradora:

Año 2008:

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - \left( \frac{1}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - 0,00049603$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 0.999503$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 99.95\%$$

Durante el 2008 se dieron 1 accidente y 1 incidente de trabajo. Uno de ellos fue en la trituradora, identificada como parte crítica del proceso. Esto nos indica que el rendimiento del proceso en términos de SIHSO fue de un 99.95%.

Año 2009:

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 1 - \left( \frac{3}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 1 - 0,0014881$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 0.9985119$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 99.85\%$$

Durante el 2009 se dieron 2 accidentes y 2 incidentes de trabajo. Tres de ellos fueron en la trituradora, identificada como parte crítica del proceso. Esto nos indica que el rendimiento del proceso en términos de SIHSO fue de un 99.85%, en la transición de 2008 a 2009, el rendimiento disminuyó levemente en 0,1%, una disminución no muy representativa.

Año 2010:

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - \left( \frac{1}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - 0,00049603$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 0.999503$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 99.95\%$$

Este resultado muestra que el rendimiento después de haber disminuido el año pasado; 2009, volvió a ocupar en lugar en el que estaba en el 2008, al aumentar en 0,1%.

Rendimiento en el almacén:

Año 2008:

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - \left( \frac{0}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1 - 0$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 1$$

$$\text{Rendimiento}_{2008} = 100\%$$

Este resultado es un reflejo de la cifra de accidentes e incidentes para este año en el almacén, la cual es cero. Por tanto el rendimiento

en función de las unidades de salida es igual al rendimiento en relación al nivel sigma, es decir, cero.

Año 2009:

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 1 - \left( \frac{0}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 1 - 0$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 1$$

$$\text{Rendimiento}_{2009} = 100\%$$

Al igual que el año anterior, el rendimiento se mantiene en un 100%, las unidades defectuosas que salen de este punto del proceso siguen siendo cero, como se dijo en el punto anterior, en el cálculo del DPMO, esta racha de buenos resultados en el almacén para 2008 y 2009, muy seguramente es debido a las buenas prácticas de la administración. Pero al parecer solo fueron efectivas esas prácticas para esos dos años.

Año 2010:

$$\text{Rendimiento}_{2010} = 1 - \left( \frac{3}{2016} \right)$$

$$\text{Rendimiento}_{2010} = 1 - 0,0014881$$

$$\text{Rendimiento}_{2010} = 0.9985119$$

$$\text{Rendimiento}_{2010} = 99.85\%$$

Sin duda alguna, hubo un cambio un tanto brusco en las cifras, los accidentes e incidentes subieron inesperadamente de 0 a 3 por año.

Estos datos sorprenden en el sentido de que se venía pensando que el almacén estaba señalado como punto crítico pero no tenía cifras de accidentes e incidentes, pero aquí a través de estos resultados se concluye que al igual que en la trituradora a mermado el interés hacia el cuidado de estas áreas en la empresa.

### 5. Conclusión

En suma, los resultados arrojados por las mediciones en esta Investigación muestran que dentro de los cuatro puntos críticos identificados, la trituradora es la más riesgosa. Si se calcula un promedio de niveles sigma de los tres años por punto crítico, el almacén tiene el promedio de 4,6 sigmas, mientras que la trituradora tienen un promedio de 2,9 sigmas, es decir un nivel sigma muchísimo menor, y esto es evidente en los resultados arrojados por año, tener un nivel sigma de 2,9 indica que dentro de un millón de oportunidades de defectos unas 80,75 oportunidades serían probables de ocurrir, una cifra alta, donde lo ideal es mantenerse en 6 sigmas, como lo logró el área de almacén para los años 2008 y 2009. Pero un punto que hay que tener en cuenta son las condiciones inseguras de trabajo, para la trituradora son 9, una cifra alta en comparación con los otros puntos críticos los cuales varían entre 3 y 4, es decir, las posibilidades de ocurrencia de accidentes e incidentes aumenta al existir tantas circunstancias e el ambiente propensas a causar un daño o evento no deseable en el trabajador.

