

MAESTRIA EN CONTROLES INDUSTRIALES

TESIS DE INVESTIGACIÓN

**CONTROL DE CALIDAD INDUSTRIAL SEIS SIGMA (6 σ)
(En la Industria Cerámica)**

Presentado por:
Rafael Emilio Casadiego Sarmiento

Director de Tesis
MSc. Saury Thomas

Codirector de Tesis
PhD. Aldo Pardo García

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

**V COHORTE
2015**

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	
GENERAL	6
ESPECIFICOS	
CAPITULO 1	
MANUFACTURA CERÁMICA	7
1.1 Preparación de las materias primas	8
1.2 Proceso de molienda	9
1.3 Proceso de formado	10
1.4 Proceso Plástico	12
CAPITULO II	14
FILOSOFIA SEIS SIGMA	
2.1 Estado del arte	16
CAPITULO III	24
TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL EN LA MANUFACTURA EFICIENTE DE BLOQUES DE ARCILLA.	
3.1 Producción Ajustada (Lean)	26
3.2 Simulación flexible	27
CAPITULO IV	28
CONTROL SEIS SIGMA	
4.1 Enfoque Seis-Sigma	28
4.2 Lean Seis Sigma (LSS)	29

4.3 Principios de Seis Sigma	30
4.4 Enfoque cuantitativo Seis-Sigma	31
CAPITULO V	33
MAPA DE RUTA DE CONTROL SEIS SIGMA	
5.1 DEFINIR (D)	36
5.2 MEDIR (M)	45
5.3 ANALIZAR (A)	49
5.4 MEJORAR (M)	51
5.5 CONTROLAR ©	53
CAPITULO VI	56
CONFIABILIDAD PARA SEIS-SIGMA	
CAPITULO VIII	60
IMPACTO ECONÓMICO	
CONCLUSIONES	
Índice	
Anexos	

A mi padre JEHOVÁ que por su bondad inmerecida me ha permitido alcanzar mis metas y lograr mis objetivos (Salmo 1) y a mis padres que me apoyaron para finalizar estos Estudios y a mi Universidad de Pamplona por sus docentes en este posgrado que me enfatizaron jamás rendirme.

INTRODUCCION

El proceso *seis sigma*¹, que generalmente se conoce en las industrias que hoy en día han implementado esta herramienta como el DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), es un proceso de mejoramiento continuo, el cual comprende una gran variedad de aspectos indispensables para que las industrias se adentren en el campo de Clase Mundial enfocadas en las siguientes tres variables:

1. Lean Manufacturing²
2. Kaizen³
3. TPS (Sistema de Producción de Toyota)

Estas tres variables, acogidas por un análisis de los sistemas de control moderno, dentro de la manufactura en la cual va enfocada la presente investigación y como esta permitirían tener un éxito de mejoramiento continuo.

Aunque solo se enfatizara en algunos procesos en la industria cerámica del sector nortesantanderano, el cual se agradece la información suministrada por algunas empresas en la toma de datos, registros de manufactura y demás, lo que pretende demostrar que al realizar procesos de reingeniería⁴, vinculados a la aplicación del control por medio de *seis sigma*.

Por tanto *sigma* que en *estadística inferencial*⁵ y *diseño de experimentos*⁶, representa la desviación estándar (σ). La distribución normal, o distribución gaussiana, abarca dos parámetros: la media (μ) y la desviación estándar (σ), esta última representa la cantidad de variabilidad o la existencia no uniforme en un proceso de manufactura, como en este caso de la industria cerámica, que al recopilar los datos se calcula el valor sigma y que como más adelante se evidenciará, si el valor de la desviación es grande con relación a la media, indica una considerable variación del producto en el control de calidad y si es lo contrario el producto final de toda la cadena de producción es muy uniforme. No obstante es permitirá realizar previos análisis de feedback y cuellos de botellas presentes utilizando esta maravillosa herramienta.

FORMULACION DEL PROBLEMA

- ❖ **¿Se podrá definir los parámetros de control de procesos estadísticos mediante el enfoque Seis-Sigma en la manufactura de producción de bloques?**

- ✓ Para cada paso de producción de bloques en la manufactura, ¿Se podrá enfocar cada requerimiento, secuencia y flujo de valor?

- ✓ Aplicando la Ingeniería de métodos y tiempos ¿Es necesario captar los tiempos admisibles en la fabricación de bloques así como los datos necesarios en planta?

- ✓ ¿Cómo analizar los datos necesarios para el flujo de valor generando al implementar la herramienta Seis-Sigma y su impacto económico en las bondades de su implementación?

OBJETIVOS

GENERAL

Definir los parámetros de control de procesos estadísticos mediante el enfoque seis-sigma en la manufactura cerámica de producción de bloques.

ESPECIFICOS

- ❖ Definir cada paso de la cadena de producción de bloques en la manufactura cerámica, sus requerimientos, secuencias y flujo de valor.
- ❖ Medir los tiempos admisibles de manufactura en la fabricación y parámetros de referencia para determinar los datos necesarios en campo.
- ❖ Analizar el flujo de valor generado por los datos levantados en campo para su posterior simulación en tiempo real.
- ❖ Establecer a partir de los resultados obtenidos la metodología con la herramienta SEIS-SIGMA el control de la producción de bloques cerámicos de acuerdo al ritmo de producción de los cuellos de botella.

CAPITULO N° I MANUFACTURA CERAMICA

La manufactura⁷ ha sido y es importante en la actualidad en los aspectos tecnológico y económico, y en especial relacionados con los productos de origen cerámico, pues de manera directa o indirecta están relacionados con nuestra vida diaria, ya sea para la construcción de nuestras viviendas, el inmobiliario interno, el urbano, y muchos productos, en especial de aquellos que son derivados de la cerámica o arcilla, la cual es sumamente abundante en el planeta, que saldría una larga lista para enumerarlos a todos estos artículos que se fabrican o manufacturan a partir de esta materia prima.

Hoy muchas industria pequeñas o grandes del Departamento Norte de Santander (Colombia), existentes, algunas de ellas aun utilizan procesos de manufactura artesanales ancestrales, como otras que han tecnificado e implementado procesos de automatización. Y esta industria desde el punto de vista microeconómico generar un estimado porcentaje al PIB⁸ (Producto Interno Bruto) del departamento y la nación.

Aunque a raíz de las recesiones económicas a nivel mundial que de forma directa o indirecta han generado una desestabilización social, por lo general este sector industrial lo han subestimado y la importancia de la misma, es significativa por el nivel de espectro social que genera, al reclutar mano de obra directa e indirecta, contribuyendo al desarrollo local.

La manufactura cerámica, no es otra cosa que la aplicación de procesos físicos y químicos para alterar el proceso geométrico de los materiales a utilizar (arcilla, sílice, etc.), sus propiedades, apariencia de material, etc. Los procesos para llevar a cabo la manufactura involucran una combinación de máquinas, herramientas, energía y trabajo manual, ejecutando una secuencia de operaciones y cada uno de éstas lleva al material más cerca del estado que se desea del producto final.

En el sentido económico, la manufactura cerámica es la transformación de las materias primas, en productos de *valor*, por medio de uno o más operaciones de procesamiento, la clave es que mediante el *Control de Calidad*⁹ mediante la herramienta *Seis Sigma, Agrega Valor* a las materias primas, cambiando su forma o propiedades, o mediante las combinaciones de otros materiales, según sea el caso, para generar un material más valioso por medio de las operaciones de manufacturas controladas e inspeccionadas por las herramientas *seis sigma*, lo cual genera reducción de costos de

producción, nivel de eficiencia, eficacia y efectividad de proporciones proactivas a los requerimientos y expectativas del mercado actual.

En el procesamiento de cerámicos, que tradicionalmente se hacen a partir de minerales que se encuentran en la naturaleza que incluyen en la alfarería, porcelana, ladrillos, etc. Que inicialmente, estos polvos, se mezclan con agua, para efectuar una reacción de moldeamiento de acuerdo a los requerimientos del producto que se desea manufacturar.

A continuación se realizará una descripción detallada a nivel genérico de los procesos de manufactura cerámico.

1.1 Preparación de las materias primas

Los procesos de formado de los productos cerámicos tradicionales requieren que el material inicial tenga una forma “*plástica*”, compuesta de finos polvos cerámicos mezclados con agua; su consistencia determina la facilidad para formar el material y a calidad del producto final.

En la información obtenida en las industrias donde se obtuvo la información, se emplearon técnicas para reducir el tamaño de las partículas en el procesamiento de los cerámicos, que aportan varias formas de energía mecánica como son:

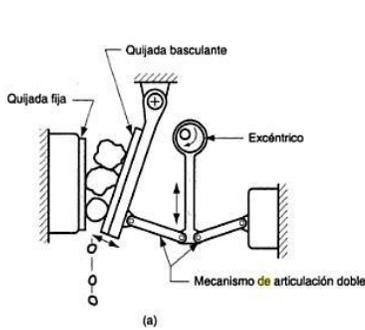
- ✓ Impacto
- ✓ Compresión
- ✓ Frotamiento.

El término *Pulverización* se usa para estas técnicas, las cuales son más efectivas en materiales frágiles y el Triturado se refiere a la ruptura de grandes trozos provenientes de minas para su reducción posterior, requiriendo varias etapas de trituración. El triturado de minerales se realiza por compresión contra superficies rígidas o por impacto contra superficies rígidas con movimiento restringido, y los equipos encontrados en donde se tomaron los datos e información, los cuales fueron los siguientes:

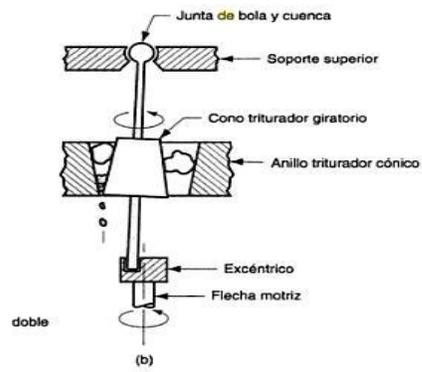
- a) ***Trituradores de quijadas***: en los cuales una quijada grande se mueve hacia adelante y hacia atrás para triturar los terrones contra la superficie dura y rígida.
- b) ***Trituradores giratorios***: que usan un cono giratorio para comprimir los trozos contra una superficie dura y rígida.
- c) ***Trituradores de rodillos***: en los cuales los trozos de cerámica se aprietan entre tambores.

d) **Trituradores de molinos:** en los cuales unos martillos rotatorios golpean el material y rompen los trozos de cerámica.

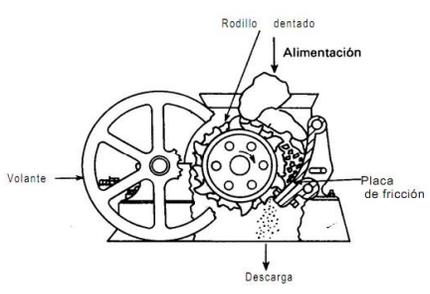
Cada uno de estos tipos de trituradores, se especifica en las siguientes gráficas en los diferentes equipos para el triturado.



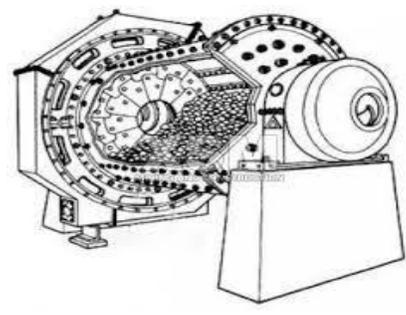
Triturador de quijadas



Triturador Giratorio



Triturador de Rodillos



Triturador de Molinos

Figura N° 1 Tipos de Trituradores

1.2 Proceso de molienda

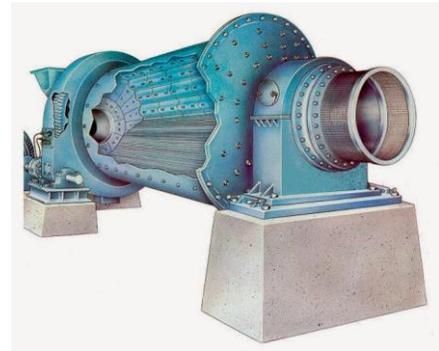
En este contexto, en la manufactura cerámica, se refiere a las operaciones de reducir las piezas pequeñas después del triturado en polvos finos. La molienda se realiza por absorción e impacto del material triturado por el libre movimiento de un medio duro y suelto, como bolas, piedras o barras, que a continuación describen cada uno de ellos.

Molino de balines: contiene esferas duras mezcladas con el material a pulverizar, que giran dentro de un recipiente cilíndrico grande. El movimiento arrastra a los balines y el material hacia arriba en la pared del recipiente y los hace caer para realizar la molienda por una combinación de impacto y frotamiento. Estas operaciones frecuentemente añaden agua a la mezcla, de manera que se forme una pasta aguada.

Molino de rodillos: en este caso el material cerámico se comprime contra la mesa horizontal del molino mediante rodillos que giran sobre la superficie de la mesa. La presión de los rodillos sobre la mesa regula pro resorte mecánicos o medios hidroneumáticos.



Molino de Balines



Molino de Rodillos

Figura N° 2 Tipo de Molinos

1.3 Proceso de formado

Después de los anteriores procesos triturado, pulverización y molienda, el material cerámico se encuentra en una pasta plástica requerida para el formado en polvos cerámicos, siendo la arcilla el ingrediente principal de esta pasta, por sus características ideales de formación, en la cual mientras más agua tenga la mezcla, la arcilla será más plástica y fácil de formar. Sin embargo, cuando se seca se cuece la pieza formada, se presenta la contracción que puede causar grietas en el producto. Para evitar este problema se añaden a la pasta otras materias en cantidades significativas o componentes que tienen funciones especiales, y estos ingredientes se pueden dividir en las siguientes categorías:

- Arcilla que proporciona la consistencia y plasticidad requeridas para el formado

- Materias primas no plásticas, tales como la alúmina y sílice, que no se encogen durante el secado y el cocido, pero desafortunadamente reducen la plasticidad en la mezcla durante el formado.
- Ingredientes adicionales tales como fundentes que vitrifican durante el cocimiento y promueven la *sinterización*¹⁰ del material cerámico (*feldespato*¹¹) y agentes humectantes que mejoran la mezcla de los ingredientes.

Estos ingredientes se mezclan perfectamente para vía húmeda o seca, además de su función de molienda, el molino de balines o rodillos sirven para este propósito. También deben ajustarse las cantidades apropiadas de polvo y agua en la pasta, de manera que se pueda aumentar o disminuir la humedad, dependiendo de la condición anterior de la pasta y la consistencia final deseada.

No obstante las proporciones óptimas de polvo y agua dependen del proceso de formado que se usa. Algunos procesos observados en la toma de información requieren de alta fluidez; otros actúan sobre la composición que tiene bajo contenido de agua. Con cerca del 50% de agua, la mezcla es una pasta aguda que fluye como un líquido. Al reducirse el contenido de agua, se hace necesario aumentar la presión sobre la pasta para producir un flujo similar. Por tanto, los procesos de formado pueden dividirse con base en la consistencia de la mezcla en los siguientes cuatro aspectos:

- ❖ *Fundición o vaciado deslizante*: en el cual la mezcla se ligera con un 25% a 40% de agua.
- ❖ *Métodos de formado plástico*: en los cuales se forma la arcilla en condición plástica con un 15% a 25% de agua.
- ❖ *Prensado semiseco*: en el cual la arcilla está húmeda (10% a 15% de agua), pero posee baja plasticidad.
- ❖ *Prensado seco*: en el cual la arcilla está básicamente seca, contiene menos de 5% de agua. En estas condiciones la arcilla no tiene plasticidad.

Como interés de la presente investigación, se ha enfocado en el control de procesos por medio de la medición métrica *Seis-Sigma*, la cual representará una manera de medir el desempeño del proceso de manufactura de bloques de cerámica, en cuanto a su nivel de las siguientes variables exigidas por el mercado o clientes:

- ✓ Resistencia a la compresión
- ✓ Resistencia a la tensión

A partir de estas dos variables cualitativas, como control de procesos *Seis-Sigma*, se enfocará como control de procesos en la manufactura de bloques en el mejoramiento continuo, incluyendo modelos

matemáticos y estadísticos, para alcanzar un nivel de calidad de no producir bloques defectuosos en:

- ✓ 0.00189 ppm (partes por millón)

El cual son las exigencias de esta filosofía a nivel mundial.

Desde su implementación la siguiente tabla resume en que escala se encuentra cualquier industria a nivel mundial y si esta puede alcanzar la resolución de sus problemas en la manufactura.

Sigma (σ)	PPM	N° de Productos defectuosos
6	3.4	1 en una producción de 3400 unidades
5	200	1 en una producción de 230 unidades
4	6000	1 en una producción de 62 unidades
3	70000	1 en una producción de 6 unidades
2	300000	1 en una producción de 3 unidades
1	700000	1 en una producción de 2 unidades

Tabla N° 1 Escala Industrial Seis-Sigma

1.4 Proceso Plástico

En esta categoría de la manufactura cerámica de producción de bloques, en el proceso mecanizado, el cual se requiere de una mezcla inicial que tenga una consistencia plástica, el cual en el proceso inicial se logra con un contenido de agua de un 15 a 25%, que en un proceso mecanizado emplean por lo general menor contenido de agua y en este aspecto la arcilla es más espesa.

Con estos métodos mecanizados que incluyen el torneado, prensado y la extrusión, aunque hay variantes de acuerdo al perfil industrial de la región nortesantandereana, en los métodos y diferentes niveles de automatización a continuación una breve secuencia típica de producción de bloques de cerámica, en la siguiente gráfica:

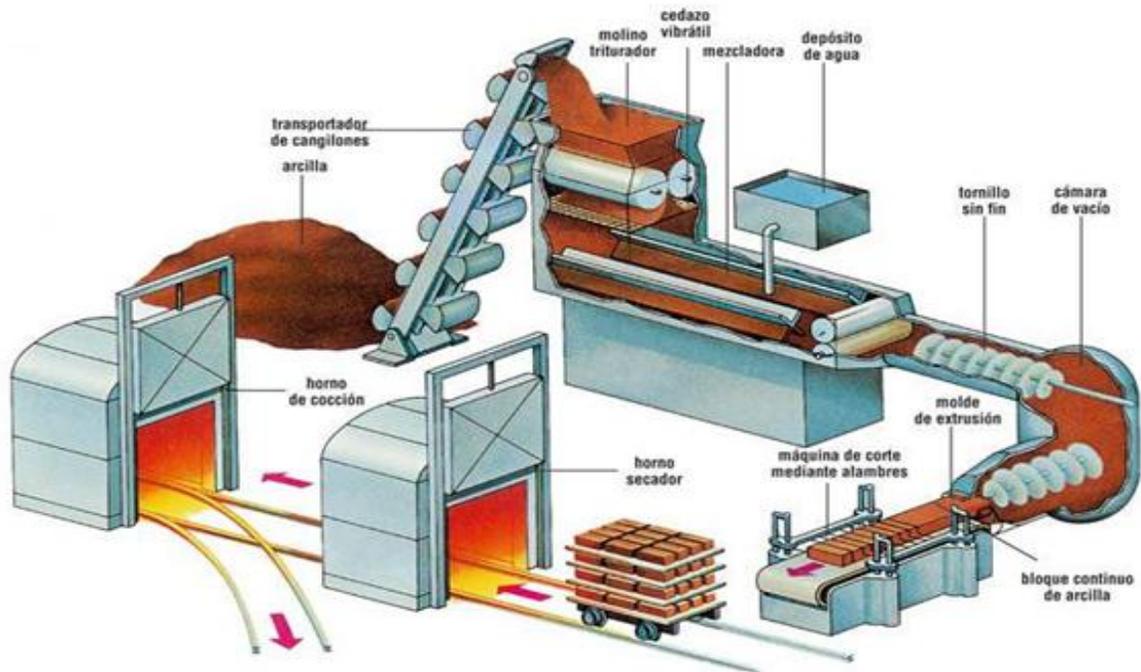


Figura N° 3 Proceso esquemático de producción de bloque macizo de cerámica

Para describir detalladamente cada etapa de manufactura, y su respectiva secuencia se especifican de la siguiente manera en forma cualitativa:

- 1.4.1 Prensado plástico:** Es el proceso de formación en el cual la arcilla en bruto ya molida y plástica se prensa entre los rodillos, haciendo un material poroso consistente, el cual realizando simultáneamente la molienda hasta llegar a los tornillos sin fin que realizan la mezclas finales.
- 1.4.2 Extrusión:** Por medio de este proceso se usa para producir secciones largas de los bloques en secciones largas, mientras el tornillo sin fin “empuja” el material a través de la abertura, y así mediante cortes genera la forma deseada de los bloques especificados.

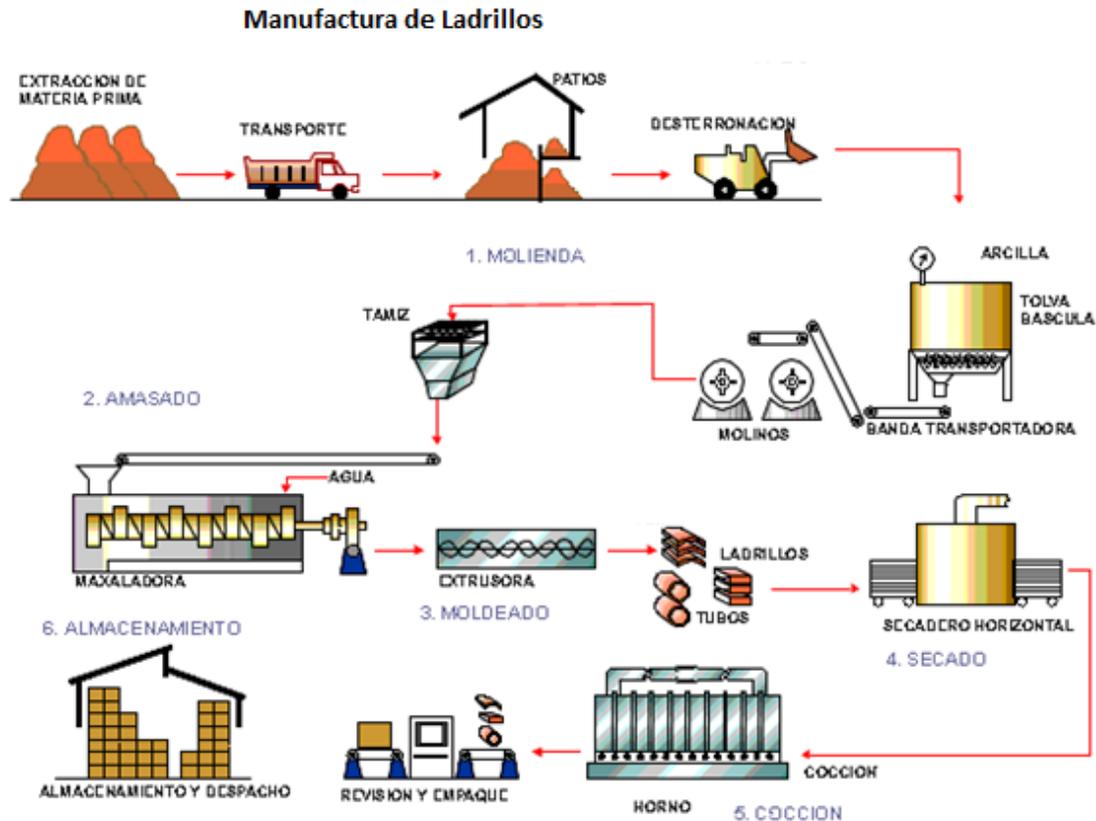


Figura N° 4 Esquema de Manufactura de Ladrillos

Para la implementación de una medida métrica seis-sigma, analizando y observando el proceso de manufactura de bloques de arcilla o cerámica, antes de consolidar los datos, obtenidos en campo se especifica la meta alcanzar en Calidad, el cual es poner el producto en este caso los bloques en “cero defectos” no indicando claramente *cero*, pues esa condición ideal no existe dado nuestra imperfección humana y limitada de alcanzarlo, pero si un mínimo de partes defectuosas por millón como se especifica a continuación enfocado en la producción de bloques:

- *0,002 defectos por millón de unidades (2000 unidades defectuosas por una tasa de 1.000.000 de unidades)*
- *0,002 errores por millón de unidades (2000 errores por una tasa de 1.000.000 de unidades)*
- *0,002 equivocaciones por millón de unidades (2000 equivocaciones por una tasa de 1.000.000 de unidades)*
- *0,002 partes por millón (ppm) (2000 partes de unidades defectuosas, con errores o equivocaciones por cada 1.000.000 unidades)*

No obstante, para el caso en concreto, se especifican las características del producto, en este caso de los bloques, en límites permisibles superior e inferiores, aceptados previamente por los requerimientos del mercado y como desde la planta iniciar a realizar sus respectivos controles.