Al mismo tiempo, si se habla de causas es importante recurrir a la matriz QFD en el punto 7 de la parte superior, allí se observa que en la trituradora hay presencia de 9 de los 13 riesgos selec-

**Tabla 4.** Resumen mediciones

|             |      | n | U    | O | U*O   | DPMO:<br>(n/(U*O))*1.000.000 | Nivel s | Rendimiento | Rendimiento en función<br>de unids de salida |
|-------------|------|---|------|---|-------|------------------------------|---------|-------------|--|
| Trituradora | 2008 | 1 | 2016 | 9 | 18144 | 55,11                        | 3.1     | 94.5%       | 99.95%                                       |
|             | 2009 | 3 | 2016 | 9 | 18144 | 165,34                       | 2.5     | 84.1%       | 99.85%                                       |
|             | 2010 | 1 | 2016 | 9 | 18144 | 55,11                        | 3.1     | 94.5%       | 99.95%                                       |
| Almacén     | 2008 | 0 | 2016 | 4 | 8064  | 0                            | 6       | 100%        | 100%   |
|             | 2009 | 0 | 2016 | 4 | 8064  | 0                            | 6       | 100%        | 100%   |
|             | 2010 | 3 | 2016 | 4 | 8064  | 372,023                      | 1.8     | 62%         | 99.85%                                       |

Fuente: Producción del autor

cionados para el estudio, 4 de estos son los seleccionados como riesgos prioritarios, ya que requieren un tratamiento especial. Es decir, el 69% de los riesgos se presentan en la trituradora, ninguna otra parte del proceso tiene la misma presencia de riesgos.

Ahora bien, al analizar los datos arrojados en el área de almacén, se dieron cambios no tan buenos, a pesar de que se mantuvo un nivel ideal de sigma en 2008 y 2009, sorprendentemente para 2010 este nivel tuvo una caída terminante, pasó de 6 sigmas a 1,8 sigmas, es decir, disminuyó en 4,2, casi 5 niveles, una caída fuerte que es causada por el aumento de accidentes e incidentes en este área. Este aumento de accidentes e incidentes como se mencionó anteriormente puede tener varias causas orígenes, entre estas puede ser la confianza que se adquirió por parte de la empresa la tener resultados tan positivos en los años anteriores y bajaron la guardia confiándose en que el comportamiento se mantendría, otra causa puede ser las acciones inseguras de los trabajadores, la falta de controles sobre los riesgos entre otras.

Por lo anterior, surge la necesidad de crear soluciones eficaces y efectivas que mitiguen el efecto de la presencia de tantas condiciones inseguras en este punto del proceso, y programas o estrategias que ayuden a controlar los riesgos prioritarios, todo esto ayudaría a disminuir el número de accidentes e incidentes no solo en la trituradora sino en todos los puntos críticos del proceso.

A manera de resumen de este artículo, se presenta la tabla 4.

## 6. Referencias

- Sampier, R. (1991). Metodología de la investigación. Mc Graw Hill. Pp. 29.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, Icontec. OSHAS 18001. (2007). Occupational health and safety assessment senes .Pp. 6.
- Ramírez, C. Seguridad industrial. (1986). Limusa. Pp. 38.
- Rodellar, A. Seguridad e higiene en el trabajo. (1999). Alfa omega. Pp. 8.
- Instituto Colombiano de normas técnicas y certificación GTC 45 (1997). Guía para el diagnostico de condiciones de trabajo o panorama de factores de riesgo, su identificación y valoración ¡Bogotá: Icontec. Pp.5.
- Pande, P, Neuman, R., Cavanaugh, R., (2004). Las claves practicas de seis sigmas: una guía dirigida a los equipos de mejora de procesos. (1 ed.). España: Mc Graw Hill / Interamericana. Pp. 4.
- Montaner, M. (2011). Tecnología y sociedad. Seis sigmas: un enfoque radical para la mejora de los procesos de negocios. Pp.1. Consultado el 20 de Enero de 2011.
- Gutiérrez, P. (2002). Control estadístico de calidad y seis sigmas (2 ed.). Mc Graw Hill.