CAPITULO N° II

FILOSOFIA SEIS SIGMA

Este proceso definido inicialmente como un DMAMC (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar) es un proceso de mejoramiento continuo, el cual comprende una gama de reducción de costos y un proceso de calidad, con *Kaizen*, que no es otro aspecto que el *mejoramiento continuo*, en el desempeño de medir la realización de un proceso en cuanto a su nivel de producto de acuerdo con las especificaciones requeridas por los clientes o el mercado, apoyando la utilización de herramientas adecuadas, enfocando como meta el acercamiento a no producir productos defectuosos, en la siguiente gráfica resume la filosofía de seis-sigma.

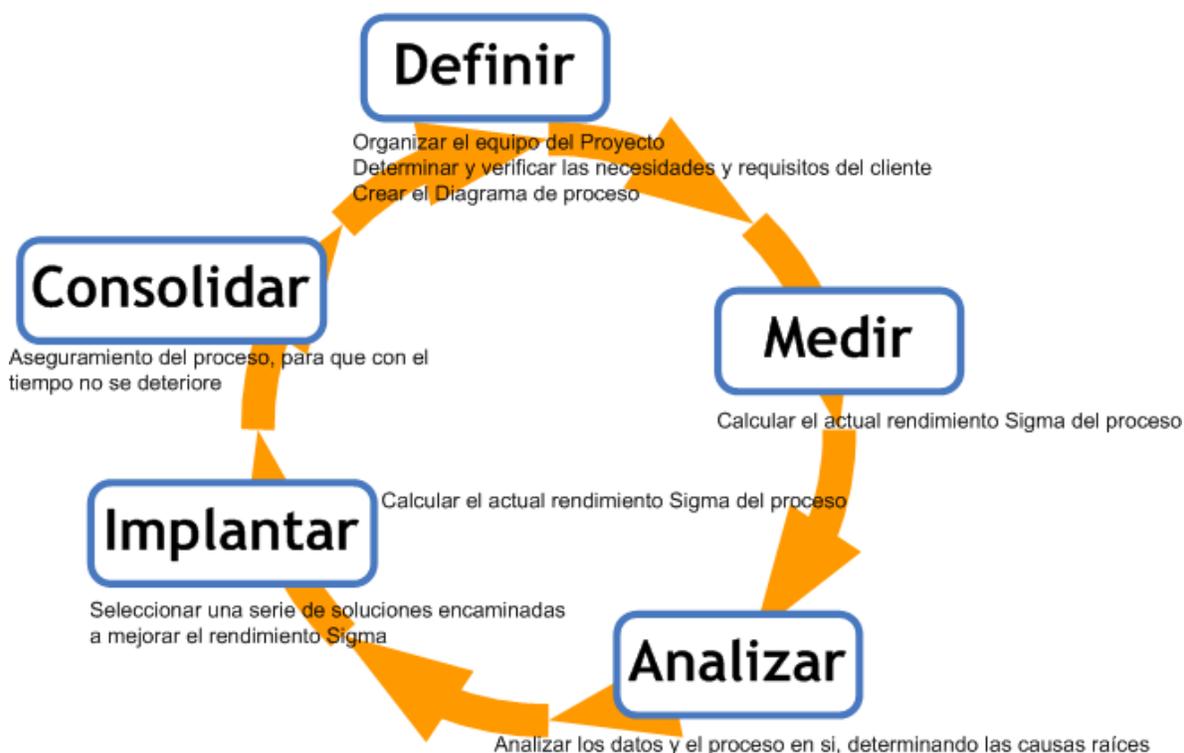


Figura N° 5 Ciclo DMAIC Seis-Sigma¹²

El fundamento de seis-sigma es el cliente o el mercado, y estos no juzgan a las industrias por medidas estadísticas, sino por la calidad de los productos desde la óptica de la variación de los mismos, entendiendo por variación todo cambio en el proceso de manufactura que pueda alterar los resultados esperados por los clientes o mercado. Por esta razón, seis-sigma se centra inicialmente en reducir la variabilidad de los procesos, para después incrementar la su capacidad instalada.

El análisis para la previa implementación de seis-sigma no se puede llevar a cabo, como si fuese una herramienta más de calidad, se debe establecer como única estrategia efectiva de gestión

industrial, para incluir cada uno de los procesos, habilitando una comunicación fluida de datos a medir en cada etapa de la producción.

En 1987 Motorola fue la pionera a nivel mundial de desarrollar esta filosofía, quien estipulaba que los límites de especificación del producto deberían tener desviaciones estándar de más o menos seis-sigma (6σ), los límites de especificación del producto se conoce como la especificación de diseño del producto que tienen un límite superior (LS) y un límite inferior (LI), ambos límites determinan o delimitan la tolerancia en el diseño.

Por tanto con este nuevo enfoque gestionado por Motorola, para tomar un producto en particular y medir las características de interés y estimar su sigma, el valor de sigma debería ser tal que unas características en cuanto a especificaciones deben encajar dentro de esas especificaciones, como se aprecia en la siguiente gráfica:

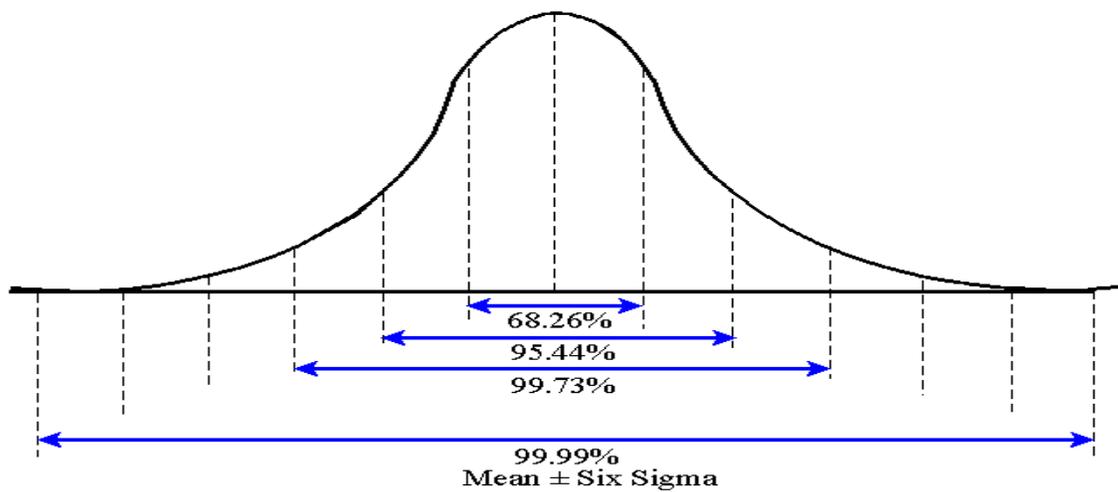


Figura N° 6 Área bajo la curva (Distribución Normal o Campana de Gauss) ¹³

2.1 Estado del Arte

El modelo de gestión industrial direccionado por seis-sigma para enfocar a los procesos donde se desea diseñar, implementar y enfocar es de gran importancia estratégica. Su objetivo básico debe ser una gestión altamente eficiente que permita ofrecer productos de calidad, que satisfaga al mercado al cual está enfocado, y obtener maximización óptima en aspectos como:

- ✓ Tiempo
- ✓ Costos mínimos
- ✓ Controles específicos
- ✓ Competitividad industrial.

Se han desarrollado muchos sistemas de gestión industrial en los últimos años, y esas formas de trabajar, basada en operar a gran escala, mediante procesos compuestos por operaciones que tratan de optimizar su eficiencia independientemente, no cumple en modo alguno, en la actualidad, con los objetivos de eficiencia y competitividad a los que seis-sigma si pudiese cumplir de forma efectiva.

Los modelos de gestión de calidad aplaudidos en la actualidad como las normas ISO 9001¹⁴ y sus subsiguientes despliegues, que a la fecha se han convertido en tradicionales y los cuales se han empleado muchas industrias, entre ellas las de manufactura cerámica, que a la postre, se hallan lejos de la *Excelencia en la Gestión*¹⁵, sus resultados en eficiencia, eficacia y efectividad competitiva es *baja*.

Por tanto la presente tesis, tratará de demostrar los métodos tradicionales de gestión industrial en particular en la manufactura cerámica, de aquellos que se considera excelentes e identificar, como el empalme entre la *Filosofía Seis-Sigma* implica un elevado nivel de competitividad, lo que exige cubrir debidamente todos los requerimientos de los clientes que al final de toda la cadena de producción manufacturera concurrente, estén ejerciendo los controles industriales óptimos.

Los conceptos, las herramientas y los controles que se desea analizar y diseñar con seis-sigma es darle el protagonismo debido, pues el motor de los cambios que han tenido lugar ha sido el conjunto de modificaciones estructurales de nuestra sociedad y, en especial, del comportamiento de los consumidores, en los últimos treinta años. Estos cambios han supuesto una introducción paulatina de nuevos planteamientos en la gestión para evolucionar desde un modelo tradicional basado en la obtención de *economías de escala*¹⁶ a un modelo en el que los procesos tratan de utilizar la *menor cantidad posible de recursos de todo tipo* (cuya eficiencia estriba en eliminar consumos innecesarios o desperdicios).

Por tanto seis-sigma no es solo una manera más eficiente de control de calidad cualquier industria y sus procesos; es una nueva forma de pensar, planificar y decidir, basada en el cliente como objetivo principal y centrada en todo lo genera valor desde el punto de vista de los requerimientos y exigencias del mismo, reduciendo al máximo la larga serie de actividades que en el mundo tradicional industrial se lleva a cabo en todas las áreas.

Con un control exhaustivo, real y mensurable, que es lo que se desea diseñar en el empalme de seis-sigma y el control industrial en la manufactura cerámica en la producción de bloques, es medir y exaltar la *Productividad*¹⁷, el cual es una medida que suele emplearse como *Indicador Industrial*¹⁸, de que tan bien están utilizando sus recursos o factores de producción, dado que la administración adecuada de los controles que se desean diseñar e implementar como es el caso de seis-sigma, es concentrarse en hacer mejor uso posible de los recursos que están a disposición de una industria, en este caso del sector cerámico. No obstante resulta fundamental medir este *Indicador Industrial* o *Productividad* para conocer el desempeño de las operaciones teniendo en cuenta esta tasa de salida sobre entradas.

$$\textit{Productividad o Indicador Industrial} = \textit{Salidas} / \textit{Entradas}$$

Esta medida, como indicador industrial que busca ese “secreto” de cómo se encuentra la industria y el esfuerzo para mejorar la situación, invocando el ciclo de la *Figura N° 1 Ciclo DMAIC Seis-Sigma*, o el ciclo Deming PHVA (Planear, Hacer, Verificar, Actuar)



Figura N° 7 Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar) ¹⁹

Por tanto, podríamos decir que también el control de calidad es una medida y no una realidad, pues este fue iniciado como una *Inspección* post-mortem de los defectos producidos en el procesos de producción, eso sin decir que no importa lo escrupuloso que uno pueda trabajar en la inspección de los productos, ya que esto no conduce necesariamente a los mejoramientos en la calidad del producto.

Una forma de mejorar la calidad es mejorando el proceso de producción, jugar con cifras no va a mejorar la situación, esto es por qué el diseño e implementación del control industrial seis-sigma en la manufactura de bloques de cerámica, se movió hacia atrás a la fase de *CONSTRUIR LA CALIDAD*, en la fase de *Planeación* (P) del circulo de calidad de Deming y en la fase de Definir (D) de la filosofía seis-sigma.

Por tanto la respuesta es que los esfuerzos que se desean llegar al diseñar e implementar controles industriales bajo el cobijo de seis-sigma, debe ser una realidad día tras día, en mejoramientos continuos y cíclicos, detectando fallas, ruidos y desperdicios, con índices industriales orientados o enfocados al proceso y no índices orientados a resultados, como comúnmente se ha tenido presente. Se han tratado una infinidad de herramientas de control industrial, desde la gestión, como por ejemplo los Modelos Japoneses y la Teoría de las Restricciones o Limitaciones (TOC) ²⁰, ambas

expuestas brevemente, como recursos indispensables que a su vez dieron origen a Seis-Sigma como control de procesos. Como a continuación se explican detalladamente desde su origen hasta sus aplicaciones actuales que han ido de la mano en la Ingeniería de Control.

2.2 JIT (Just In Time)

Es un sistema de organización de la producción para las fábricas, de origen japonés. También conocido como Justo a Tiempo o *método Toyota*, permite aumentar la productividad.

Permite reducir el costo de la gestión y por pérdidas en almacenes debido a acciones innecesarias. De esta forma, no se produce bajo suposiciones, sino sobre pedidos reales. Una definición del objetivo del Justo a Tiempo sería:

“Producir los elementos que se necesitan, en las cantidades que se necesitan, en el momento en que se necesitan”

La producción JIT es simultáneamente una filosofía y un sistema integrado de gestión de la producción, que evolucionó lentamente a través de un proceso de prueba y error a lo largo de un período de más de quince años.

En las fábricas japonesas se estableció un ambiente adecuado para esta evolución desde el momento en que dio a sus empleados la orden de que **“eliminaran el desperdicio”**.

El desperdicio puede definirse como:

“Cualquier cosa distinta de la cantidad mínima de equipamiento, materiales, partes, espacio y tiempo, que sea absolutamente esencial para añadir valor al producto” (Suzuki²¹, 1985)

Para el desarrollo del JIT no hubo ningún plan maestro ni ningún borrador. Taiichi Ohno, su creador, describe el desarrollo del JIT del siguiente modo:

“Al intentar aplicarlo, se pusieron de manifiesto una serie de problemas, a medida que estos se aclaraban, me indicaban la dirección del siguiente movimiento. Creo que sólo mirando hacia atrás, somos capaces de entender cómo finalmente las piezas terminaron encajando”

Los sistemas JIT han tenido un auge sin precedentes durante las últimas décadas. Así, después del éxito de las compañías japonesas durante los años que siguieron a la crisis de los setenta, investigadores y empresas de todo el mundo centraron su atención en una forma de producción que, hasta ese momento, se había considerado vinculada con las tradiciones tanto culturales como sociales de Japón y, por tanto, muy difícil de implantar en industrias no japonesas. Sin embargo más tarde quedó demostrada que, si bien la puesta en práctica de los principios y técnicas que sostenían

los sistemas de producción JIT requerían un profundo cambio en la filosofía de producción, no tenían como requisito imprescindible una forma de sociedad específica.

Tras ser adoptado formalmente por numerosas plantas japonesas en los años 70, el sistema JIT comenzó a ser implantado en Estados Unidos en los años 80. En el caso de España, algunas de las experiencias iniciales de implantación de técnicas de producción JIT mostraron la viabilidad de estos enfoques en ese país.

2.3 TPS (System Production Toyota) ²²

Es un sistema integral de producción y gestión surgido en la empresa japonesa automotriz del mismo nombre. En origen, el sistema se diseñó para fábricas de automóviles y sus relaciones con proveedores y consumidores, si bien se ha extendido a otros ámbitos.

El desarrollo del sistema se atribuye fundamentalmente a tres personas: el fundador de Toyota, Sakichi Toyoda²³, su hijo Kiichiro y el ingeniero Taiichi Ohno.

El “*Sistema de Producción Toyota*” es uno de los principales legados de Toyota. Se hizo conocido como TPS en 1970, pero fue establecido mucho antes por Taiichi Ohno²⁴. Basado en los principios de Jidoka y Just-in-time, el sistema es un factor fundamental en la reducción de inventarios y defectos en las plantas de Toyota y de sus proveedores. El TPS, con su énfasis en la mejora continua y el valor del compromiso de los empleados, es considerado por la industria automotriz como una auténtica *implementación de control industrial*.

Just-in-time: significa producir sólo lo necesario, en el momento justo, y en la cantidad necesaria. Esto permite que el sistema de producción y de distribución a los concesionarios sea flexible y asegure que cada cliente compre el vehículo de la especificación y color que desea y lo obtenga en el plazo más breve posible. El JUST IN TIME apunta a producir productos de calidad al más bajo costo y de manera más eficiente. Para ello, se programa una secuencia de producción balanceada y se minimizan los stocks. El JUST IN TIME aplicado al TPS se basa en tres principios:

1. PULL

2. FLUJO CONTINUO

3. TAKT TIME

- ❖ **EL SISTEMA PULL:** Dentro del proceso de producción, significa solicitar las piezas que se necesitan, cuando se necesitan y en la cantidad exacta necesaria.

- ❖ **EL FLUJO CONTINUO:** Implica la eliminación rápida y definitiva de los problemas que detienen las líneas de producción. Es la eliminación del estancamiento del trabajo durante los procesos, produciendo una sola pieza en un tiempo de producción.
- ❖ **TAKT TIME:** Es el tiempo que debería tomar el producir un vehículo o un componente. En síntesis, es la velocidad constante y sincronizada requerida entre las líneas de producción.

Para ejecutar el TPS, el sistema de control visual que se utiliza en las plantas Toyota es el **KANBAN**²⁵, que significa “**tarjeta de control**”. Es una tarjeta que contiene información sobre datos del proveedor, la pieza que éste provee y el lugar donde se encuentra dentro de la planta. Sirve para abastecer en el momento justo la cantidad necesaria de piezas para las unidades que están en producción. También sirve para comunicarle al proveedor la cantidad de piezas a entregar diariamente. Esta entrega se realiza a través del sistema **MILKROUND**²⁶, que consiste en la recolección de partes y materiales de los proveedores para optimizar el costo de transporte y mejorar la calidad de las piezas recibidas.

Jidoka: es la capacidad que tienen las líneas de producción de detenerse cuando se detectan problemas, tales como el mal funcionamiento de los equipos, retraso en el trabajo o problemas de calidad, tanto por las mismas máquinas – que son capaces de detectar las anomalías – como por los propios trabajadores, que pueden presionar un botón que detiene inmediatamente la línea. De este modo, se previene que los defectos no pasen al siguiente proceso, asegurando así la construcción de la calidad durante todo el proceso de producción. Éste, a su vez, está íntegramente controlado por dispositivos electrónicos llamados **POKAYOKE**²⁷, que son los encargados de detectar las situaciones anormales de los procesos críticos en el momento en que ocurren, y detienen la línea de producción hasta que se realice la operación correctamente.

POKAYOKE: Son aquellos que detectan los errores producidos por un trabajador y envían una alerta, por ejemplo, el olvido de ensamblar una pieza. Aquellos que detectan defectos de calibración de equipos, por ejemplo, falta de torque. Cuando un trabajador detecta un problema lo informa a su **Team Leader**²⁸, tirando de un cordel que inmediatamente acciona un tablero luminoso llamado **ANDON**: un típico método de control visual que les permite a los **Team Leaders** controlar si las actividades de producción están procediendo con normalidad o no. Consecuentemente, el **Team Leader** observará el problema y definirá las acciones de mejora inmediatas a seguir.

En palabras de Taiichi Ohno: “*Si un supervisor no conoce la existencia de un problema, y éste no se trata, no se realizan mejoras y no se pueden bajar los costos. Al detener una máquina cuando*

surge un problema, se puede identificar el mismo. Una vez que se ha clarificado el problema, se realizan mejoras.”

El Sistema de Producción Toyota, como filosofía de trabajo, tiene sus orígenes en la industria textil y en particular en la creación de un telar automático (cerca del año 1900 por Sakichi Toyoda) cuyo objetivo es mejorar la vida de los operarios liberándolos de las tareas repetitivas. Basándose en este invento y en innovaciones y patentes subsiguientes la familia Toyota fundó una empresa textil (Okawa Menpu)²⁹ en Nagoya que luego se convirtió en *Toyota Motor Company*. Es en esta época textil cuando nacen los conceptos de *Jidoka*³⁰ (traducido por algunos autores como “Automatización”) y *Poka-yoke* (a prueba de fallos) que junto a conceptos posteriores como *Just-in-Time* (Justo a Tiempo) y *Muda* (Despilfarros) vienen a mediados de siglo lo que ha llamado Sistema de Producción Toyota.

2.4 TOC (Theory Constrains)

Teoría de las Restricciones o Limitaciones fue creada por *Eliyahu M. Goldratt*, un doctor en Física israelí, en 1982 quien se preguntó si acaso existiría alguna relación válida entre las técnicas utilizadas en la resolución de problemas científicos y los que él encontró en su trabajo empresarial. Inició su investigación y el desarrollo de su teoría en forma de una novela, su *best-seller La meta*.

En este libro, Eliyahu Goldratt muestra la esencia de su teoría. La desarrolla de manera lúdica en el entorno de una empresa manufacturera sentenciada a la liquidación; su gerente, Alex Rogo, tiene tres meses para recuperar la rentabilidad de la empresa y la estabilidad en su familia.

La esencia de la teoría de las restricciones se basa en cinco puntos correlativos de aplicación:

1. Identificar los cuellos de botella del sistema.
2. Decidir cómo explotarlos.
3. Subordinar todo a la decisión anterior.
4. Superar la restricción del sistema (elevar su capacidad).
5. Si en los pasos anteriores se ha roto una restricción, regresar al paso (1) pero no permitir la inercia.

Con ello identifico los tipos de limitantes en un entorno manufacturero, los cuales son:

1. **Limitaciones físicas:** son equipos, instalaciones o recursos humanos, entre otros, que evitan que el sistema cumpla con su meta.

2. **Limitaciones de políticas:** son todas las reglas que evitan que la empresa alcance su meta (por ejemplo: no hacer horas extras, trabajar en otros turnos, no vender a plazos, entre otros).

Con estas dos herramientas, que aun a la fecha están en boga en las industrias y que han tenido éxito en su implementación, la combinación de ambas, han dado origen a la siguiente estructura industrial de control como lo es *Lean Manufacturing*.

Lean manufacturing (‘producción ajustada’, ‘manufactura esbelta’, ‘producción limpia’ o ‘producción sin desperdicios’): Es un modelo de gestión enfocado a la creación de flujo para poder entregar el máximo valor para los clientes, utilizando para ello los mínimos recursos necesarios: es decir *ajustados*.

La creación de flujo se focaliza en la reducción de los ocho tipos de “desperdicios” en productos manufacturados:

- Sobre-producción
- Tiempo de espera
- Transporte
- Exceso de procesados
- Inventario
- Movimientos
- Defectos
- Potencial humano subutilizado

Eliminando el despilfarro, mejora la calidad y se reducen el tiempo de producción y el costo. Las herramientas *lean* (en inglés, ‘ágil’, ‘esbelto’ o ‘sin grasa’) incluyen procesos continuos de análisis (llamadas *Kaizen* en japonés), producción *pull* (‘disuasión e incentivo’, en el sentido del término japonés *kanban*), y elementos y procesos «a prueba de fallos» (*poka yoke*, en japonés), todo desde la generación de valor.

Un aspecto crucial es que la mayoría de los costos se calculan en la etapa de diseño de un producto. A menudo un ingeniero especificará materiales y procesos conocidos y seguros a expensas de otros baratos y eficientes. Esto reduce los riesgos del proyecto, o lo que es lo mismo, el coste según el ingeniero, pero a base de aumentar los riesgos financieros y disminuir los beneficios. Las buenas organizaciones desarrollan y repasan listas de verificación para validar el diseño del producto.

Los principios clave del **lean manufacturing** son:

- **Calidad perfecta a la primera:** Búsqueda de cero defectos, detección y solución de los problemas en su origen.
- **Minimización del despilfarro:** Eliminación de todas las actividades que no son de valor añadido y redes de seguridad, optimización del uso de los recursos escasos (capital, gente y espacio).
- **Mejora continua (Kaizen):** Reducción de costes, mejora de la calidad, aumento de la productividad y compartir la información.
- **Procesos “pull”:** Los productos son tirados (en el sentido de solicitados) por el cliente final, no empujados por el final de la producción.
- **Flexibilidad:** Producir rápidamente diferentes mezclas de gran variedad de productos, sin sacrificar la eficiencia debido a volúmenes menores de producción.
- Construcción y mantenimiento de una relación a largo plazo con los proveedores tomando acuerdos para compartir el riesgo, los costes y la información.

Lean es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

CAPITULO N° III

TOMA DE DATOS EN TIEMPO REAL Y SIMULACIÓN

La toma de datos utilizando diversas técnicas de la Ingeniería Industrial, como es la *Ingeniería de Métodos y Tiempos*³¹, con el fin de determinar los contenidos en tiempo real de cada proceso o línea de producción de la manufactura de los bloques de arcilla, como la inversión en “tiempo” se distribuyó para tomar los datos respectivos, analizando los siguientes aspectos necesarios para acogerlos en el control estadístico que la herramienta Seis-Sigma requiere y fueron:

- ✓ Análisis de todas las operaciones con el objetivo de eliminar aquellas que fueran innecesarias para acogerlas en la presente investigación.
- ✓ Estandarización de los métodos o procesos que ejecutan los equipos y la mano de obra directa involucrada y las condiciones de trabajo.

Como se desprende de los anteriores aspectos, en el trabajo en campo realizado con la empresa anfitriona de la toma de datos se procedió a analizar los movimientos, secuencias y procesos industriales en línea con el objetivo de simplificar las actividades, linealizarlas y acogerlas para la simulación respectiva teniendo en cuenta los siguientes principios de la Ingeniería de Métodos:

- ✓ Eliminación de trabajos o procesos innecesarios.
- ✓ Combinación de operaciones o sus elementos
- ✓ Cambiar la secuencia de las operaciones.
- ✓ Simplificar las operaciones.

Con lo anterior se aplicó la herramienta *SMED (Single Minute Exchange of Die)*³² que no es otra cosa que “El Cambio en un solo minuto antes de acabar” y en este caso de acabar un proceso, por lo tanto esta metodología amparada para la presente investigación es con el objetivo de maximizar el aprovechamiento de los equipos o máquinas disponibles en la empresa anfitriona, con el fin de ejercer un mayor control de los datos obtenidos. En pocas palabras permitir que cualquier cambio que se deba hacer y simularlo, ya sea en la secuencia de los procesos, estos cambios solo puedan durar unos minutos y el *Control* que deba realizarse es satisfacer las necesidades de aquellas empresas que desee aplicar el *Control Estadístico de Procesos* de Seis-Sigma sea con menos *Despilfarros* haciendo efectivo los costos de producción y el impacto económico que se analizará al final de la presente investigación.

No obstante para la manufactura de bloques cerámicos, el efecto en la actividad manufacturera, están en los procesos que en el Capítulo N° I, de la presente tesis especificaba de forma genérica su producción, y mediante los distintos procesos que se requieren para fabricarlos.

Sin embargo utilizando la herramienta Seis-Sigma como control industrial en la fabricación, cada paso de los procesos generan *Valor* en forma de producto final para el cliente. Y cada uno de los procesos que constituyen el *Flujo de Valor*³³ y realizando los controles respectivos con Seis-Sigma “certificará” antes del cliente final el valor realmente considerado que exige las actuales exigencias del mercado de la construcción.

Los procesos están constituidos por *actividades* o *secuencias* de valor, que de forma sucesiva van añadiendo etapas a la obtención del producto que pretende el mercado, con ello se tomaron los datos correspondientes como son:

- Tiempo
- Unidades producidas.

Estas dos *variables* fueron sumamente importantes que permitieron visualizar y aportar valor añadido al *bloque* después de la línea de corte, cada etapa de la línea debe hacerlo también. Esta línea de control con seis-sigma genera cada vez más productos “*perfectos*”, en los que cada actividad aporte una parte del valor que, que finalmente, se pretenda obtener para las exigencias de los clientes o mercado objetivo, como se evidencia en las simulaciones realizadas.

La actividad de producción se llevó a cabo por medio de la ejecución de un conjunto de actividades, integrados en procesos, susceptible de cubrir en cada paso de toda la *Cadena de Producción*, las necesidades manifiestas, las cuales serán controladas estadísticamente, por medio de seis-sigma, por tanto los elementos que componen el sistema de producción analizando a partir de datos obtenidos en varias factorías locales en la manufactura de bloques de arcilla o cerámica, se puede aglutinar los medios humanos y materiales que constituyen los *Factores* de la producción, integrados por materiales, equipamientos y demás necesarios y como en cada una de estas manufacturas aunque parecidas en producción, se podrán estandarizar con los datos similares obtenidos, como se muestra en la siguiente tabla de los datos obtenidos en diferentes espacios de tiempo.

Para la presente investigación, medir los tiempos que fueran representativos con la empresa anfitriona, tomar la muestra del desempeño de los procesos de los equipos y máquinas involucradas en la manufactura de bloques de arcilla y usarlos como base preliminar para establecerlos e incluirlos en el modelo de simulación.

Uno de los retos que se enfrentaron en la realización del estudio de tiempo fue la necesidad de crear condiciones realistas de estudio, no bajo “supuestos”. Teniendo en cuenta factores externos que influenciaban en la producción de bloques como los siguientes:

- Ambientales
- Económicos
- Demanda y Oferta
- Humanos

Para lo cual se realizaron los siguientes pasos:

1. Definir los estudios de tiempo a realizar a cada actividad involucrada en el proceso.
2. Dividir los procesos de forma que evite frecuencias innecesarias, de acuerdo a la línea de producción preestablecida.
3. Definir cuantas veces se tomara los tiempos o ciclos de trabajo necesarios de acuerdo a la disponibilidad de la empresa anfitriona que lo permitió.
4. Medir los tiempos y registrarlos en una hoja de cálculo (Microsoft Excel versión 2013 licenciado).
5. Calcular el tiempo promedio, tiempo normal y tiempo estándar.

Siguiendo los pasos anteriores, se calcularon los respectivos tiempos promedio, que no es otro que la toma de diez tiempos que se tomaron como muestra en la empresa anfitriona, calculando su promedio y luego el tiempo normal que es el tiempo promedio ajustado al paso del cuello de botella de toda la cadena o línea de manufactura de bloques de arcilla, terminando con el cálculo del tiempo estándar que es el ajuste del tiempo normal total teniendo en cuenta las “holguras” por las necesidades o imprevistos presentes en toda los equipos como variables exógenas de mantenimiento, preparación de maquinas, etc. A continuación las tablas que resumen la toman de tiempos.

PROCESO / ACTIVIDAD	Capacidad Instalada (minutos)	Unidades	Minutos										Producción				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Tiempo Promedio	Tiempo Normal	Tiempo Estándar	Estado Input	Estado Output
INICIO	10	Toneladas	6	4	12	9	9	6	9	8	8	12	8.3	7.9	8.3	79	83
TOLVA	8	Toneladas	9	8	7	6	6	11	12	8	11	4	8.2	7.8	8.2	62	66
MOLINO	1	Toneladas	9	7	12	8	7	11	12	11	6	10	9.3	8.8	9.3	9	9
CORTE DE BLOQUES	120	Unidades	5	12	10	11	11	10	11	5	10	6	9.1	8.6	9.1	1037	1092
HORNO	120	Unidades	12	12	11	7	9	11	6	12	11	4	9.5	9.0	9.5	1083	1140
ROBOT	30	Unidades	4	9	4	10	4	10	4	10	9	6	7	6.7	7	200	210
ESTIBADOR	100	Unidades	4	6	10	8	8	6	5	11	8	7	7.3	6.9	7.3	694	730
BODEGA PRODUCTO FINAL	50	Unidades	11	11	12	5	12	10	10	8	8	9	9.6	9.1	9.6	456	480
Total			60	69	78	64	66	75	69	73	71	58	68.3	64.9	68.3		

Bottleneck / Cuello de Botella

Tabla de tiempos con Robot implementado

PROCESO / ACTIVIDAD	Capacidad Instalada (minutos)	Unidades	Minutos										Producción				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Tiempo Promedio	Tiempo Normal	Tiempo Estándar	Estado Input	Estado Output
INICIO	10	Toneladas	6	4	11	4	7	10	9	11	10	8	8	7.6	8	76	80
TOLVA	8	Toneladas	10	9	7	6	5	12	9	10	4	5	7.7	7.3	7.7	59	62
MOLINO	1	Toneladas	9	6	10	10	5	8	7	4	6	10	7.5	7.1	7.5	7	8
CORTE DE BLOQUES	120	Unidades	11	11	10	9	5	6	4	5	4	10	7.5	7.1	7.5	855	900
HORNO	120	Unidades	7	6	12	5	11	11	8	9	11	10	9	8.6	9	1026	1080
OPERARIO	15	Unidades	6	8	10	11	4	8	6	12	12	9	8.6	8.2	8.6	123	129
ESTIBADOR	100	Unidades	4	11	7	11	11	5	7	4	7	8	7.5	7.1	7.5	713	750
BODEGA PRODUCTO FINAL	50	Unidades	10	8	9	12	9	5	4	7	8	4	7.6	7.2	7.6	361	380
Total			63	63	76	68	57	65	54	62	62	64	63.4	60.2	63.4		

Bottleneck / Cuello de Botella

Tabla de tiempos con Operario (Actualidad)

Para calcular los tiempos en las tablas anteriores se utilizaron las siguientes formulas y parámetros:

Tiempo promedio (TP):

$$TP = \frac{\sum \text{Tiempos tomados}}{N^{\circ} \text{ de tiempos}}$$

Tiempo Normal (TN): El cual es el tiempo ajustado al cuello de botella o Bottleneck, y acercándolo a un 95% (Dos sigma (2σ) del área bajo la curva de la distribución normal) de eficiencia, se calcula así:

$$TN = TP \times 95\%$$

Tiempo Estándar (TE): El cual es el tiempo normal ajustado a las holguras en las operaciones que en este caso sería del 5% para lograr un 100% que es lo que se desea alcanzar a un Seis-Sigma de producción *lean*.

$$TE = \frac{TN}{1 - \text{Holguras (5\%)}}$$

Los anteriores tiempos se tomaron con la presencia de un Operario en la línea de producción cuando las unidades de bloques salían (output) del horno para ser almacenadas en la bodega de inventario (stock) de producto terminado.

Luego se realizó la simulación con los mismos tiempos promedios, implementado un robot, para evidencia el nivel de eficiencia, y como ambos ajustado a las herramientas Seis-Sigma se adaptan para ejecutar controles efectivos.

Con lo anterior se puede concluir que el *Bottleneck* o Cuello de Botella, es el *Horno*, en donde se incluye un robot transportador de bloques terminados, y cuando es con un operario, aquí se evidencia que ya existirían dos cuellos de botella que en pocas palabras son quienes marcan el ritmo de la producción.

El análisis de métodos de la manufactura de bloques se enfocó en cómo se realizaban los procesos, involucrando el desarrollo de los procesos por cada uno de los equipos y máquinas en la línea de producción, el cual se resume en un *Diagrama de Flujo* el cual representa las actividades realizadas y los tiempos en cada etapa de producción de los bloques, como se representa a continuación:

FLUJO GRAMA DE MANUFACTURA DE BLOQUES

Inicio de la línea de producción (Materia prima=arcilla)

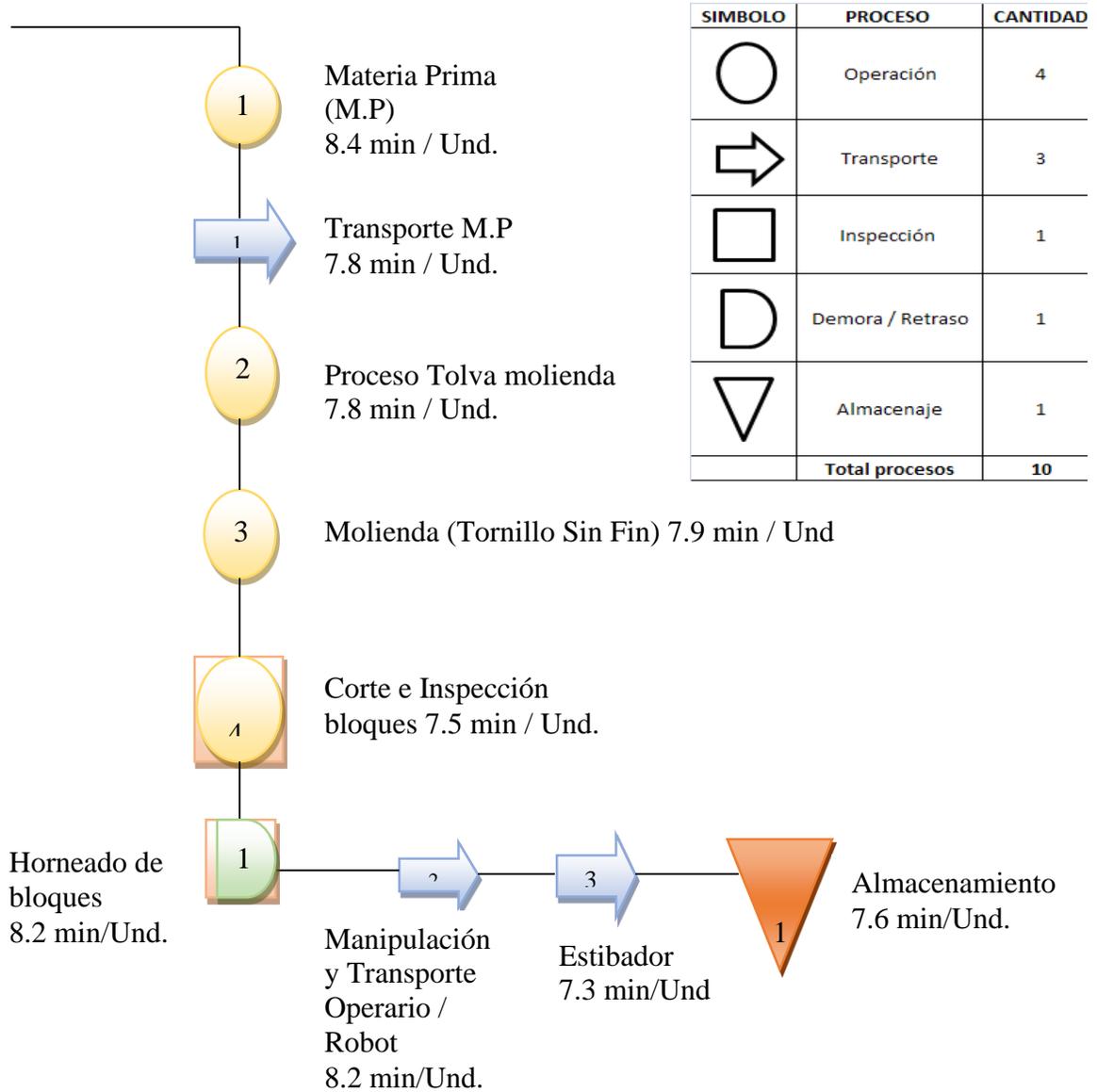


DIAGRAMA DE FLUJO DE MANUFACTURA DE BLOQUES

ESTUDIO DE TIEMPOS Y MOVIMIENTOS						
DIGRAMA ANALITICO DEL PROCESO						
	FECHA: 19-03-2014		LADRILLERA NORSAN LTDA			
	AREA: Línea de Producción		Tiempo: 3 Horas / Piso			
	OPERACIÓN: Bloques		Total Ciclos: 10			
	HERRAMIENTAS UTILIZADAS: Cronometro		OPERARIO: Raul Salinas			
			PIEZA: Bolque 25x15			
No.	DESCRIPCION DEL PROCESO	○	D	□	▽	⇒
MANUFACTURA DE BLOQUES (LADRILLOS)						
1	Inicio carga materia prima (arcilla)	○	D	□	▽	⇒
2	Transporte a la tolva	○	D	□	▽	⇒
3	Molienda en la Tolva	○	D	□	▽	⇒
4	Molienda en el Tornillo sin Fin	○	D	□	▽	⇒
5	Corte de bloques	○	D	□	▽	⇒
6	Cocido de bloque (Horno)	○	D	□	▽	⇒
7	Transporte a estibas	○	D	□	▽	⇒
8	Transporte de estibas a bodega	○	D	□	▽	⇒

3.1 Simulación Flexsim³⁷

La simulación utilizando el software Flexsim, permite recrear ciertos aspectos de la realidad con bastante similitud, como en este caso en la manufactura de bloques de arcilla, investigando y estudiando cómo funcionaría este sistema de producción y cómo reaccionaría frente a ciertos cambios de control estadístico con Seis-Sigma implementados.

La utilidad del modelo de simulación, radica en que la experimentación sobre el sistema real resulta muy costosa, puede generar el colapso de los procesos, o simplemente resultar infactible. La simulación con Flexsim, permite que una vez construido el modelo, sea posible realizar modificaciones fácilmente, con el objeto de probar cómo se comporta el sistema frente a un aumento o reducción de un recurso, o frente al aumento de la producción, así como el impacto que

podría generar la eliminación y/o agregación de un sub-proceso al sistema y obviamente aplicando controles Seis-Sigma.

Los modelos de simulación, pueden ser clasificados como determinísticos o estocásticos. Un modelo estocástico, no tiene ningún componente asociado a una distribución de probabilidad, esto quiere decir, que conocido el *input* que se entrega al sistema, se conoce inmediatamente el *output* que éste producirá. En este caso, modelo tiene características probabilísticas, por otra parte, sí incorpora componentes aleatorios, asociados a distribuciones de probabilidad, que durante la ejecución de la tarea, determinarán finalmente el *output* del sistema.

Con el software Flexsim aplicado a la presente investigación a fin de facilitar el modelamiento en una sola herramienta, pues integro otras características esenciales, como la conversión de los datos a una hoja de cálculo que fácilmente pudo llevarse a MATLAB, convirtiéndolo en un poderoso aliado para el análisis de sistemas complejo como la manufactura de bloques de arcilla, sin contar con la corrida del modelo en 3D, lo que facilita identificar posibles *cuernos de botella* u otros impactos a simple vista.

Para realizar la presente simulación, se tendrán en cuenta los siguientes conceptos:

- **Modelo:** Es una representación simplificada de un sistema, construido con el propósito de estudiarlo, donde son considerados los aspectos que afectan al problema de estudio y debe ser lo suficientemente detallado para obtener conclusiones que apliquen al sistema real.
- **Sistema:** Colección de entes que actúan o interactúan para la consecución de un determinado fin.
- **Estado:** es una condición propia de cada objeto en un instante dado, que describe como se encuentra el objeto en el momento en que se detiene la corrida, está determinada por el conjunto de variables o parámetros utilizados para construir cualquier sistema.

- **Evento:** Suceso instantáneo que puede cambiar el estado del sistema y de los objetos.

- **Entidad:** Representación de los flujos de entrada a un sistema.

- **Locaciones:** Todos aquellos lugares en los que la entidad puede detenerse para ser transformada o esperar a serlo.

- **Recursos: Dispositivos** necesarios para llevar a cabo una operación, estos pueden moverse.

- **Atributos:** Características de una entidad.

- **Variables: Condiciones** cuyos valores se crean y se modifican por medio de ecuaciones matemáticas y relaciones lógicas.

- **Reloj de Simulación:** Contador de tiempo de la Simulación. Mediante este se establece el tiempo que debe durar una Simulación. “Históricamente se han considerado dos mecanismos para el registro del tiempo reloj. El primero, que se conoce como avance variable de tiempo o avance de tiempo al siguiente evento, consiste en avanzar el reloj a la siguiente hora a que debe ocurrir el siguiente evento. El segundo método conocido como avance de tiempo de incremento fijo, consiste en avanzar el reloj en intervalos pequeños uniformes de tiempo y determinar en cada intervalo si deben ocurrir eventos en ese lapso.

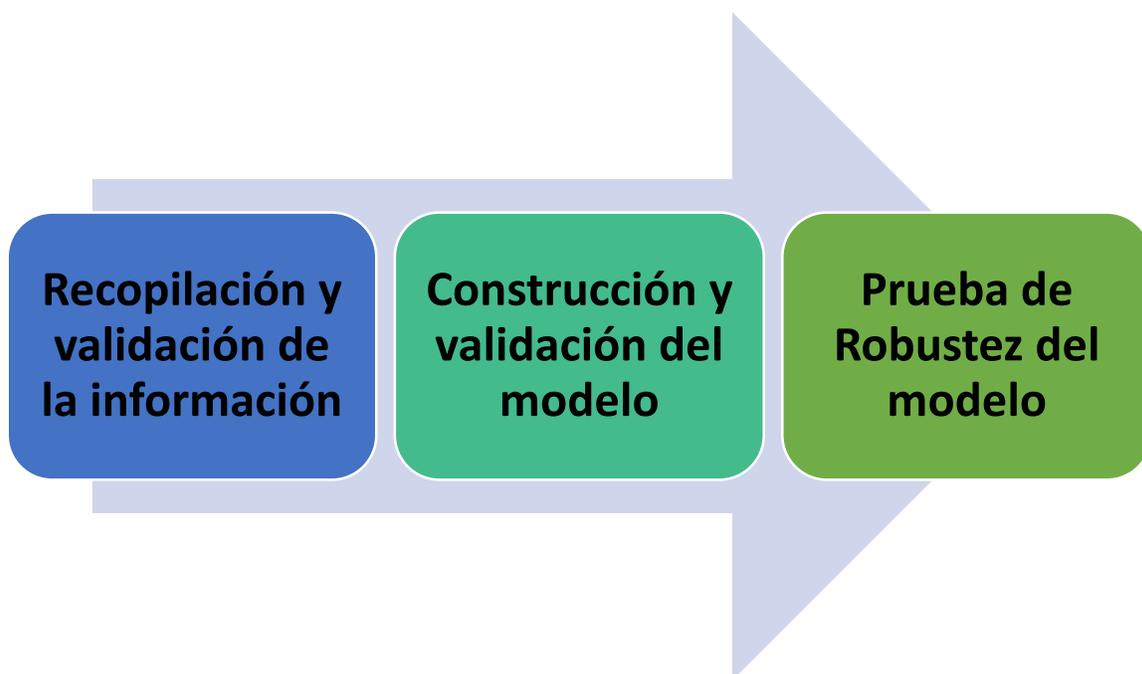
3.1.1 Metodología para la implementación de la simulación

Para abordar la simulación para la presente investigación, como proyecto adjunto es importante recordar que un modelo de simulación es una representación simplificada de una porción de la realidad, por lo tanto, si la modelación se realiza apropiadamente desde el inicio (desde la requisición de información), seguramente conducirá a una buena representación de la realidad a analizar.

Una requisición y pre-procesamiento de información apropiada no es sinónimo de volumen, es

decir, el hecho de recopilar grandes cantidades de información no garantiza el éxito de la modelación, lo cual fue algo que se tuvo en cuenta en la toma de tiempos, y el éxito radica en la capacidad para simplificar el gran volumen de información y nivel de detalle que represento el modelo de manufactura de los bloques de arcilla y resulto con una estructura mínima, la más simple, capaz de representar la complejidad de un sistema real.

Con lo anterior para el montaje del modelo se siguieron los siguientes pasos especificado en la siguiente gráfica:



Recopilación y validación de la información: En esta etapa es la construcción y análisis de un modelo de Simulación utilizando el demo de Flexsim, es que represente fielmente la realidad de la operación de manufactura de bloques de arcilla, que se llevó a cabo, teniendo presente con la información obtenida en campo, que se consideró previamente analizada y validada, para la construcción del modelo verificando que este se comporte de acuerdo a los parámetros o características que son propias de la realidad.

No obstante el modelo debe arrojar resultados que en contraste con la información real, tengan similitud y permitan comprender el sistema con mayor detalle. La validación del modelo base se realizó mediante evaluación de indicadores que se comparan con la información de la operación

real. En dado caso que el modelo arroje algunos resultados que no tengan similitud con respecto a la operación real, se debería validar contra el criterio de la herramienta Seis-Sigma.

Construcción y validación del modelo: La construcción del modelo de manufactura de bloques de arcilla, su escenario a fin de simular el sistema real, con el fin de evaluar su comportamiento en el tiempo, a fin de levantar las variables, definiendo las premisas y medidas de desempeño que permitan valorar dicho escenario. Sin embargo al ejecutar esta etapa ya se tenían los escenarios planteados, una breve descripción de cada escenario y un resumen con los resultados arrojados por cada escenario a la luz de los indicadores definidos con el control estadístico de Seis-Sigma.

Prueba de Robustez del modelo: El objetivo de esta etapa es evaluar la robustez de los escenarios ante cambios en las variables exógenas, que son aquellas variables externas al sistema como por ejemplo la demanda de bloques de arcilla en el mercado de la construcción, dando la debida importancia a las variables definidas y sensibles en el escenario de la simulación y obviamente teniendo en cuenta la ROBUSTEZ, que no es otra cosa que someter a prueba los cambios en las variables o parámetros que están inmerso en la manufactura del bloques de arcilla.

Con lo anterior con esta aplicación permitió inyectar realismo a cualquier industria, a lo cual para la presente tesis se incluyó utilizando un “demo”, que con las especificaciones necesarias para la respectiva simulación que permite en la simulación de la manufactura de ladrillos o bloques cerámica o arcilla es generar un sistema continuo o discreto logrando su máximo potencial usando Flexsim, para modelar, analizar, visualizar y optimizar en este caso el proceso de manufactura en este caso aplicado.

La estrategia prioritaria de controlar los procesos con seis-sigma será lograr que el excedente obtenido a través del valor agregado o añadido sea óptimo, pues minimizando los recursos en medios, los factores que generan costos innecesarios y el valor presente neto de las inversiones al implementar esta herramienta de control como a continuación en la siguiente gráfica resume los procesos y como seis sigma ejercería su influencia.

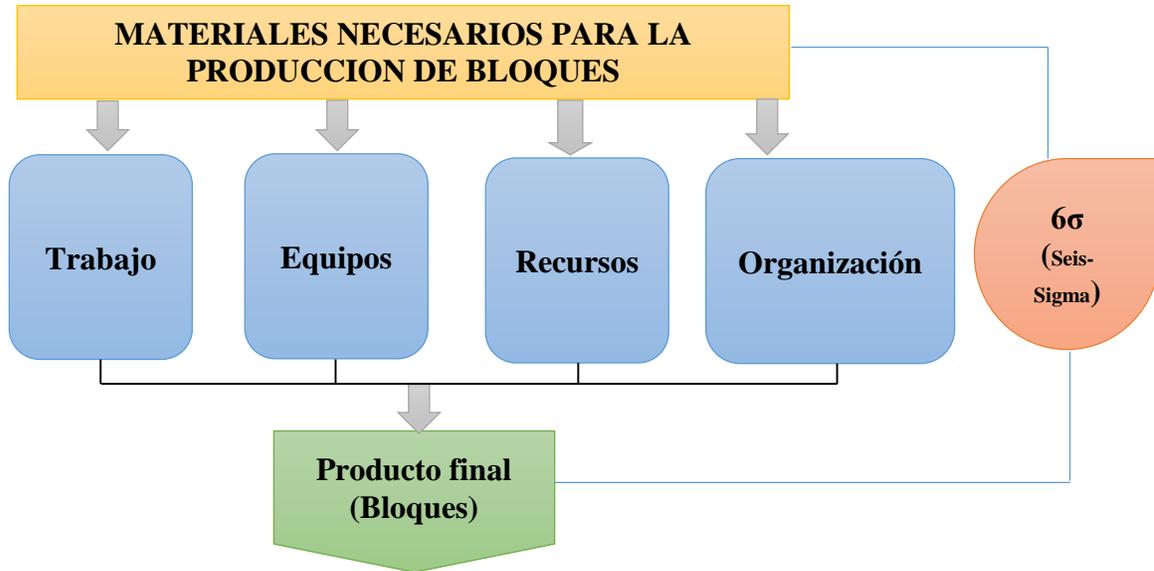


Figura N° 8 Diagrama cualitativo de Seis-Sigma para la manufactura de bloques de cerámica.

Con lo anterior se incluyeron los siguientes datos resumidos que se incluyeron en la tabla de tiempos recogida en campo o piso de la fábrica, para incluir en cada una de las variables o parámetros que influyeron en la manufactura de bloques de arcilla, para realizar la modelación con el demo de Flexsim, se realizaron las pruebas realizando dos modelos uno como se encuentra en la actualidad con un Operario en el transporte de las estibas con los ladrillos o bloques que salen del horno y otro modelo o simulación incluyendo un robot.

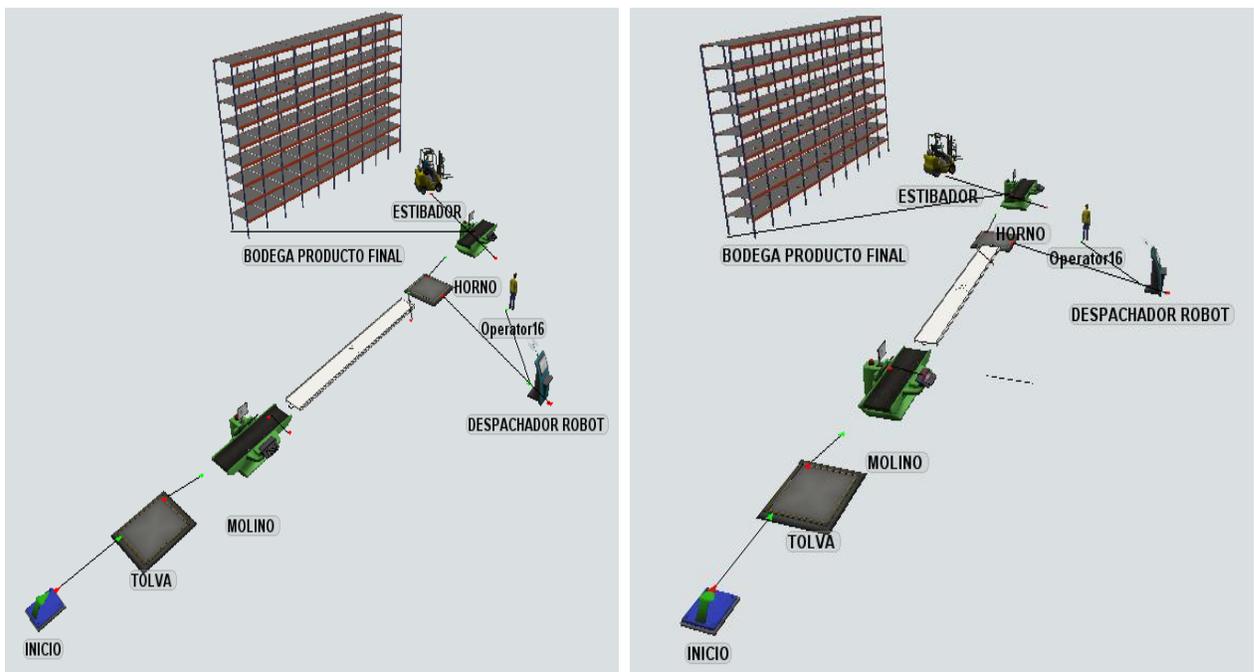


Figura: Simulación con Operario

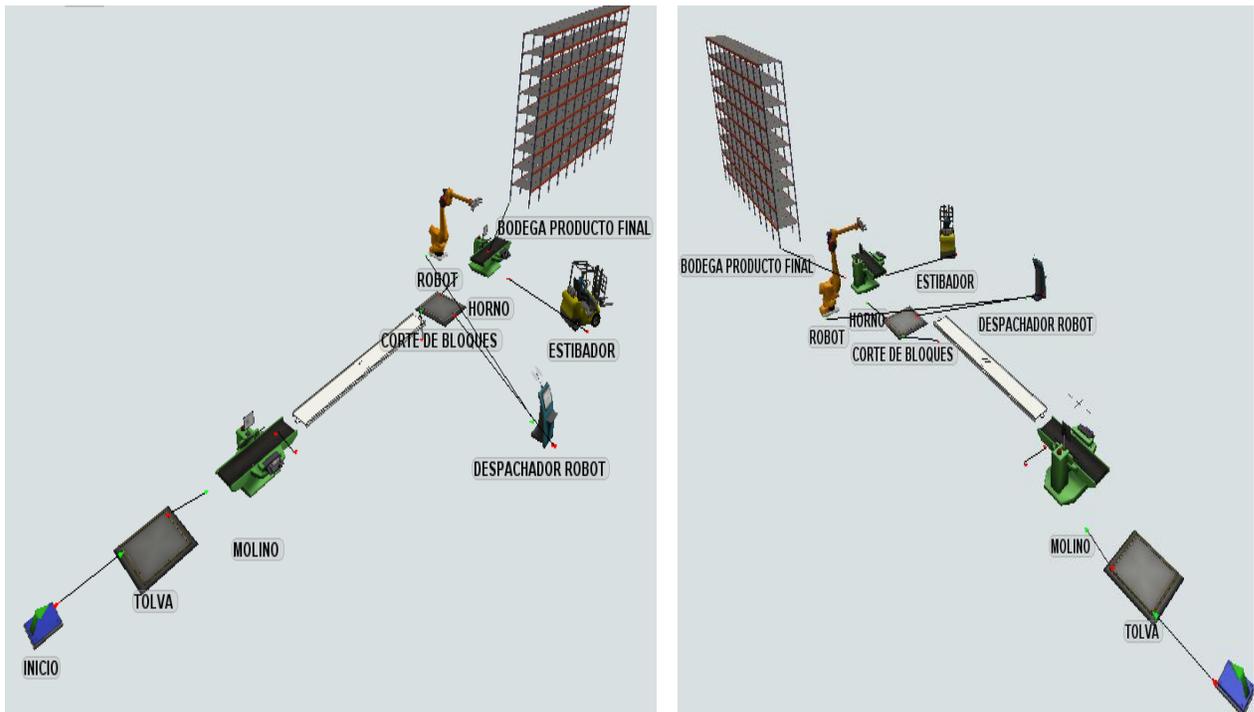
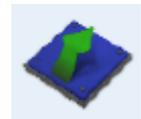


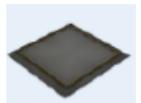
Figura: Simulación con Robot

Para la anterior simulación se utilizaron las siguientes herramientas que acoge Flexsim para el buen desempeño que permitió obtener óptimos resultados:

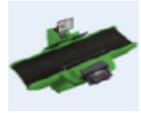
Source. El **Source** es usado para crear los flowitems (flujo de artículos) que viajaran a través del modelo. Cada **Source** crea una clase de flowitems y puede entonces asignar propiedades a cada uno como: color, Itemtype, etc. Que para la simulación indica el *Inicio* del proceso.



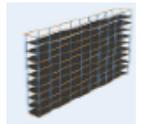
Queue. El **Queue** (Fila de Espera) es usado para almacenar flowitems (flujo de artículos) cuando los flowitems se están moviendo a través del modelo. Por defecto las colas trabajan con la configuración FIFO (First In First Out; Primero en Entrar Primero en Salir), lo que significa que el primer flowitems que entra es el primer flowitems en salir. Que para la simulación se utilizó para la Tolva el primer proceso de molienda de la arcilla.



Processor. El **Processor** es usado para simular el procesamiento de flowitems en un modelo. El proceso simplemente modela un retraso forzado en el flowitems. El tiempo total es dividido en un tiempo de alistamiento y tiempo de proceso. El **Processor** puede procesar más de un flowitems al tiempo. Puede llamar operarios durante el tiempo de alistamiento o el tiempo de proceso. Para la simulación se utilizó para el molino de tornillo sin fin.



Rack. El **Rack** es usado para almacenar flowitems como si se estuvieran almacenando en una bodega (Inventario Final / Stock). El número y tamaño de las bahías y niveles pueden ser definidas por el usuario. El usuario puede definir la bahía y el nivel donde quiere que se almacene un determinado flowitems. Que en este caso fue utilizado para la Bodega.



Operator. Los **Operator** pueden ser llamados por objetos fijos para ser utilizados durante el alistamiento, proceso o reparación. Estos estarán con los objetos que los llaman y luego son liberados. Una vez sean liberados, estos pueden trabajar con otros objetos fijos cuando son llamados. También pueden ser usados para llevar flowitems entre distintos objetos.



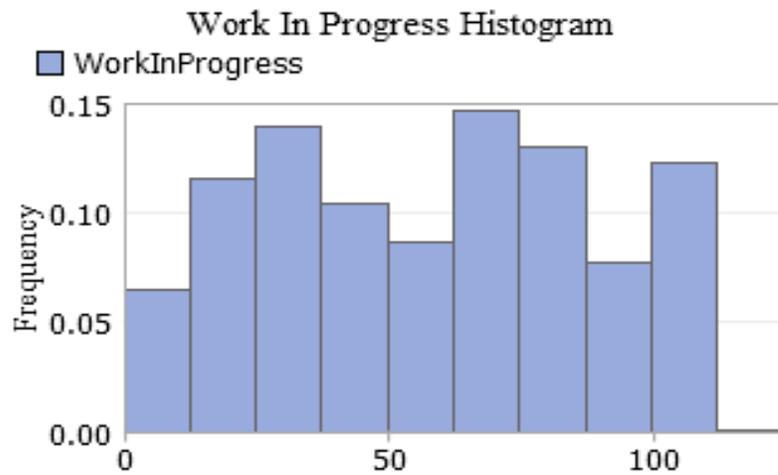
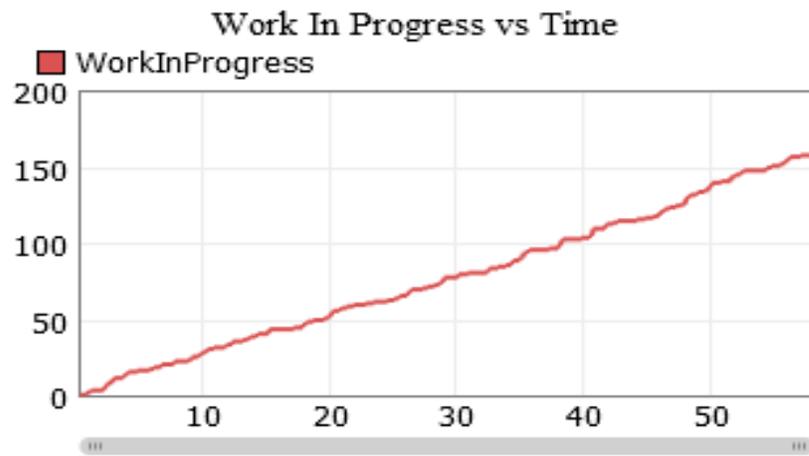
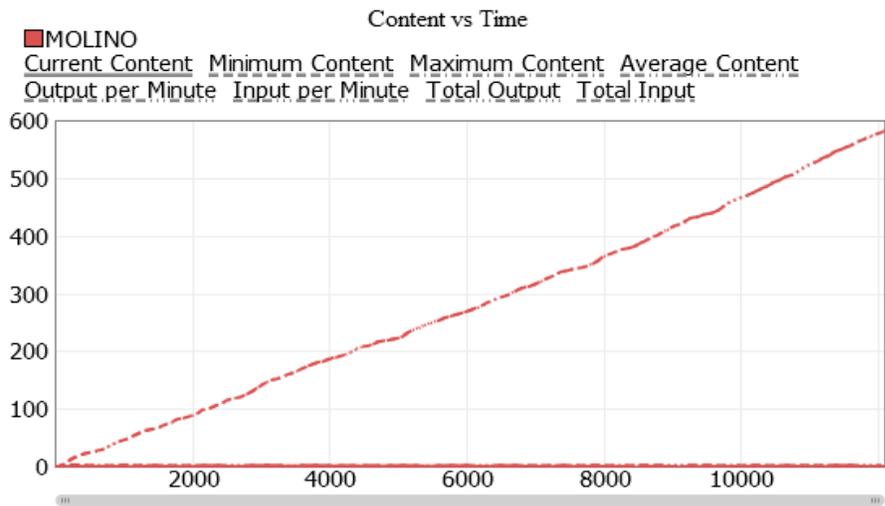
Robot. El **Robot** es un transportador asignado especial que permite levantar flowitems desde su posición inicial y los lleva hasta su posición final. Generalmente, la base del **Robot** no se mueve. En lugar de ello, posee seis (6) articulaciones que rotan y mueven los flowitems.

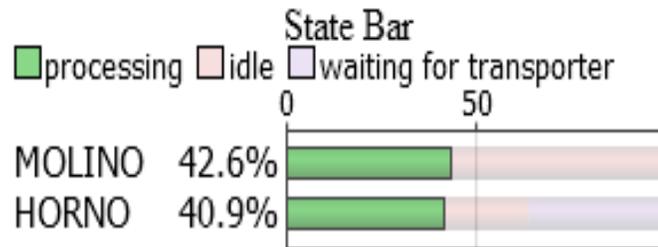
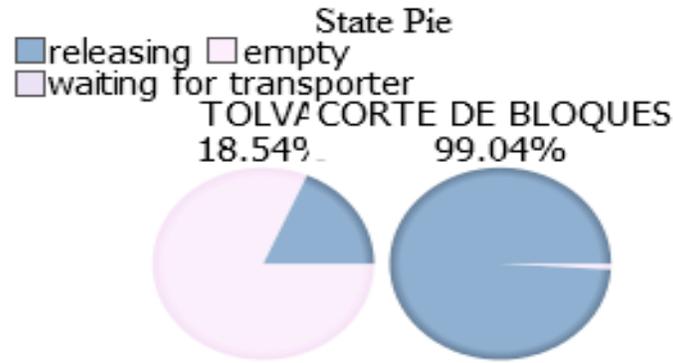


Transporter. El **Transporter** es usado principalmente para llevar flowitems de un objeto a otro. Cuenta con un elevador en forma de cuchillas que eleva los flowitems a una posición determinada. Puede llevar varios flowitems al tiempo de ser necesario.



3.1.2 Resultados de las simulaciones con el operario y robot





3.2 Simulación con SIMULINK

Flujograma de procesos de manufacturas simulado en SIMULINK³⁴, de bloques de arcilla o cerámica:

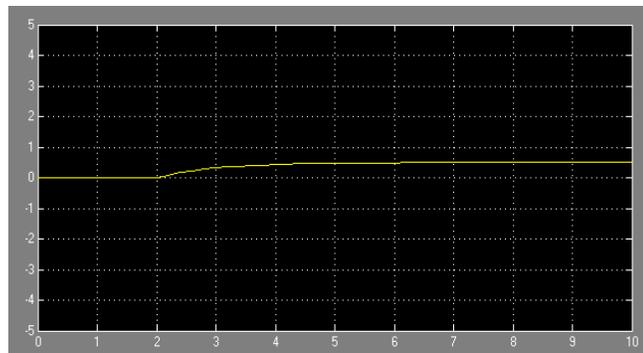
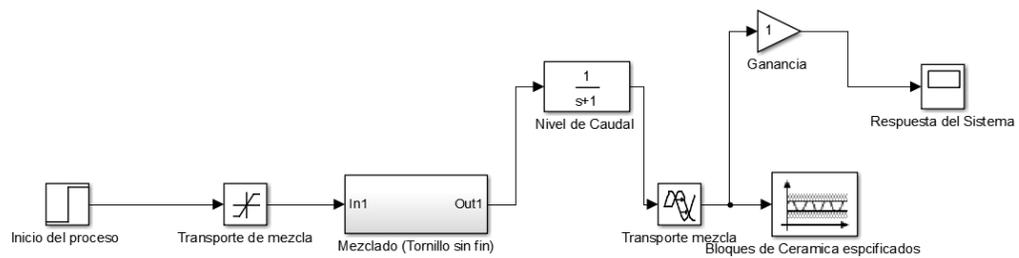


Figura N° 9 Simulación en SIMULINK de manufactura de Bloques de Cerámica

3.3 Producción Ajustada (Lean)

La producción ajustada o lean manufacturing, que es requerida como base para la consecución de la herramienta Seis-Sigma como control industrial, se ajustó a la simulación realizada con anterioridad y puede considerarse como el apoyo de operaciones bien realizadas por los equipos y requerimientos para la fabricación de bloques, enfocándose en ofrecer un producto de óptima calidad.

Entender los requerimientos de diseño, especificaciones y demás y asegurar el “input” del cliente y su “feedback”³⁵ constituyen los puntos de partida de la producción ajustada o lean manufacturing, lo cual en pocas palabras se visualiza en las demostraciones simuladas en la presente tesis y permitió identificar lo que tiene valor para el mercado o clientes objetivos, analizando todas las actividades desde la manufactura concurrente en la fabricación de los bloques de cerámica, exigidos por ese mercado, reflejado en un Inventario (stock) disponible siempre para poder satisfacer esa demanda.

Por tanto lo que se pretende es que los procesos sean altamente eficientes ajustándolos a los recursos, las operaciones, los recursos y equipos disponibles para la manufactura de bloques de cerámica, deben estar especificados en cuanto a secuencias, tiempos de producción, plazos y resultados (Límites de Diseño Superior e Inferior) para medir la capacidad del proceso, por tanto, las anteriores gráficas resumen los resultados necesarios para incluirlos en la herramienta seis-sigma permite realizar ajustes necesarios y con sus recursos *estadísticos* mide cuán lejos un proceso de producción en este caso de bloques de cerámica o arcilla se puede desviar de la “*perfección*”. Por tanto la idea central tras seis-sigma es que el número de “*defectos*” en un proceso puede ser medido, y que es posible calcular sistemáticamente cómo eliminarlos para estar más cerca posible de “*cero defectos*” por tanto a continuación para que esa producción sea ajustada (lean) se incluyeron los siguientes criterios cualitativos:

- **Calidad Crítica:** El atributo más importante para satisfacer las necesidades internas de manufactura concurrente de control y las necesidades del cliente.
- **Capacidad del Proceso:** Que proceso puede entregarse, para que la capacidad instalada se ajuste a las especificaciones de diseño.
- **Operación Estable:** Mantiene un proceso consistente y predecible para mejorar la producción y las expectativas enfocadas de calidad.

La transición a una producción ajustada o lean, aunque los procesos estén automatizados, resulta difícil no solo su diseño, si no su implementación, pues es también la creación de una cultura organizativa, donde el aprendizaje y el mejoramiento continuo deba ser una norma diaria, unos hábitos constantes y una capacidad *Resilientes*, para eliminar aquellas actividades que no añaden valor, desde la perspectiva del cliente, lo cual fueron algunas de las charlas y conversatorios con algunos de los operarios de turno y responsables de la empresa anfitriona al implementar controles estadísticos seis-sigma.

La recompensa que se recoge al implementar el apoyo requerido, es que antes de implementar el sistema de control estadístico seis-sigma, se realizó el modelamiento con Flexsim de los procesos que permitieron evidenciar las siguientes variables:

- ❖ Cuellos de botella³⁶
- ❖ Puntos Críticos
- ❖ Restricciones o limitaciones
- ❖ Feedback necesario

.Con esta simulación y los datos obtenidos en campos y el *Layout*, se extraen la información en tiempo real para enfocar, como se podría lograr que una empresa dedicada a la manufactura de bloques pueda alcanzar un nivel de Clase Mundial Seis-Sigma, implementando controles de calidad estadísticos eficientes.

CAPITULO IV CONTROL SEIS SIGMA (6 σ)

4.1 Enfoque Seis-Sigma

Desde que Motorola en el año 1987 diseñó e implementó esta herramienta de control de calidad por el ingeniero Bill Smith³⁸, y que posteriormente mejorado y popularizado por General Electric³⁷, los resultados que se obtuvieron para que industrias como Motorola recomendaran como pionera del diseño e implementación de Seis-Sigma, sus metas que alcanzaría serían las siguientes:

- ❖ Incremento de la productividad.
- ❖ Reducción de los costos de no calidad
- ❖ Eliminación del 99,99 % de los defectos en sus procesos.
- ❖ Ahorros en costos de manufactura, y un crecimiento anual compuesto sobre ganancias.

El costo en el diseño, implementación y ajustes en Seis Sigma se compensa ampliamente con los beneficios obtenidos a futuro, como más adelante se especificará el rendimiento sobre la inversión estimado y porque una manufactura de cerámica podría adoptar este método de control industrial.

En la actualidad Seis-Sigma ha ido evolucionando desde su aplicación meramente como herramienta de calidad a incluirse dentro de los valores clave de algunas empresas, como parte de su filosofía de actuación.

Aunque nació en las empresas del sector industrial, muchas de sus herramientas se aplican con éxito en el sector servicios en la actualidad.

Seis-Sigma se ha visto *influida* por el éxito de otras herramientas, como lean manufacturing, con las que comparte algunos objetivos y que pueden ser complementarias, lo que ha generado una nueva metodología conocida como *Lean Seis Sigma(LSS)*.

4.2 Lean Seis Sigma(LSS)

Lean Six Sigma es un programa de mejora de proceso que combina dos ideas: Lean o ajustado el cual recoge una colección de técnicas para reducir el tiempo necesario para proporcionar productos o servicios, y Six o Seis-Sigma que permite mejorar la calidad de los productos y servicios, contribuyendo sustancialmente a mayor satisfacción del cliente.

Mediante la combinación de los dos, *Lean Six Sigma* es una estrategia de gestión de negocio probado que ayuda a las organizaciones a operar de manera más eficiente. Según muchos analistas de negocios y expertos en mejora de la calidad, Lean Six Sigma es la metodología rendimiento

empresarial más popular en la historia del desarrollo de las empresas en la actualidad, y lo cual quienes nos involucramos en este sector, no solo es conocer sus funcionalidades, si no su estudio y aplicación como lo corresponde la presente tesis.

Debido a la competencia global, la apertura de tratados de libre comercio en la región de América Latina, Europa y Asia, con la acogida de Seis-Sigma con un enfoque basado en los mercados y clientes cada vez más exigentes, dando cuenta que los defectos / errores / equivocaciones son costosos y producen bajos ingresos y bajo el margen de utilidades. La recomendación que en la manufactura de bloques de arcilla o cerámica, es generar pocos defectos significarán bajos costos y mejora la satisfacción y lealtad del cliente, pues nuestro país y en particular nuestra región no es ajena a la competencia mundial y la demanda y oferta de productos de origen arcilloso, en particular de bloques para el mercado de la construcción.

Por tanto, el costo más bajo y el valor más alto para la producción redundan en el más competitivo mercado, por tanto con Seis-Sigma permite cumplir desde el Control Industrial de la manufactura la estrategia de la empresa.

Con el ajuste o *lean* de Seis-Sigma permite que los procesos controlados, generan más robustas todas las actividades que se realicen en la manufactura de bloques, lo que redundan en una calidad y una responsabilidad mejores para satisfacer las necesidades y requerimientos de diseño para la industria en este caso de manufactura de bloques y sus clientes.

Con Seis-Sigma para la presente tesis ayuda a comprender la estructura de los procesos de fabricación de bloques y a revelar las variables que afectan y no afectan de manera significativa al proceso.

Una vez identificadas, las variables que afectan el proceso pueden manipularse de manera controlada en pos de su mejoramiento. Cuando las variables que *verdaderamente influyen* en el proceso a través de las entradas que deben controlarse para mantener las salidas en un desempeño óptimo.

4.3 Principios de Seis Sigma

Los principios rectores de Seis Sigma es permitir alcanzar un buen desempeño en su capacidad instalada para responder a la demanda de sus productos, y en este caso de bloques, por tanto el esfuerzo por innovar mejores prácticas de manufactura que Seis Sigma ajusta para sus respectivos controles industriales y estos principios aunque inicialmente son de perfil cualitativo sería los siguientes:

- 1. Liderazgo comprometido de arriba hacia abajo.** Esta metodología implica un cambio en la forma de realizar las operaciones y de tomar decisiones. La estrategia se apoya y compromete desde los niveles más altos de la dirección y la organización.
- 2. Seis Sigma se apoya en una estructura directiva que incluye personal a tiempo completo.** La forma de manifestar el compromiso por Seis Sigma es creando una estructura directiva que integre líderes de negocio, de proyectos, expertos y facilitadores. Cada uno de los líderes tiene roles y responsabilidades específicas para formar proyectos de mejora.
- 3. Entrenamiento** Cada uno de los actores del programa de Seis Sigma requiere de un entrenamiento específico. Varios de ellos deben tomar un entrenamiento amplio, conocido como curriculum de *black belt*.³⁹
- 4. Acreditación:** Acreditar o asegurar sus procesos en calidad enlazado en certificaciones de calidad internacional (ISO 9001, BPM, etc.)
- 5. Orientada al cliente y enfocada a los procesos.** Esta metodología busca que todos los procesos cumplan con los requerimientos del cliente y que los niveles de calidad y desempeño cumplan con los estándares de Six o Seis Sigma.
Al desarrollar esta metodología se requiere profundizar en el entendimiento del cliente y sus necesidades. Con base en ese estudio sobre el cliente se diseñan y mejoran los procesos.
- 6. Dirigida con datos.** Los datos y el pensamiento estadístico orientan los esfuerzos de esta metodología. Los datos son necesarios para identificar las variables de calidad y los procesos y áreas que tienen que ser mejorados.
- 7. Se apoya en una metodología robusta** Se requiere de una metodología para resolver los problemas del cliente, a través del análisis y tratamiento de los datos obtenidos.
- 8. La metodología Seis Sigma plantea proyectos largos** Seis Sigma es una iniciativa con horizonte de varios años, con lo cual integra y refuerza otros tipos de iniciativa.
- 9. Seis Sigma se comunica** Los programas de seis-sigma se basan en una política intensa de comunicación entre todos los miembros y departamentos de una organización, y fuera de la organización. Con esto se adopta esta filosofía en toda la organización.

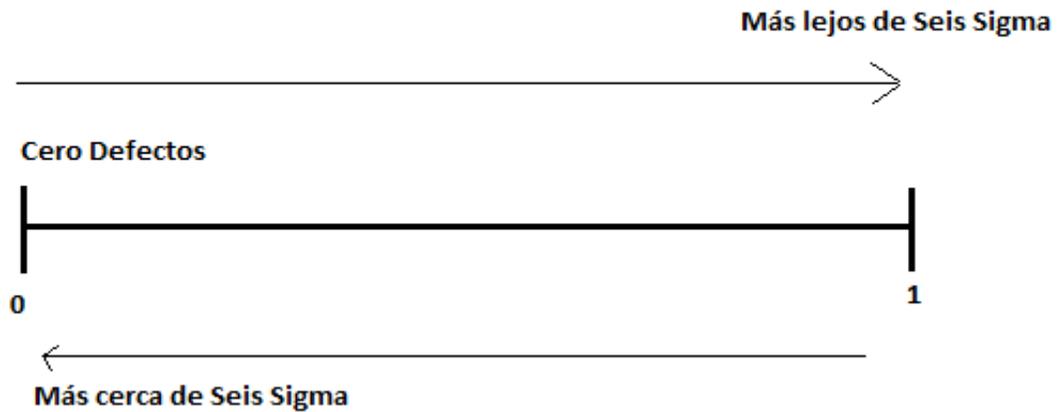
4.4 Enfoque cuantitativo Seis-Sigma

Cualquier proceso sea o no automatizado, puede aplicarse la metodología Seis-Sigma de control, para que este sea más robusto, en el caso de la fabricación de bloques de cerámica, para ello adoptamos el concepto Seis-Sigma como una medida de control *enfocado* a la calidad del bloque en una tanda particular de producción. Ejemplificando, como se aprecia en la simulación captada en *Flexsim* que permitió con ese software la *flexibilidad*, a fin de alcanzar un alto nivel de sigma relacionado con tres sigmas (3σ), implicando dentro de las especificaciones y de acuerdo al área bajo la curva de distribución normal como se relaciona en el Teorema de Chebyshev³⁹ que en la siguiente tabla se especifica:

Rango de Sigmas	Rendimiento (%)	DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades)
$\mu \pm 1\sigma$	68.24%	700.000 $\left[\frac{700000}{1000000} = 0.7 \right]$
$\mu \pm 2\sigma$	95.74%	300.000 $\left[\frac{300000}{1000000} = 0.3 \right]$
$\mu \pm 3\sigma$	99.74%	70.000 $\left[\frac{70000}{1000000} = 0.07 \right]$
$\mu \pm 4\sigma$	99.95%	6.000 $\left[\frac{6000}{1000000} = 0.006 \right]$
$\mu \pm 5\sigma$	99.99%	200 $\left[\frac{200}{1000000} = 0.0002 \right]$
$\mu \pm 6\sigma$	99.99997%	3.4 $\left[\frac{3.4}{1000000} = 0.0000034 \right]$

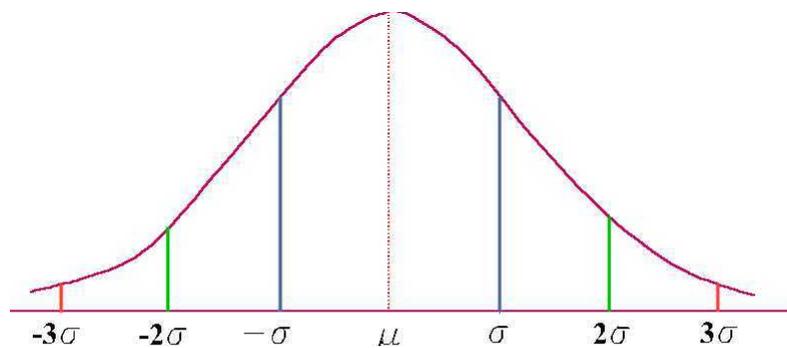
Tabla N° 2 Rangos de Desviaciones Estándar.

Estos datos previamente establecidos por los pioneros de Seis-Sigma, a fin de establecer los *Defectos Por Millón de Oportunidades*, en una tanda de producción anual de un mínimo de 1'000.000 de unidades, en este caso particular de bloques. Con lo anterior entre más se aleje de cero y se acerque a uno (1), en una auditoría anual en la planta de producción, tendríamos problemas de producción, pero si por el contrario nos acercamos más a cero, pues tendríamos “cero defectos” en la producción, como se especifica en la siguiente gráfica.



No obstante, si simulando el proceso de fabricación de bloques de arcilla o cerámica para la construcción del nivel de calidad, en cada uno de esas desviaciones estándar:

- ✓ 1σ
- ✓ 2σ
- ✓ 3σ
- ✓ 4σ
- ✓ 5σ
- ✓ 6σ



Se adapta a la tanda de producción que tiene la capacidad instalada de la planta de la empresa anfitriona en una producción media diaria de bloques de seis mil (6000) en una jornada laboral legal establecida en Colombia de ocho (8) horas al día (8 horas / día), por tanto la productividad sería de:

$$\frac{6000 \text{ bloques}}{8 \text{ horas}} = 750 \text{ bloques/Hora}$$

Equivalente a periodos de semanas laborales legales en Colombia de 5 días y medio (5.5 días), trabajando los 12 meses del año en:

$$6000 \text{ bloques} \times \text{semana (5,5 día)} = 33000 \text{ bloques/semana}$$

Lo que al mes (con 4 semanas laborables):

$$33000 \text{ bloques/semana} \times 4 = 132000 \text{ bloques/mes}$$

Anualmente sería de:

$$132000 \text{ bloques/mes} \times 12 \text{ meses} = 1'584.000 \text{ bloques/año}$$

Con el DPMO⁴⁰, que en este caso para poder comparar con cada uno de los rangos las desviaciones estándar desde el más bajo, hasta el más alto nivel de calidad aplicado a los datos obtenidos en campo y en la simulación, tan solo enfocado en los defectos que tendrían los bloques en la tanda de producción, quedando la siguiente tabla con la producción promedio anual de **1.584.000 bloques**.

Rango de Sigmas	Rendimiento (%)	DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades)
$\mu \pm 1\sigma$	68.24%	700.000 $\left[\frac{700.000}{1'584.000} = 0.44 \right]$
$\mu \pm 2\sigma$	95.74%	300.000 $\left[\frac{300.000}{1'584.000} = 0.189 \right]$
$\mu \pm 3\sigma$	99.74%	70.000 $\left[\frac{70.000}{1'584.000} = 0.04 \right]$
$\mu \pm 4\sigma$	99.95%	6.000 $\left[\frac{6.000}{1'584.000} = 0.003 \right]$
$\mu \pm 5\sigma$	99.99%	200 $\left[\frac{200}{1'584.000} = 0.00001 \right]$
$\mu \pm 6\sigma$	99.99997%	3.4 $\left[\frac{3.4}{1'584.000} = 0.000002 \right]$

Con la anterior tabla se puede demostrar con la tanda de producción anual, el número de unidades defectuosas, que se resumen a continuación:

Rango de Sigmas	Rendimiento (%)	DPMO (Defectos Por Millón de Oportunidades)	Bloques Defectuosos
$\mu \pm 1\sigma$	68.24%	700.000 $\left[\frac{700.000}{1'584.000} = 0.44 \right]$	1 en 23 bloques
$\mu \pm 2\sigma$	95.74%	300.000 $\left[\frac{300.000}{1'584.000} = 0.189 \right]$	1 en 53 bloques
$\mu \pm 3\sigma$	99.74%	70.000 $\left[\frac{70.000}{1'584.000} = 0.04 \right]$	1 en 226 bloques
$\mu \pm 4\sigma$	99.95%	6.000 $\left[\frac{6.000}{1'584.000} = 0.003 \right]$	1 en 2.640 bloques
$\mu \pm 5\sigma$	99.99%	200 $\left[\frac{200}{1'584.000} = 0.00001 \right]$	1 en 79.200 bloques
$\mu \pm 6\sigma$	99.99997%	3.4 $\left[\frac{3.4}{1'584.000} = 0.000002 \right]$	1 en 4'658.824 bloques

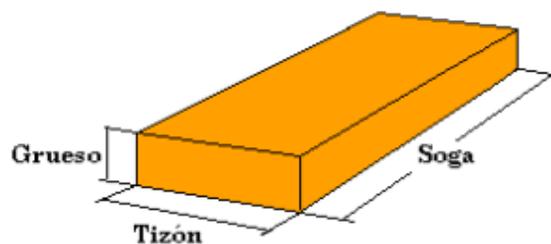
Lo que se busca es ejercer un control industrial para que los procesos de producción operen bajo Seis-Sigma (6σ) para estar “casi” libre de defectos, como se aprecia en la tabla anterior y pueda considerarse como “el mejor de su tipo” pues en términos estadísticos de control de procesos significa un **0,00034%**, por un millón de unidades fabricadas en una jornada laboral legal en Colombia de 8 horas /día. No obstante el impacto esencia con Seis-Sigma es reducir los defectos, los errores y las equivocaciones a “cero”. El proceso producirá satisfacción del mercado o clientes específicos en este caso relacionados con la construcción.

Para el caso de los defectos que podrían presentarse en una tanda de producción que están relacionados con todas las operaciones implicadas en la producción como son las siguientes:

- ❖ Molienda
- ❖ Tamizado
- ❖ Mezclado
- ❖ Extrusión
- ❖ Corte
- ❖ Horneado de secado
- ❖ Horneado de cocción
- ❖ Almacenamiento

Los defectos que podrían presentarse, en cada unidad o bloque de arcilla o cerámica para la construcción, independientemente del diseño o especificaciones, que en el mercado se encuentran los más comunes como son los siguientes:

- ✓ Bloque macizo
- ✓ Bloque Perforado
- ✓ Bloque cerámico perforado
- ✓ Bloque cerámico macizo



Denominación de las aristas

Figura N° 10 Esquema Bloque Cerámico Macizo

Y los defectos que pueden generar rechazo por los clientes o mercado específico del área de la construcción son los siguientes:

- ✓ Fisuras
- ✓ Dimensiones
- ✓ Esmaltado (apariencia externa)
- ✓ Rugosidad en áreas no necesarias, que permite el acople con el mortero.
- ✓ Hidrófugas innecesarias en el bloque
- ✓ Baja resistencia mecánica (Compresión y extrusión)

Para la presente tesis, solo se enfocó que bloques macizos de cerámica, y atendiendo los anteriores defectos se tomaron los datos para los controles de prevención específicos.

CAPITULO V MAPA DE RUTA DE CONTROL SEIS SIGMA

Aunque se han mencionado los diversos atributos que contiene Seis-Sigma como herramienta de control de calidad estadístico, aunque no alcanza la perfección de “cero” defectos tan solo de 99.99997%, en la presente tesis es asumir el diseño en un proceso de control industrial en la fabricación de bloques de cerámica, por tanto seis-sigma se empareja con las técnicas de control ya existentes para incrementar el desempeño.

No obstante antes de evidenciar el mapa de ruta de control es enfocar que las maneras más eficientes de mejorar los procesos en este caso de la fabricación de bloques son de la siguiente manera:

Eliminar	—————→	Desperdicio
Minimizar	—————→	Sin Valor Agregado
Maximizar	—————→	Valor Agregado

El diseño del mapa de ruta de control seis sigma empieza con el ciclo o cadena de producción, en el conjunto de actividades estructuradas que se enfocan en asegurar la calidad, la robustez y confiabilidad del producto, reduciendo costo y finalmente incrementando el valor para el cliente.

Antes del montaje del mapa de ruta de control, es menester documentar los procesos como lo exigen algunas normas o sistemas de gestión de calidad integrado como las normas ISO 9001:2008, lo cual es requerido como base para su implementación, por tanto el programa que se requiere para el mapa de procesos para su respectivo control para asegurar la calidad se enfatizan en:

- **Definir:** Las metas susceptibles de cambios, identificando los factores importantes, las expectativas, los recursos y la programación de la producción.
- **Medir:** Medir el proceso y determinar el actual desempeño, de los datos tomados en campo, por tanto el proceso de control con seis-sigma, requiere cuantificar y comparar el proceso a través de datos reales. Sin embargo, este proceso no es simplemente recolectar datos reales en dos puntos y extrapolarlos a algunos valores extremos. Por lo menos, debe considerarse el desempeño medio (μ) y algún estimado de la dispersión o de variación (calculando la desviación estándar (σ)). Las tendencias de ciclos en la fabricación de datos también suministraron información importante y más aún en la simulación realizada en SIMULINK y FLEXSIM.
- **Analizar:** Analizar los datos y determinar la raíz de los defectos evitando feedback. Una vez comprendido el proceso de fabricación y el desempeño básico, es a través de la existencia de una oportunidad de mejora en el proceso. Aquí se utilizarán herramientas estadísticas inferencial para validar las causas/efectos de los problemas que se presenten y los *puntos*

críticos. Pues el objetivo es comprender el proceso a un nivel suficiente que facilite la formulación de opciones de mejora. No obstante también como complemento a la presente tesis es medir el *impacto económico* y el retorno de la inversión al diseñar e implementar unos controles de estas características como lo es Seis-Sigma.

- **Mejorar:** Mejorar el proceso con la eliminación de defectos y desperdicios que no agregan valor, descubriendo y validando los datos, esquematizándolo utilizando la herramienta de “espinas de pescado” o Diagrama Ishikawa⁴¹. Como parte del proceso seis-sigma de control, deben asegurar que los resultados deseados están siendo logrados. Pues en la presente tesis los experimentos realizados y las pruebas fueron necesarios para encontrar la solución.
- **Controlar:** Controlar el proceso de fabricación de bloques de cerámica para la construcción el cual es la esencia de la presente tesis para un óptimo desempeño, los mecanismos, las mediciones de seguimiento y aseguramiento en aras de la calidad, a través del enfoque seis-sigma estadístico y optimizado de control.

Por tanto los cinco (5) pasos de control industrial seis-sigma (6σ) y su ruta o mapa de control se resume en los siguientes esquemas de mejoramiento continuo cíclico.

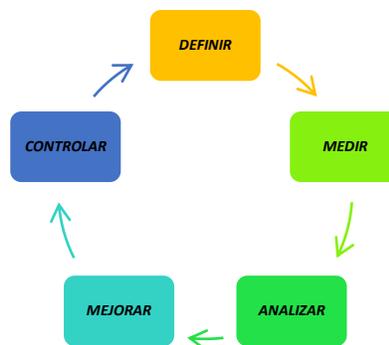


Figura N° 11 Mapa de ruta cíclico

5.1 DEFINIR (D)

Definir en seis-sigma y en la presente tesis, significa establecer las causas que generan una mala calidad y ausencia de controles que la producción de bloques de cerámica y acordar sus limitaciones. En esta fase se concentraron los recursos en el tiempo que duro el levantamiento de datos en campo, definiendo los criterios cuantitativos y los requerimientos del producto final en C.C.C (Características Críticas de Calidad) y los procesos modulares involucrados en toda la cadena de producción de bloques.

Las C.C.C son las claves en la presente tesis del desempeño mensurable de los datos extraídos en campo, en especial a los *puntos de comprobación* y *puntos de control* que se usaron para

medir el progreso de las actividades relacionadas con la producción de los bloques, y la diferencia en estos dos puntos son los siguientes:

- **Puntos de Comprobación:** Representan criterios orientados a los procesos.
- **Puntos de Control:** Representan criterios orientados a los resultados.

A partir de identificar estos *puntos*, se pudo definir las expectativas requeridas para obtener un producto, en este caso unos bloques de calidad seis-sigma o con “cero” defectos o en un 99.99997% de calidad.

En primera instancia en la progresión de la toma de datos y determinar los requerimientos en estos dos puntos *Definidos*, a continuación se esquematiza los elementos involucrados para la toma de datos requerida que permitió analizar la información:



Figura N° 13 Pasos de Definición de Información

No obstante los procesos para la manufactura de bloques de cerámica, tienen variables de salida o de respuesta, las cuales deben cumplir con ciertas especificaciones a fin de considerar que el proceso está funcionando de manera satisfactoria.

Evaluar la habilidad o capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural de éste para una característica de calidad dada, lo cual permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple especificaciones).

En esta sección para Definir las variables, se supone que se tiene una característica de calidad de los bloques de cerámica (producto final de la cadena de producción) o variable de salida de un proceso, del tipo valor nominal es mejor, en donde, para considerar que hay calidad las mediciones deben ser iguales a cierto valor nominal o ideal (n), o al menos tienen que estar con holgura dentro de las especificaciones inferior (EI) y superior (ES).

Por tanto la *Capacidad del proceso* consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada, ya que esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad es satisfactoria (cumple las especificaciones).

Para la presente tesis, se deben *Definir* las variables involucradas en los datos que se analizarán en el último proceso de toda la cadena de producción que determina si la manufactura de los bloques de cerámica alcanza un nivel seis-sigma de calidad. Las variables definidas son las siguientes:

5.1.1 Capacidad del Proceso (C_p): Consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada, ya que esto permitirá saber en qué medida tal característica de calidad se alcanza la satisfacción.

$$C_p = \frac{ES - EI}{6\sigma}$$

Aquí sigma (σ) representa la desviación estándar del proceso, mientras que **ES** y **EI** son las especificaciones superior e inferior para la característica de calidad. Como se puede observar, el índice C_p compara el ancho de las especificaciones o variación tolerada para el proceso con la amplitud de la variación real de éste:

$$C_p = \frac{\text{Variación Tolerada}}{\text{Variación Real}}$$

Por tanto al decir Seis-Sigma (6σ) son seis veces la desviación estándar, debido a las propiedades de la **Distribución Normal**¹³.

5.1.2 Índice de Capacidad del Proceso (C_p): Es el que resulta de dividir el ancho de las especificaciones (variación tolerada) entre la amplitud de la variación natural del proceso.

Para que el proceso, en este caso, en la fabricación de bloques de cerámica sea considerado capaz de cumplir con las especificaciones, se requiere que la variación natural sea siempre menor que la variación tolerada, de aquí que lo deseable es que el índice C_p sea mayor que 1; si el valor del índice C_p es menor que uno, será una evidencia de que el proceso no cumple con las especificaciones. Para una mejor interpretación a continuación se *Define* la siguiente tabla que permite visualizar realizando la simulación de la producción de bloques, en que condición se encuentra la manufactura nortesantandereana, esta tabla está especificada en la norma ISO 12783⁴² y es la siguiente:

Valor del Índice C_p	Clase o Categoría del Proceso	Condición
$C_p \geq 2$	Clase Mundial	Cuenta con un nivel alto de calidad Seis-Sigma (6σ)
$C_p \geq 1.33$	1	Adecuado
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere controles estrictos.
$0.67 < C_p < 1$	3	No adecuado para el trabajo, es necesario un análisis del proceso. Requiere modificaciones serias para alcanzar la calidad satisfactoria.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones muy serias.

Tabla N° 3 ISO 12783 para control de calidad

Utilizando las cinco categorías de la tabla anterior, en las cuales depende del valor C_p , se desprenden otros indicadores necesarios como los siguientes:

5.1.3 Indicador C_r : Es el indicador de la capacidad potencial del proceso que divide la amplitud de la variación natural de éste entre la variación tolerada. Representa la proporción de la banda de especificaciones que es cubierta por el proceso.

También conocido como *Razón de Capacidad Potencial* definido por:

$$C_r = \frac{6\sigma}{ES - EI}$$

Como se puede apreciar el índice C_r es el inverso del C_p ya que compara la variación real frente a la variación tolerada. Con este índice se pretende que el numerador sea menor que el denominador, es decir, lo deseable son valores C_r pequeños (menores que 1 $C_r < 1$). La ventaja del índice C_r sobre el C_p es que su interpretación es un poco más “intuitiva”, a saber que el apéndice **5.6 Indicadores de control** para la fabricación de bloques de cerámica se explicará mejor.

No obstante el índice **Cp** estima la capacidad potencial del proceso para cumplir con especificaciones, pero una de sus desventajas es que no toma en cuenta el centrado del proceso, ya que en su fórmula para calcularlo no incluye la media del proceso μ

Una forma de corregir esto es evaluar por separado el Procesos con doble especificación el cumplimiento de las especificaciones inferior y superior, a través del índice de capacidad para la especificación inferior (**Cpi**), y el índice de capacidad para la superior (**Cps**), que se

$$C_{pi} = \frac{\mu - EI}{3\sigma} \qquad C_{ps} = \frac{ES - \mu}{3\sigma}$$

A continuación las definiciones de cada uno de estos indicadores definidos para esta investigación.

5.1.4 Indicador C_{pi}: Indicador de la capacidad de un proceso para cumplir con la especificación para cumplir con las especificaciones inferiores de una característica de calidad.

5.1.5 Indicador C_{ps}: Indicador de la capacidad de un proceso para cumplir con la especificación superior de una característica de calidad.

Estos índices si toman en cuenta la media (μ), al calcular la distancia de la media del proceso a una de las especificaciones. Esta distancia representa la variación tolerada para el proceso de un solo lado de la media o área bajo la curva. Por eso solo se divide entre 3σ por que sólo se está tomando en cuenta la mitad de la variación natural del proceso. Para interpretar cada uno de estos índices **Cp**, **Cr**, **C_{pi}** y **C_{ps}**, la siguiente tabla ayuda a su interpretación.

Valor Índice (Corto Plazo)	Proceso con doble especificación (Cp)		Con referencia a una sola especificación (Cr C _{pi} y C _{ps})	
	% Fuera de las dos especificaciones	Partes Por Millón (PPM)	% Fuera de una especificación	Partes por Millón (PPM)
0.2	54.8506 %	548506.130	27.4253 %	274253.065
0.3	36.8120 %	368120.183	18.4060 %	184060.092
0.4	23.0139 %	230139.463	11.5070 %	115069.732
0.5	13.3614 %	133614.458	06.6807 %	66807.229
0.6	7.1861 %	71860.531	03.5930 %	35930.266
0.7	3.5729 %	35728.715	1.7864 %	17864.357
0.8	1.6395 %	16395.058	0.8198 %	8197.529
0.9	0.6934 %	6934.046	0.3467 %	3467.023
1.0	0.2700 %	2699.934	0.1350 %	1349.967
1.1	0.0967 %	966.965	0.0483 %	483.483
1.2	0.0318 %	318.291	0.0159 %	159.146

1.3	0.0096 %	96.231	0.0048 %	48.116
1.4	0.0027 %	26.708	0.0013 %	13.354
1.5	0.0007 %	6.802	0.0003 %	3.401
1.6	0.0002 %	1.589	0.0001 %	0.794
1.7	0.0000 %	0.340	0.0000 %	0.170
1.8	0.0000 %	0.067	0.0000 %	0.033
1.9	0.0000 %	0.012	0.0000 %	0.006
2.0	0.0000 %	0.002	0.0000 %	0.001

TABLA N° 4 Valores específicos de indicadores

Un aspecto a destacar es que la interpretación de la anterior tabla, se fundamenta la característica de calidad y el control realizado se distribuye de modo normal, que el proceso es estable (está en control estadístico) y que se conoce la desviación estándar del proceso, es decir, la desviación estándar no es una estimación con base en una muestra.

La violación de alguno de estos supuestos, sobre todo de los últimos dos, afecta sensiblemente la interpretación de los índices. Más adelante en la indicador de Control e Indicadores Industriales para en este caso aplicado, se verá la interpretación de los índices cuando éstos se calculan (estiman) a partir de una muestra.

Al analizar el proceso se encuentra que su capacidad no es compatible con las tolerancias, existen tres opciones:

1. Mejorar el proceso.
2. Cambiar las tolerancias o sufrir e inspeccionar 100% de los bloques manufacturados.
3. Por el contrario, si hay capacidad excesiva, ésta se puede aprovechar, por ejemplo, reasignando los procesos a máquinas extrusoras menos precisas, acelerando el proceso y reduciendo la cantidad de inspección.

5.1.6 Indicador C_{pk} : Indicador de la capacidad real de un proceso, en este caso de la fabricación de bloques de cerámica, que se puede ver como un ajuste del índice C_p para tomar en cuenta el centrado del proceso.

Tal vez sea una versión corregida del C_p que sí toma en cuenta el centrado del proceso. Existen varias formas equivalentes para calcularlo, una de la más común y que se utilizará en esta investigación será la siguiente:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma}, \frac{ES - \mu}{3\sigma} \right]$$

Como se aprecia, el índice C_{pk} es igual al valor más pequeño entre C_{pi} y C_{ps} , es decir es un intervalo de aceptación o *ganancia* pues si este índice C_{pk} es satisfactorio mayor a 1.25, indicará más adelante al extraer los datos de la simulación realizada en SIMULINK y FLEXSIM en paralelo, que el proceso en realidad es capaz de responder a los requerimientos de calidad por los controles realizados, de lo contrario siendo menor a uno ($C_{pk} < 1$) no cumpliría con por lo menos a una de las especificaciones, para interpretar este índice C_{pk} se tendrán en cuenta las siguientes

Definiciones cualitativas:

- El índice C_{pk} siempre va a ser menor o igual que el índice C_p , cuando son muy próximos, eso indica que la media del proceso está muy cerca del punto medio de las especificaciones, por lo que la capacidad potencial y real son similares.
- Si el valor del índice C_{pk} es mucho más pequeño que el C_p , significa que la media del proceso está alejada del centro de las especificaciones. De esta manera, el índice C_{pk} estará indicando la capacidad real del proceso, y si se corrige el problema de descentrado se alcanzará la capacidad potencial indicada, por el índice C_p .
- Cuando el valor del índice C_{pk} sea mayor a **1.25** en un proceso ya existente, se considerará que se tiene un proceso con capacidad satisfactoria.
- Es posible tener valores del índice C_{pk} iguales a cero o negativos, e indican que la media del proceso está fuera de las especificaciones.

5.1.7 Indicador C_k : Es un indicador de qué tan centrada está la distribución de un proceso con respecto a las especificaciones de una característica de control de calidad dada.

Un aspecto importante en el estudio de la capacidad del proceso de producción de bloques de cerámica fue evaluar si la distribución de la característica de control de calidad está centrada con respecto a las especificaciones, por ello fue útil calcular el *Índice Centrado del Proceso (K)*, que se calcula de la siguiente manera, con el siguiente modelo matemático estadístico inferencial.

$$K = \frac{\mu - n}{\frac{1}{2}[ES - EI]} \times 100\%$$

Como se aprecia, este indicador mide la diferencia entre la media (μ) del proceso de fabricación de bloques de cerámica, y el valor objetivo nominal n^{49} , que es la muestra de la población de toda la producción en una jornada laboral, comparada esta diferencia con la mitad de la amplitud de las especificaciones. Multiplicar por 100% ayuda en la presente aplicación a tener una medida porcentual. La interpretación que se tendrá presente en esta investigación de los valores de K es como sigue:

- Si el signo del valor K es positivo significa que la media del proceso es mayor al valor nominal n y será negativo cuando $\mu < n$.
- Valores de K menores a 20% en términos absolutos se considera aceptables, pero a media que el valor absoluto K sea más grande que 20%, indica un proceso muy descentrado, lo cual contribuye de manera significativa a que la capacidad del proceso para cumplir especificaciones es baja.
- El valor nominal n , es la calidad alcanzada mediante los controles establecidos; cualquier desviación con respecto a este valor lleva un detrimento en la calidad. Por ello, cuando el proceso de fabricación de bloques éste descentrado de manera significativa se deben hacer esfuerzos serios para centrarlo, lo que por lo regular es más fácil de disminuir la variabilidad.

5.1.8 Índice C_{pm} (Índice de Taguchi) ⁴³: Los índices C_p y C_{pk} están pensados a partir de lo importante que es reducir la variabilidad del proceso de manufacturas de bloques de cerámica, para cumplir con las especificaciones.

Sin embargo, desde el punto de vista de *G. Taguchi* ⁵⁰, cumplir con especificaciones no es sinónimo de buena calidad y la reducción de la variabilidad debe darse en torno al valor nominal (calidad óptima). Es decir, la mejora de un proceso según Taguchi debe estar orientada a reducir su variabilidad alrededor del valor nominal, n ⁴⁴, y no sólo para cumplir con especificaciones.

No obstante *Índice de Taguchi* similar al C_{pk} que, en forma simultánea, toma en cuenta el centrado y la variabilidad del proceso y se calcula a partir del siguiente modelo matemático:

$$C_{pm} = \frac{EI - ES}{6\tau}$$

Donde τ (tau) está dada por:

$$\tau = \sqrt{\sigma^2 + (\mu - n)^2}$$

Siendo n ⁴⁴ es el valor nominal de la la muestra de la población de toda la producción en una jornada laboral, cumpliendo característica de calidad; EI y ES son las especificaciones inferior y superior. El valor de n ⁴⁴ por lo general es igual al punto medio de las especificaciones, si no se desea tomar la muestra, es decir:

$$n = 0.5(ES - EI)$$

Aquí l índice C_{pm} compara el ancho de las especificaciones con 6τ ; pero τ no sólo toma en cuenta la variabilidad del proceso, a través de σ^2 , sino que también toma en cuenta su centrado a través de

$(\mu - n)^2$. De esta forma, si el proceso está centrado, es decir, si $\mu = n$, entonces C_p , C_{pk} y C_{pm} son iguales. La interpretación de este indicador C_{pm} es la siguiente:

- La interpretación de este índice C_{pm} es menor que uno ($C_{pm} < 1$), significa que el proceso no cumple con especificaciones, ya sea por problemas de centrado o por exceso de variabilidad.
- Por el contrario, cuando el índice C_{pm} es mayor que uno ($C_{pm} > 1$), eso quiere decir que el proceso cumple con especificaciones, y en particular que la media del proceso está dentro de la tercera parte central de la banda de las especificaciones.
- Si C_{pm} es mayor que 1.33 ($C_{pm} > 1.33$), entonces el proceso cumple con especificaciones, pero además la media del proceso está dentro de la quinta parte central del rango de especificaciones.

Para *Definir* este apartado es necesario recordar que según las interpretaciones de los índices especificados que se utilizaron como herramientas de control y fue aplicable como pronósticos del desempeño del proceso en el futuro inmediato, es importante que los procesos sean estables, para la manufactura de los bloques, además, se requiere que la característica de calidad se distribuya en forma normal o por lo menos de una manera no tan diferente de ésta. Algo relevante es que los cálculos de los índices estén basados en los parámetros poblacionales del proceso μ y σ . Si los cálculos están basados en una muestra pequeña, la interpretación cambia, como se apreciara más adelante en la presente tesis.

5.1.9 Capacidad de largo plazo e índices P_p y P_{pk} : Para especificar la capacidad del proceso de manufactura de bloques, es tener la perspectiva de corto o largo plazo.

La capacidad de corto plazo se calcula a partir de muchos datos tomados durante un periodo suficientemente corto para que no haya influencias externas sobre el proceso (por ejemplo, que no haya importantes cambios de temperatura, turnos, operadores, lotes de materia prima, etc.). Por lo tanto, esta capacidad representa el potencial del proceso, es decir, lo mejor que se puede esperar del mismo. Por otra parte está la perspectiva de largo plazo que, a final de cuentas, es la que la interesa al cliente. De aquí que la capacidad de largo plazo se calcula con muchos datos tomados de un periodo de tiempo suficientemente largo como para que los factores externos influyan en el desempeño del proceso.

Para ellos se *Definen* los siguientes indicadores.

5.1.10 Índices Pp y Ppk: Estos índices están enfocados al desempeño del proceso a largo plazo, y no sólo a su capacidad. Por ello, el índice de desempeño potencial del proceso (*process performance*) **Pp** se calcula de la siguiente manera:

$$P_p = \frac{ES - EI}{6\sigma_L}$$

Donde σ_L es la desviación estándar de largo plazo. En este caso el índice **Pp** se utiliza para la presente tesis similar al **Cp**, la única diferencia es que **Pp** utiliza σ_L , mientras que **Cp** usualmente se calcula con la desviación estándar de corto plazo. Un problema del índice **Pp** es que no toma en cuenta el centrado del proceso, por ello suele complementarse con el índice de desempeño real del proceso **Ppk** que se obtiene con:

$$P_{pk} = \text{mínimo} \left[\frac{\mu - EI}{3\sigma_L}, \frac{ES - \mu}{3\sigma_L} \right]$$

Se advierte que este índice se calcula de la misma manera que el índice **Cpk**, la única diferencia es que **Ppk** utiliza σ_L (la desviación estándar de largo plazo), esta desviación estándar corresponde a la desviación de toda la población de la producción realizada en un mes de producción de bloques, y se calcula de la siguiente manera:

Desviación estándar a largo plazo (Población):

$$\sigma_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

Desviación estándar muestral:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

5.1.11 Índice Z⁴⁵: Otra forma de medir la capacidad del proceso que se utilizó para la presente investigación fue mediante el índice **Z**, el cual consiste en calcular la distancia entre las especificaciones y la media μ del proceso en unidades de la desviación estándar, σ .

De esta manera, para un proceso con doble especificación se tiene **Z** superior, **Zs**, y **Z** inferior, **Zi**, que se definen de la siguiente manera:

$$Z_s = \frac{ES - \mu}{\sigma} \qquad Z_i = \frac{\mu - EI}{\sigma}$$

La capacidad de un proceso medida en términos del índice Z es igual al valor más pequeño de entre Z_s y Z_i , es decir:

$$Z = \text{mínimo} [Z_s, Z_i]$$

Si la desviación estándar utilizada para calcular el índice Z es de corto plazo, tan solo utilizando una muestra de producción de los bloques de cerámica, entonces el correspondiente Z también será de corto plazo y se denota como Z_c , *es el que se emplea la desviación estándar de corto plazo.*

En cambio, si la σ es de largo plazo (σ_L), entonces el correspondiente Z será designado de largo plazo y se denota con Z_L , *es el que utiliza la desviación estándar de largo plazo.*

La diferencia entre la capacidad de corto y largo plazo se conoce como desplazamiento o movimiento del proceso y se mide a través del índice Z_m de la siguiente manera:

$$Z_m = Z_c - Z_L$$

Además el índice Z_m representa la habilidad para controlar la tecnología.

Hay estudios que ponen de manifiesto que la media de un proceso se puede desplazar a través del tiempo hasta 1.5 sigmas (1.5σ), en promedio hasta cualquier lado de su valor actual. Por lo general, este 1.5 (1.5σ), se utiliza de la siguiente manera:

- Cuando es posible calcular Z_m y si éste es menor que 1.5, se asumirá que el proceso tiene un mejor control que el promedio de los procesos con un control pobre, y si es mayor que 1.5, entonces el control es muy malo. Si no se conoce Z_m , entonces se asume un valor de **1.5**.

5.2 MEDIR

Tener la capacidad de **Medir** la calidad de los procesos de producción de bloques de cerámica, es responder a las necesidades del mercado, de igual forma significa diseñar productos y procesos que logren que la variación de las características de calidad sea tan pequeña que el índice **Zc** de corto plazo sea igual a seis (**Zc=6**), lo cual implica que la campana de la distribución quepa dos veces dentro de las especificaciones, como se aprecia en la siguiente gráfica.

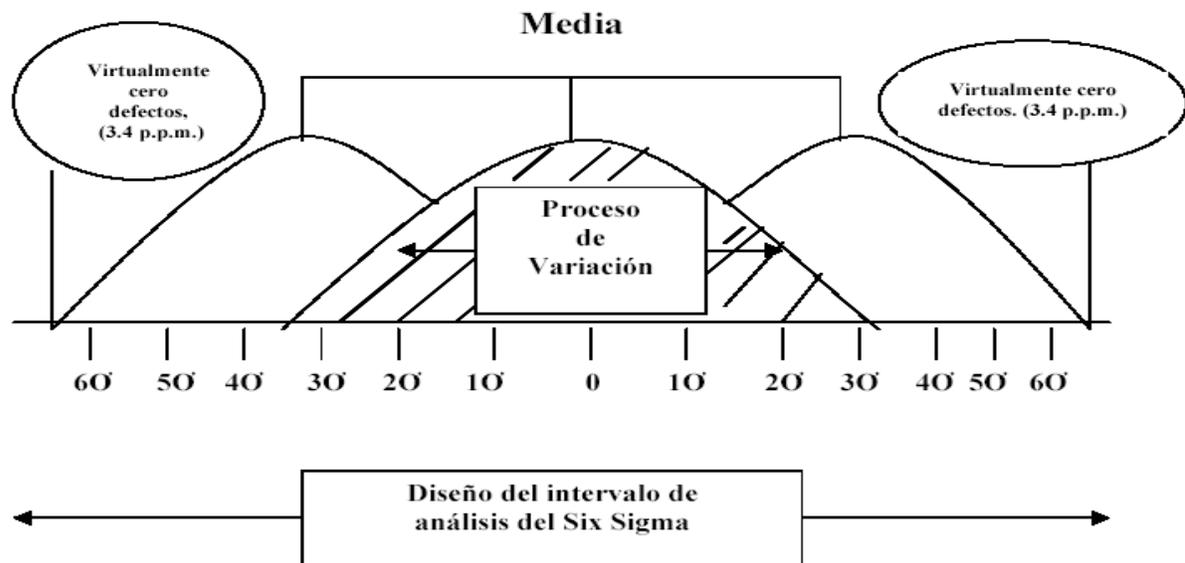


Figura N° 14 Media Específica de Distribución

En ese caso, a corto plazo se tendría una tasa de defectos de *0.002 PPM* (Partes Por Millón), que en términos prácticos equivale a un proceso con cero defectos.

Con un proceso Seis Sigma, si a largo plazo ocurriera que la media del proceso de producción de los bloques se moviera hasta 1.5σ , veces a partir del valor nominal (n), hacia la especificación superior por ejemplo, simulando el proceso con FLEXSIM, eso no generaría problemas, ya que la *media del proceso* (μ^P) sería:

$$\mu^P = \mu + 1.5(\sigma)$$

En la práctica, la calidad y los controles con Seis Sigma, a pesar de los posibles desplazamientos es un proceso que se puedan presentar en la fabricación de los bloques, es de prácticamente cero defectos y, por lo tanto, representa una meta para los procesos de *CLASE MUNDIAL*.

Lo anterior se resume en la *TABLA N° 5*; en la parte izquierda se aprecia el nivel de calidad de corto plazo, sin desplazamiento del proceso, y en la parte derecha se representa la calidad de largo plazo, por lo que se incluye un desplazamiento del proceso de:

$$1.5\sigma = Z_m = 1.5$$

En general, si se conocen las partes por millón (PPM) fuera de especificaciones de largo plazo, PPM_L , entonces el nivel de calidad en sigmas (de corto plazo Z_c) se obtiene con la siguiente ecuación (*Schmidt y Launsby 1997*)⁴⁶:

$$Z_c = 0.8406 + \sqrt{29.67 - 2.221 * \ln(PPM)}$$

De la misma manera, si se conoce Z_c es posible obtener las PPM que se esperan a largo plazo PPM_L :

$$PPM_L = e^{\left[\frac{29.37 - (Z_c - 0.8406)^2}{2.221} \right]}$$

La siguiente *TABLA N° 5*, que resume la calidad a corto plazo, que se utilizó para la presente tesis.

CALIDAD DE CORTO PLAZO (PROCESO CENTRADO)				CALIDAD DE LARGO PLAZO CON UN MOVIMIENTO DE 1.5σ		
ÍNDICE C_p	CALIDAD EN SIGMAS Z_c	% DE LA CURVA DENTRO DE ESPECIFICACIONES	PARTES POR MILLÓN FUERA DE ESPECIFICACIONES	ÍNDICE Z_L	% DE LA CURVA DENTRO DE ESPECIFICACIONES	PPM FUERA DE ESPECIFICACIONES
0.33	1	68.27	317300	-0.5	30.23	697700
0.67	2	95.45	45500	0.5	69.13	308700
1.00	3	99.73	2700	1.5	93.32	66807
1.33	4	99.9937	63	2.5	99.379	6210
1.67	5	99.999943	0.57	3.5	99.9767	233
2.00	6	99.9999998	0.002	4.5	99.99966	3.4

TABLA N° 5 Calidad a corto y largo plazo

Los niveles de control de calidad medidos en sigmas no sólo son números enteros, sino que pueden ser números reales con decimales. Además, pasar de un nivel de calidad sigma al siguiente superior no es una tarea sencilla. A partir de la *TABLA N° 5*, fue posible obtener la siguiente *TABLA N° 6*, en donde se muestra la reducción de defectos de un nivel de sigma al siguiente.

Con la información de la *TABLA N° 6*, queda claro que tener una manufactura en este caso de producción de bloques de cerámica, no es una labor que termine en un año, por el contrario requiere del trabajo decidido de varios años, pues desde que inicie estudios de Maestría en Controles Industriales en febrero del 2010, se realizó un análisis en donde se plantea que pasar a diseñar e implementar las herramientas Seis Sigma requiere de mínimo cinco años.

PASAR DE:	A	FACTOR DE REDUCCIÓN DE DEFECTOS	REDUCCIÓN PORCENTUAL (%)
2 sigmas 2σ (308537 PPM)	3 sigmas 2σ (66807 PPM)	5	78%
3 sigmas 3σ (66807 PPM)	4 sigmas 3σ (6210 PPM)	11	91%
4 sigmas 4σ (6210 PPM)	5 sigmas 4σ (233 PPM)	27	96%
5 sigmas 5σ (233 PPM)	6 sigmas 5σ (3.4 PPM)	68	99%

5.2.1 Métricas de Control Seis-Sigma

El índice **Z** se empleó como métrica de control Seis Sigma cuando la característica de calidad es de tipo continuo; sin embargo, muchas características de calidad son de atributos.

En este caso se utilizará como métrica a los Defectos por millón de oportunidades de error (DPMO), que en como “imprevisto” se presentaban en los datos levantados en campo en la producción de los bloques.

No obstante teniendo presente que *unidad* en este caso los bloques de cerámica, que es elaborada por un proceso y que, por lo tanto, es posible inspeccionar, evaluar y controlar su calidad.

Ahora bien, en la elaboración de los bloques, por lo general existe más de una oportunidad de error, generando lo que se llama en Seis-Sigma como *Oportunidad de Error*, el cual se define como cualquier parte de la unidad, en este caso de los bloques de cerámica que es posible medirse o probarse si es adecuado a las exigencias de los clientes o mercado de la construcción.

De acuerdo con lo anterior, un defecto es cualquier *No Conformidad*⁴⁷ o desviación de la calidad especificada de un producto; en el caso en particular en la manufactura de los bloques de cerámica será alguna desviación con respecto a que los procesos involucrados se realicen en forma correcta y de acuerdo con criterios de calidad bien especificados.

En este contexto surge el índice *DPU (Defectos por Unidad)*, el cual es una métrica que determina el nivel de no calidad de un proceso que no toma en cuenta las oportunidades de error y se obtiene con el siguiente cociente:

$$DPU = \frac{d}{U}$$

Donde U es el número de unidades inspeccionadas en las cuales se observaron d defectos; ambas referidas a un lapso de tiempo específico, en este caso de los datos tomados en la jornada laboral.

Una desventaja del DPU es que no toma en cuenta el número de oportunidades de error en la unidad o bloque de cerámica producido.

Por ello, para tomar en cuenta la complejidad de la unidad o producto se utiliza el índice DPO (*Defectos por Oportunidad*), que mide la no calidad de un proceso y se obtiene como sigue:

$$DPO = \frac{d}{U \times O}$$

Donde U y d son como antes, y O es el número de oportunidades de error por unidad. Nótese que para calcular el DPO es necesario dividir el total de defectos encontrados, d , entre el total de oportunidades de error, ya que éste se obtiene multiplicando el total de unidades inspeccionadas, U , por el número de oportunidades de error por unidad, O .

Para lograr un mejor entendimiento de la métrica DPO , es mejor obtener el índice $DPMO$ (*Defectos por millón de oportunidades*), el cual cuantifica los defectos del proceso en un millón de oportunidades de error, y se obtiene al multiplicar al DPO por un millón, por lo que para los bloques de cerámica se tiene que:

$$DPMO = 1.000.000 * DPO$$

En suma, la métrica Seis Sigma para este tipo de procesos de fabricación de bloques de cerámica, con una característica de calidad de atributos que, en el procesamiento de una unidad o bloque es posible tener más de una oportunidad de error, es el índice $DPMO$. En general, bajo las condiciones anteriores hay una tendencia a preferirlo sobre el DPU , e incluso sobre el DPO .

5.2.2 Métricas Comparativas de Control

Es importante aclarar que tanto la métrica DPU como la $DPMO$, para la presente investigación, se refieren a variables para atributos más cercanas a variables con *Distribución Poisson*⁵⁴, donde un bloque puede tener más de un defecto y no necesariamente debe rechazarse. En cambio, PPM (Partes Por Millón) se aplica cuando la parte cumple o no cumple (pasa o no pasa), y aquí más bien se aplica la *Distribución Binomial*⁴⁸ y su aproximación a la normal.

Lo primero que se hace es calcular el rendimiento Y del proceso mediante la *distribución de Poisson* con la siguiente fórmula:

$$Y = e^{-DPU}$$

De esta ecuación también se aprecia que:

$$DPU = -\ln(Y)$$

Para convertir esto al nivel de sigma de largo plazo es preciso encontrar el valor de Z en una *tabla de distribución normal* (Anexo N° 2) estándar que da una probabilidad acumulada igual a Y , es decir, el nivel de sigma de largo plazo para el proceso = ZY .

NOTA: El rendimiento en la producción puede verse como la probabilidad de que la distribución caiga dentro de tolerancias o especificaciones. Aplicar la distribución Poisson, equivale a la probabilidad de cero fallas, es decir:

5.3 ANALIZAR (A)

Para el análisis de cada uno de los procesos, se utilizó el *Diagrama de causa-efecto o de Ishikawa*⁴¹ es un método gráfico que relaciona un problema o efecto con los factores o causas que posiblemente lo generan.

La importancia de este diagrama utilizado en la presente tesis, es que obliga a buscar las diferentes causas que afectan el problema bajo análisis y, de esta forma, se evita el error de buscar de manera directa las soluciones sin cuestionar cuáles son las verdaderas causas.

El uso del diagrama de Ishikawa⁴⁶, ayudo a no dar por obvias las causas, sino que se tratar de ver el problema desde diferentes perspectivas.

Agrupando las causas potenciales en seis ramas principales que se identificaron en la manufactura de bloques de cerámica son:

- Métodos de trabajo.
- Mano Obra
- Materiales
- Maquinaria e Instrumentos Industriales disponibles.
- Medición
- Medio ambiente.

Con estos seis elementos definen de manera global todo proceso y cada uno aporta parte de la variabilidad del producto final, en este caso de los bloques de cerámica, por lo que es natural esperar que las causas de un problema estén relacionadas con alguna de las seis variables identificadas.

La pregunta básica para este tipo de construcción es:

¿Qué aspecto de estos factores o variables se refleja en el problema bajo análisis?

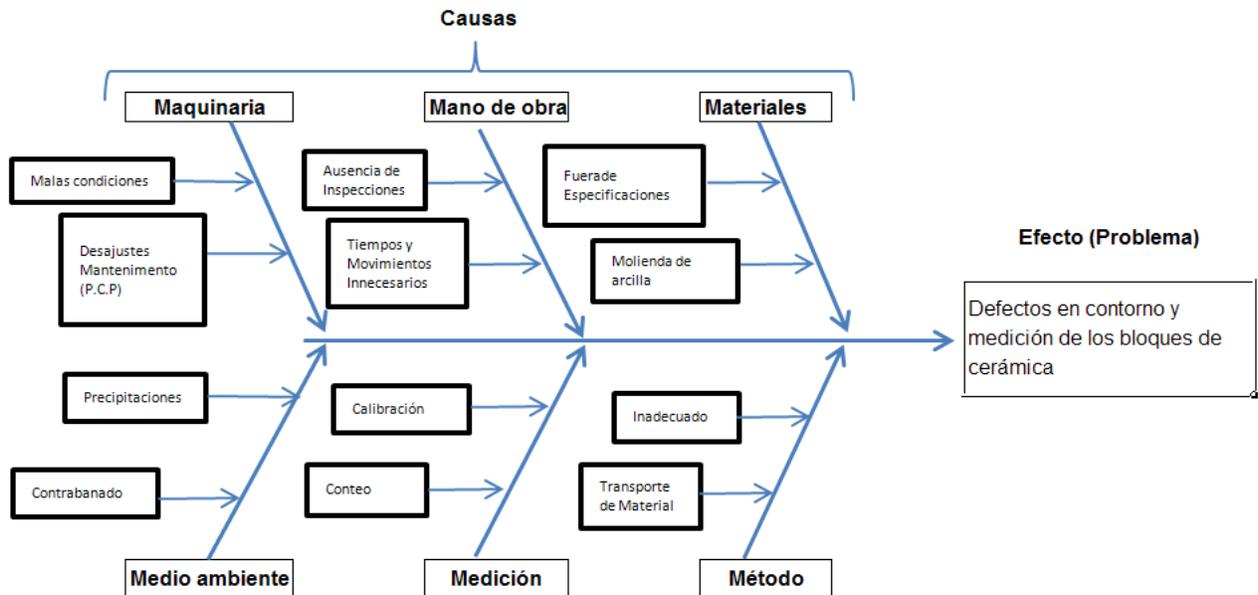


Figura N° 15 Diagrama Causa-Efecto

EFFECTO		Defectos en contorno y medición de los bloques de cerámica	
No.	1	CAUSAS	EFFECTOS INDIVIDUALES POR MANO DE OBRA
		MANO DE OBRA	
		Ausencia de Inspecciones	Se presentan ausencia de inspecciones en el proceso de molienda y almacenaje
		Tiempos y movimientos Inecesarios	Movimientos innecesarios en el cargue y descargue, así como cargas excesivas
2		MATERIALES	EFFECTOS INDIVIDUALES POR MATERIALES
		Fuera de Especificaciones	No hay control industrial en el granulado de la arcilla después de la molienda
		Molienda de la arcilla	Ausencia de control de tiempos de molienda, sin instrumento que mida los procesos
3		MEDIO AMBIENTE	EFFECTOS INDIVIDUALES POR MEDIO AMBIENTE
		Precipitaciones	Excesiva precipitaciones, generando que la materia prima, tenga excesiva humedad
		Contrabando	Contrabando de bloques, con bajos costos en el mercado negro en la frontera
4		MAQUINARIA	EFFECTOS INDIVIDUALES POR MAQUINARIA
		Malas Condiciones	Condiciones no adecuadas para el funcionamiento de tolvas y tornillo sin fin
		Desajustes y ausencia de mantenimiento (P.C.P)	No hay una planeación de mantenimiento preventivo, correctivo y predictivo para los equipos.
5		MEDICIÓN	EFFECTOS INDIVIDUALES POR MEDICIÓN
		Calibración	Calibración mal ajustada a los requerimientos de mediciones por bloques en el corte

6	Conteo	No hay un conteo automático, que permita medir la capacidad de producción
	METODOS	EFFECTOS INDIVIDUALES POR METODOS
	Inadecuado	Inadecuados procesos de control en el momento del diagnóstico
	Transporte de Material	Manipulación inadecuada del transporte, se siguiere la utilización de bandas transportadoras

5.4 MEJORAR (M)

Para la presente tesis, realizar el estudio, que permita en una industria del sector de la cerámica, y en particular en la manufactura de bloques, se enfocó en utilizar las herramientas de control estadístico que ofrece la metodología Seis Sigma, en reflejar la perspectiva del cliente, en este caso del mercado de la construcción, y eso se hace preguntando y estableciendo métricas de calidad que reflejen la voz de éste.

Por ello, enfocarnos en el *Kaizen* o mejoramiento continuo, es de gran utilidad es el *Despliegue de la Función de Calidad, DFC (Quality Function Deployment, QFD)* ⁴⁹, la cual es una herramienta de planeación que introduce la voz del cliente en el desarrollo y diseño del producto o el proyecto. Es un mecanismo formal para asegurar que “la voz del cliente” sea escuchada a lo largo del desarrollo del proyecto. También identifica medios específicos para que los requerimientos del cliente sean cumplidos por todas las actividades funcionales de cualquier organización que desee implementarla, en este caso en la manufactura de bloques de cerámica. Para implementar *DFC* se utilizan varias matrices, cuyo propósito es establecer una manera sistemática de asignar responsabilidades para desplegar la voz del cliente, a fin de trasladar esos requerimientos en parámetros de diseño y fabricación (o en actividades específicas). Así, el papel de *DFC* es ayudar a entender las necesidades del cliente y transformarlas en acciones específicas, identificar áreas que requieren atención y mejoramiento y establecer las bases para futuros desarrollos.

El enfoque *DFC* se ilustra en la siguiente *Figura N° 16 Despliegue QFD*, en la cual se muestra cómo una necesidad específica del cliente (en su lenguaje) se traduce a lo largo de las diferentes partes del proceso, desde el diseño hasta los requerimientos o especificaciones concretas para producción. Ese proceso de despliegue también debe darse a la inversa (como se muestra con las flechas ascendentes), para ver si efectivamente se cumple con lo esperado.

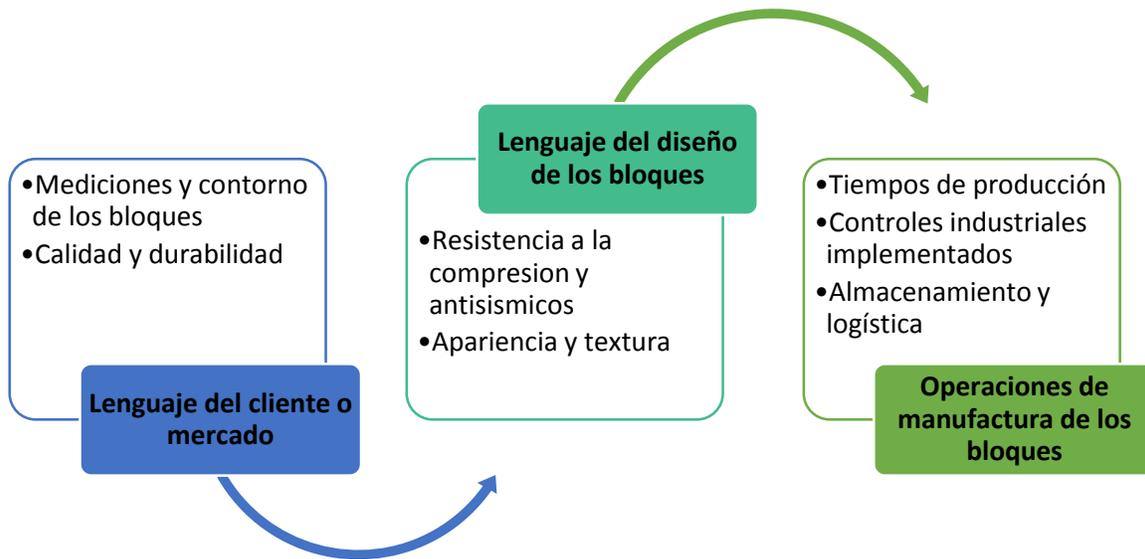


Figura N° 16 Despliegue QFD

5.4.1 Mejoramiento con Poka-Yoke²⁷: La inspección o detección de los defectos por sí sola no mejora el desempeño de un proceso, en este caso en la manufactura de bloques. El sistema Poka-Yoke enfatiza en el diseño de dispositivos a prueba de errores y olvidos.

La inspección y el monitoreo de procesos debe enfocarse a detectar la regularidad estadística de las fallas, para identificar dónde, cuándo y cómo están ocurriendo las fallas, a fin de enfocar mejor las acciones correctivas.

El reto no sólo es detectar los defectos antes que lleguen al cliente, sino eliminarlos. Con frecuencia, lo anterior se olvida y la inspección se utiliza para detectar efectos y a partir de eso generar acciones reactivas que sólo atienden el efecto y no la causa. La situación empeora cuando las causas están relacionadas con errores humanos, ya que las personas tienen olvidos y la rutina de trabajo las puede llevar a descuidos. En este contexto, el propósito fundamental de un sistema poka-yoke es diseñar sistemas y métodos de trabajo y procesos a prueba de errores.

El enfoque *poka-yoke* en este caso en la manufactura de los bloques, es proponer atacar los problemas desde su causa y actuar antes de que ocurra el defecto entendiendo su mecánica. Asimismo, reconoce que el ser humano comete errores, que olvida, y que olvida que olvida. Por ello, en algunas situaciones no es suficiente la capacitación ni la experiencia. De esta forma, para aquellos errores más críticos que están influidos por el cansancio de las personas, por estados de ánimo, por la urgencia de la producción o por la presión, es necesario diseñar sistemas a pruebas de errores (dispositivo poka-yoke) que permitan eliminar la posibilidad de falla, que el sistema advierta y prevenga lo más posible antes de que el error tenga consecuencias. En otras palabras, un sistema

poka-yoke hace la inspección en la fuente o causa del error, determinando si existen las condiciones para producir con calidad. En caso de que estas condiciones no existan, el sistema impide que el proceso continúe o por lo menos manda una señal de alerta. Un dispositivo poka-yoke también permite a las personas revisar su propio trabajo. Existen dos tipos:

- Dispositivo preventivo: Es un sistema poka-yoke que nunca permite el error en un proceso.
- Dispositivo detector: Es un sistema poka-yoke que manda una señal cuando hay posibilidad de error.

En la simulación montada en FLEXSIM, se diseñó los elementos o dispositivos Poka-Yoke.

5.5 CONTROLAR (C)

Los procesos siempre tienen variación, y en este caso en la manufactura de bloques no es una excepción, ya que en él intervienen diferentes factores sintetizados a través del esquema del Diagrama Causa-Efecto de la *Figura N° 15 Diagrama Causa-Efecto* que se enfocó en las siguientes variables:

- ✓ Materiales.
- ✓ Maquinaria
- ✓ Medición
- ✓ Mano de obra
- ✓ Métodos
- ✓ Medio Ambiente.

Bajo condiciones normales o comunes de trabajo, todas las anteriores variables aportan variación de salida del proceso, en forma natural o inherente, pero además aportan variaciones especiales o fuera de lo común, ya que a través del tiempo esas variables son susceptibles de cambios, desajustes, desgastes, errores, descuidos, fallas, etc.

Así, hay dos tipos de variabilidad: la que se debe a causas comunes y la que corresponde a causas especiales o atribuibles. Resulta fundamental distinguir de forma eficiente entre ambos tipos de variación, para así tomar las medidas adecuadas en cada caso, las cuales son:

- Variación por causas comunes: Es aquella que permanece día a día, lote a lote de producción de bloques y es aportada en forma natural por las condiciones de las variables. Esta variación es inherente a las actuales características del proceso y es resultado de la acumulación y combinación de diferentes causas que son difíciles de identificar y eliminar, ya que son inherentes al sistema y la contribución individual de cada causa es pequeña; no obstante, a largo plazo representan la mayor oportunidad de mejora.

- Variación por causas especiales: Es causada por situaciones o circunstancias especiales que no están de manera permanente en el proceso. Por ejemplo, la falla ocasionada por el mal funcionamiento de una pieza de la máquina, que influyen en toda la cadena de producción de la manufactura de bloques o el empleo de materiales no habituales o el descuido no frecuente de un operario. Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.
- Proceso en control estadístico o estable: Estado de un proceso que trabaja sólo con causas comunes de variación. La variación a través del tiempo es predecible. Cuando un proceso trabaja sólo con causas comunes de variación se dice que está en control estadístico o es estable, porque su variación a través del tiempo es predecible. Además, independientemente de que su variabilidad sea mucha o poca, el desempeño del proceso es predecible en el futuro inmediato, en el sentido de que su tendencia central y la amplitud de su variación se mantienen sin cambios al menos en el corto plazo. En contraste, se dice que un proceso en el que están presentes causas especiales de variación está fuera de control estadístico (o simplemente que es inestable); este tipo de procesos son impredecibles en el futuro inmediato pues en cualquier momento pueden aparecer de nuevo las situaciones que tienen un efecto especial sobre la tendencia central o sobre la variabilidad.

Con lo anterior no distinguir entre estos dos tipos de variabilidad conduce a cometer dos errores en la actuación de los procesos.

- **Error 1:** Reaccionar ante un cambio o variación (efecto o problema) como si proviniera de una causa especial, cuando en realidad surge de algo más profundo en el proceso, como son las causas comunes de variación.
- **Error 2:** Tratar un efecto o cambio como si procediera de causas comunes de variación, cuando en realidad se debe a una causa especial. Cada uno de estos dos errores causa pérdidas. Se puede evitar uno u otro, pero no ambos. No es posible reducir a cero ambos errores.

5.5.1 Cartas de Control

El objetivo básico de una carta de control es observar y analizar el comportamiento de un proceso a través del tiempo. Así, es posible distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales

(atribuibles), lo que ayudará a caracterizar el funcionamiento del proceso y decidir las mejores acciones de control y de mejora. Cuando se habla de analizar el proceso nos referimos principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero las cartas de control también pueden aplicarse para analizar la variabilidad de variables de entrada o de control del proceso mismo.

En la *Figura N° 17 Idea y elementos de una carta de control* se muestra una típica carta de control en la cual se aprecia que el objetivo es analizar de dónde a dónde varía (ver campana) y cómo varía el estadístico W a través del tiempo y este estadístico puede ser una media muestral, un rango, un porcentaje, etc. Los valores que va tomando W se representan por un punto y éstos se unen con una línea recta. La línea central representa el promedio de W . Los límites de control, inferior y superior, definen el inicio y final del rango de variación de W , de forma que cuando el proceso está en control estadístico existe una alta probabilidad de que prácticamente todos los valores de W caigan dentro de los límites.

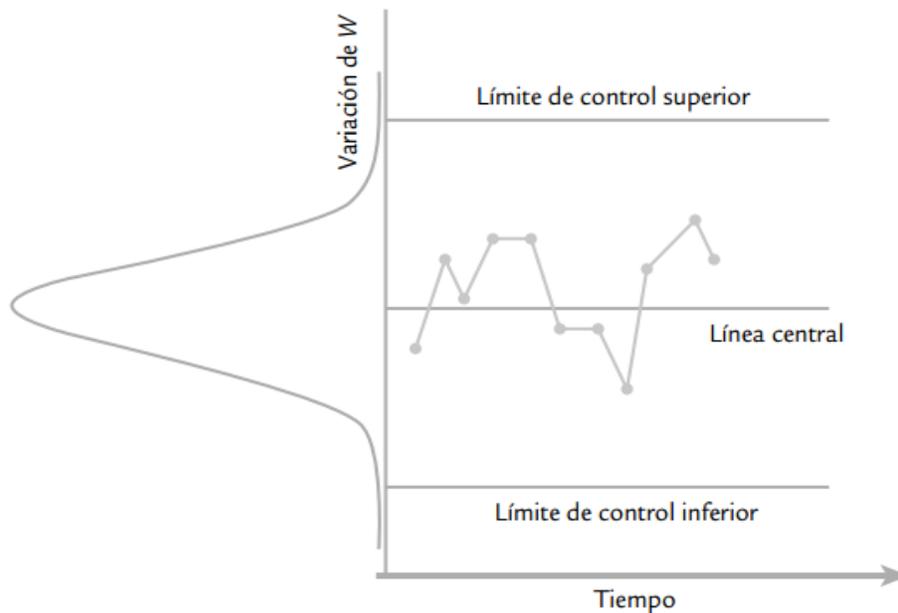


Figura N° 17 Idea y elementos de una carta de control

NOTA: Para los datos necesarios para el montaje de las cartas de control se anexan en el Anexo N° 3

CAPITULO VI

MODELO MATEMATICOS Y CONFIABILIDAD PARA SEIS-SIGMA

El estudio presentado en estas tesis y simulados, permitieron tener una evaluación del proceso de medición en un periodo corto y las conclusiones obtenidas son válidas, aunque no para siempre, pues implementar controles de calidad seis-sigma, requiere de un mejoramiento continuo.

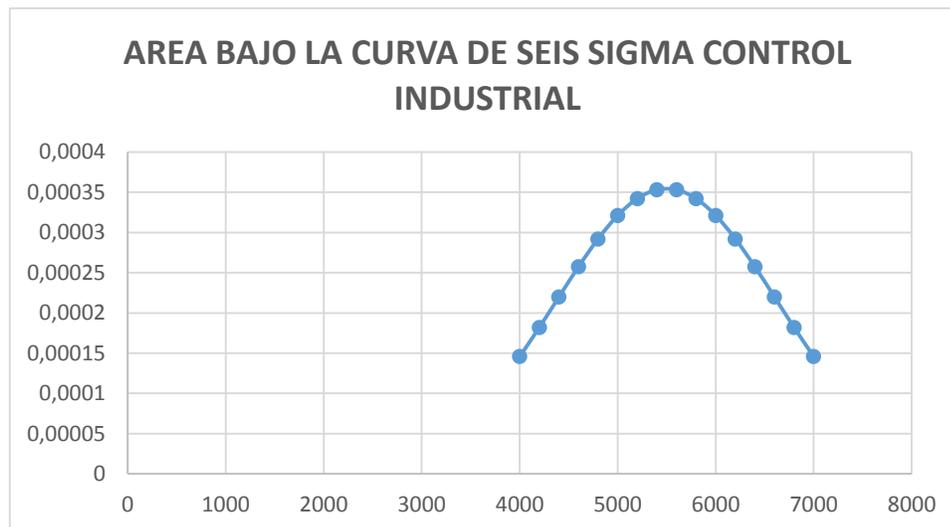
El estudio se debe repetir cada cierto tiempo para conocer el estado del proceso de medición, y en la práctica no es fácil decidir el intervalo entre un estudio, pero éste depende del tipo de instrumento, de la intensidad de uso, de su capacidad reportada en el estudio previo, entre otros aspectos, en el número de unidades fabricadas de bloques en una jornada laboral.

Existe otro tipo de estudios donde el objetivo es monitorear de manera permanente el desempeño de un sistema de medición, midiendo cada cierto intervalo una o varias piezas. Este tipo de estudios de estabilidad tienen la ventaja de que en cualquier momento proveen información clave acerca del proceso de medición, lo que es de utilidad para decidir intervalos de calibración o el momento de realizar el estudio largo plazo (2 años).

Una herramienta importante en este tipo de estudios es la carta de control, ya que permite tener una visualización del comportamiento de las mediciones a través del tiempo.

Enseguida se aprecia una carta y los datos tomados en campo para generar confiabilidad en el proceso.

Las siguientes tablas resumen los datos y análisis de todo el proceso de Seis-Sigma diseñado como herramienta de control, el cual permite visualizar todo el enfoque y los modelos lineales resultantes en todo el proceso, así como sus gráficas en especial el área bajo la curva de la producción *Lean Seis Sigma*:



Análisis de producción con Robot:

PROCESOS	Tiempo Estándar (minutos)	Producción			Tiempo Estándar (minutos)	Estado Input	Estado Output	
		Estado Input	Estado Output					
INICIO	8	73	77	Media	7	461	485	
TOLVA	7	55	58	Des. Estan	1,99	408,54	430,04	
MOLINO	9	9	9					
CORTE DE BLOQUES	7	775	816	Límites de Control	Tiempo Estándar (minutos)			
HORNO	10	1106	1164		3	4	5	6
ROBOT	3	128	135	LCS	10	10	11	12
ESTIBADOR	8	779	820	LCI	5	5	4	3
BODEGA PRODUCTO FINAL	8	760	800	Límites de Control	Estado Input			
TOTAL	60	PTF	6347		3	4	5	6
					LCS	894	1038	1183
				LCI	27	117	262	406

Análisis de producción con Operario:

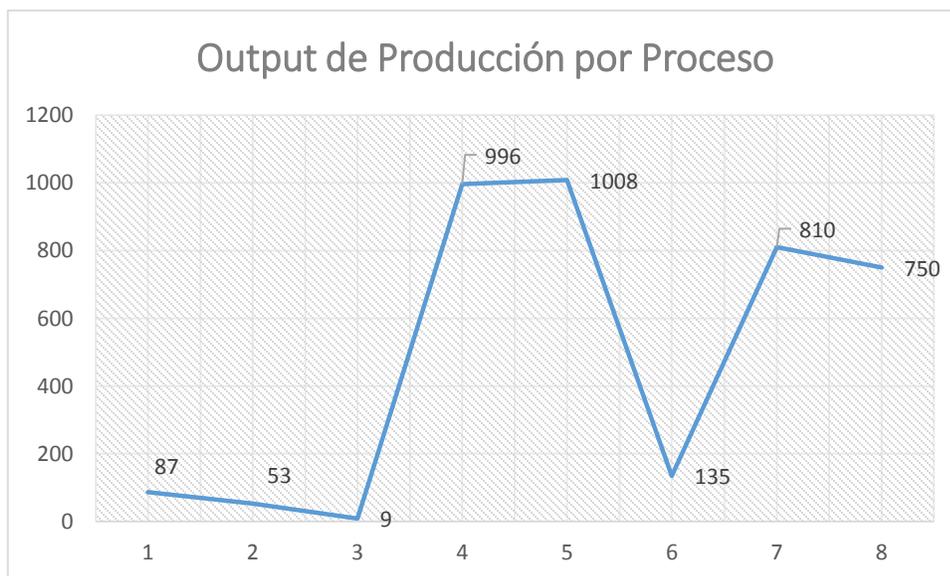
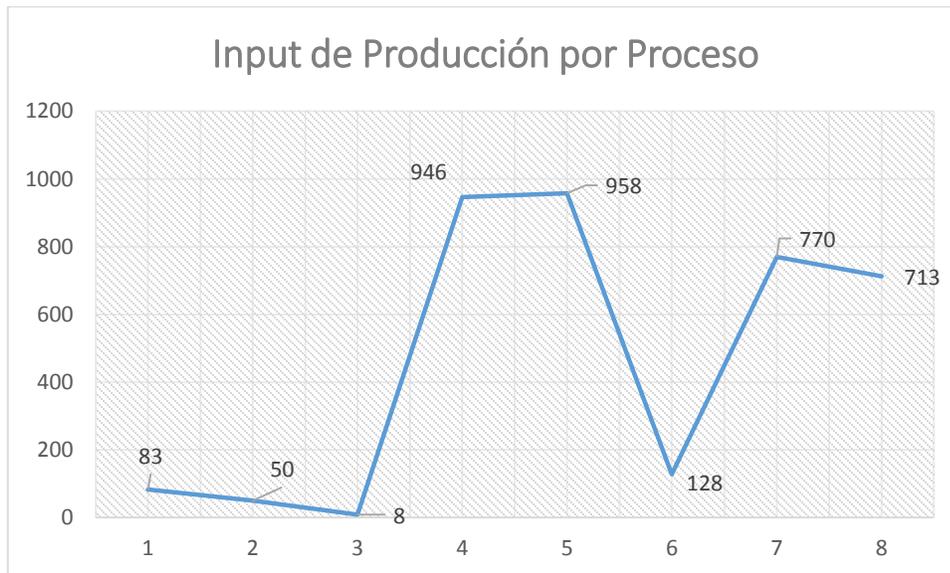
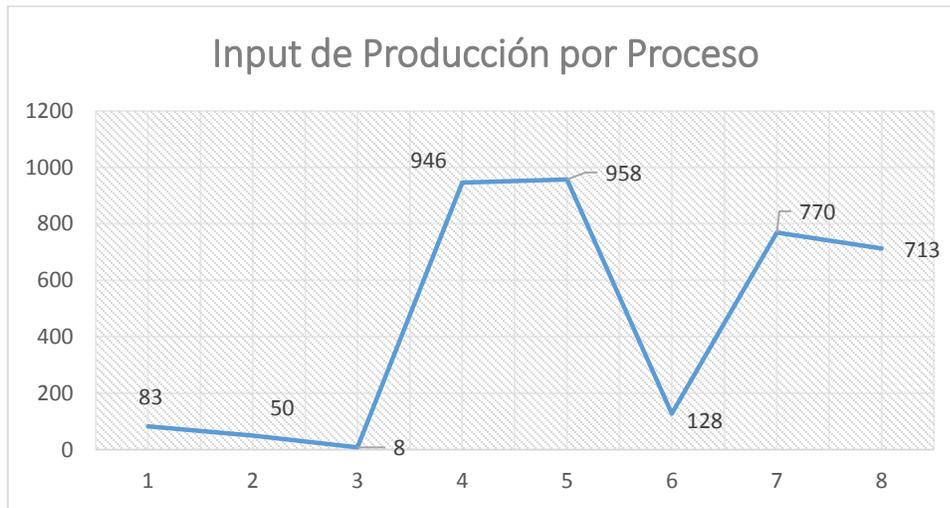
PROCESO / ACTIVIDAD	Tiempo Estándar (minutos)	Producción		Límites de Control	Estado Output			
		Estado Input	Estado Output		3	4	5	6
INICIO	9	84	88					
TOLVA	7	56	59	LCS	941	1093	1245	1397
MOLINO	8	7	8	LCI	29	123	275	427
CORTE DE BLOQUES	8	912	960					
HORNO	10	1163	1224					
OPERARIO	7	208	219					
ESTIBADOR	7	656	690					
BODEGA PRODUCTO FINAL	8	519	546					
TOTAL	64	PTF	4659					

Síntesis Seis-Sigma (99.99%):

	T.E	SST	PTF	LSSPTF
Con Oper	8,00	SST	4659	LSS
Con Rob.	7,44	SST	6347	LSS

T.E: Tiempo Estándar, SST: Seis Sigma Total PTF: Producción Total, LSSPTF: Lean Seis Sigma Producción Total

Gráficas simuladas del proceso:



Reportes de Producción resaltando los Cuellos de Botella (CB)

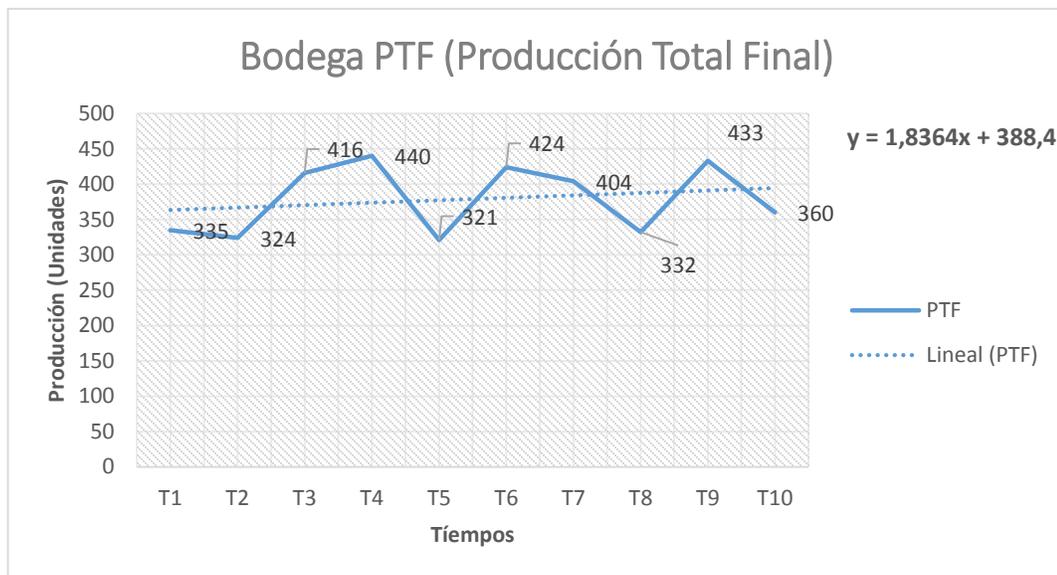
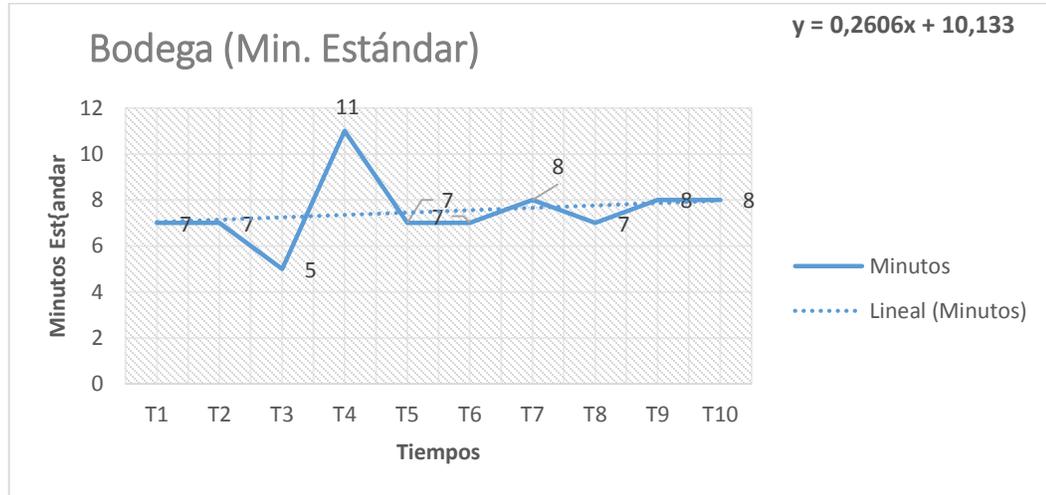
PROCESO / ACTIVIDAD	Capacidad Instalada (minutos)	Unidades	Minutos										Producción				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Tiempo Promedio	Tiempo Normal	Tiempo Estándar	Estado Input	Estado Output
INICIO	10	Toneladas	5	10	12	6	7	4	7	7	9	10	7,7	7,3	7,7	73	77
TOLVA	8	Toneladas	4	11	9	4	5	5	7	6	12	10	7,3	6,9	7,3	55	58
MOLINO	1	Toneladas	10	8	5	7	12	10	11	11	11	12	9,7	9,2	9,7	9	10
CORTE DE BLOQUES	120	Unidades	10	11	11	8	8	10	11	8	10	11	9,8	9,3	9,8	1117	1176
HORNO	120	Unidades	7	6	11	5	8	7	9	14	5	7	7,9	7,5	7,9	901	948
ROBOT	50	Unidades	2	1	4	2	4	1	4	3	1	1	2,3	2,2	2,3	109	115
ESTIBADOR	100	Unidades	10	10	7	11	8	7	12	9	4	12	9	8,6	9	855	900
BODEGA PRODUCTO FINAL	100	Unidades	6	11	11	11	11	7	9	6	6	9	8,7	8,3	8,7	827	870
Total			54	68	70	54	63	51	70	64	58	72	62,4	59,3	62,4		

PROCESO / ACTIVIDAD	Capacidad Instalada (minutos)	Unidades	Minutos										Producción				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Tiempo Promedio	Tiempo Normal	Tiempo Estándar	Estado Input	Estado Output
INICIO	10	Toneladas	7	5	4	8	5	6	8	8	4	11	6,6	6,3	6,6	63	66
TOLVA	8	Toneladas	4	6	12	6	5	6	9	11	8	4	7,1	6,7	7,1	54	57
MOLINO	1	Toneladas	10	12	5	8	12	5	4	12	9	11	8,8	8,4	8,8	8	9
CORTE DE BLOQUES	120	Unidades	5	10	4	8	10	10	8	4	8	9	7,6	7,2	7,6	866	912
HORNO	120	Unidades	5	11	11	15	9	8	11	5	7	13	9,5	9,0	9,5	1083	1140
OPERARIO	30	Unidades	9	5	11	4	9	7	8	10	8	8	7,9	7,5	7,9	225	237
ESTIBADOR	100	Unidades	11	7	8	5	8	5	8	10	6	11	7,9	7,5	7,9	751	790
BODEGA PRODUCTO FINAL	70	Unidades	4	8	9	11	6	4	4	12	11	11	8	7,6	8	532	560
Total			55	64	64	65	64	51	60	72	61	78	63,4	60,2	63,4		

Límites de Control por proceso:

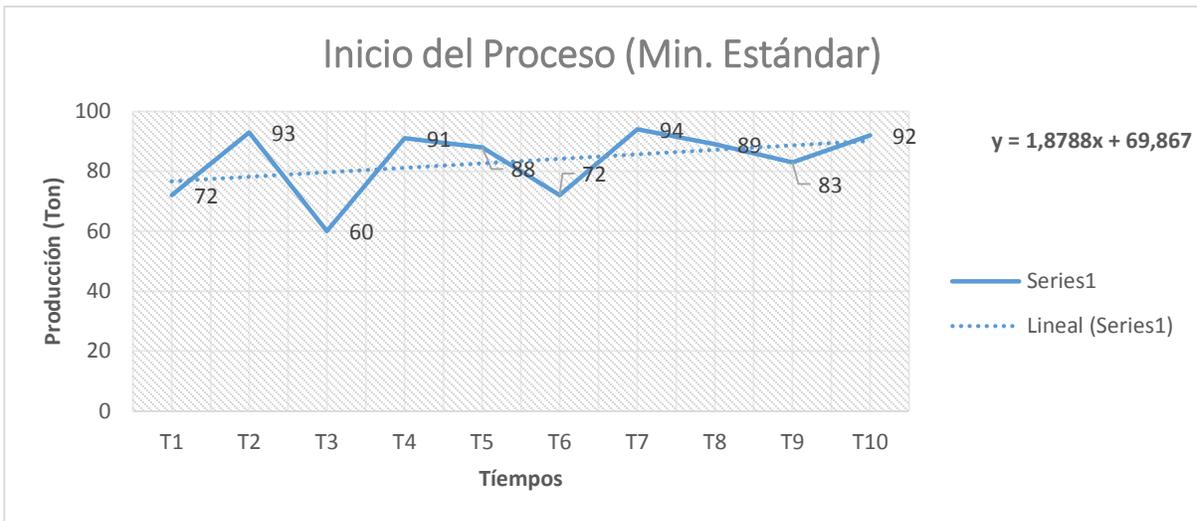
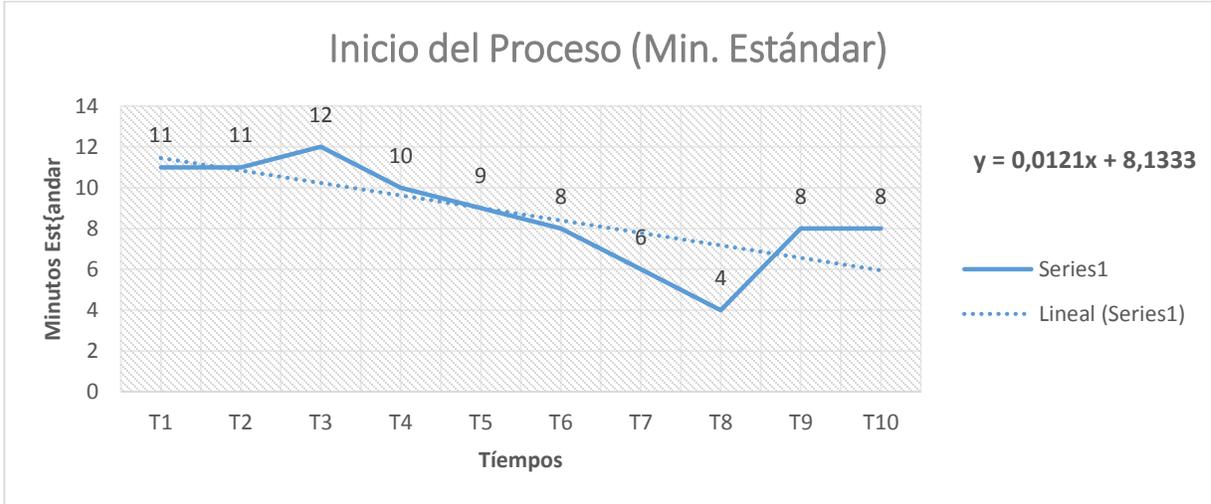
BODEGA (Unidades)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	6	T1	429
T2	11	T2	337
T3	11	T3	448
T4	11	T4	355
T5	11	T5	379
T6	7	T6	321
T7	9	T7	450
T8	6	T8	348
T9	6	T9	330
T10	9	T10	419
Media	9	Media	382
Desv. Esta	2	Desv. Esta	48

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	11	11	12	13
LCI	7	6	5	5
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Producción			
	3	4	5	6
LCS	427	442	457	472
LCI	336	321	306	291



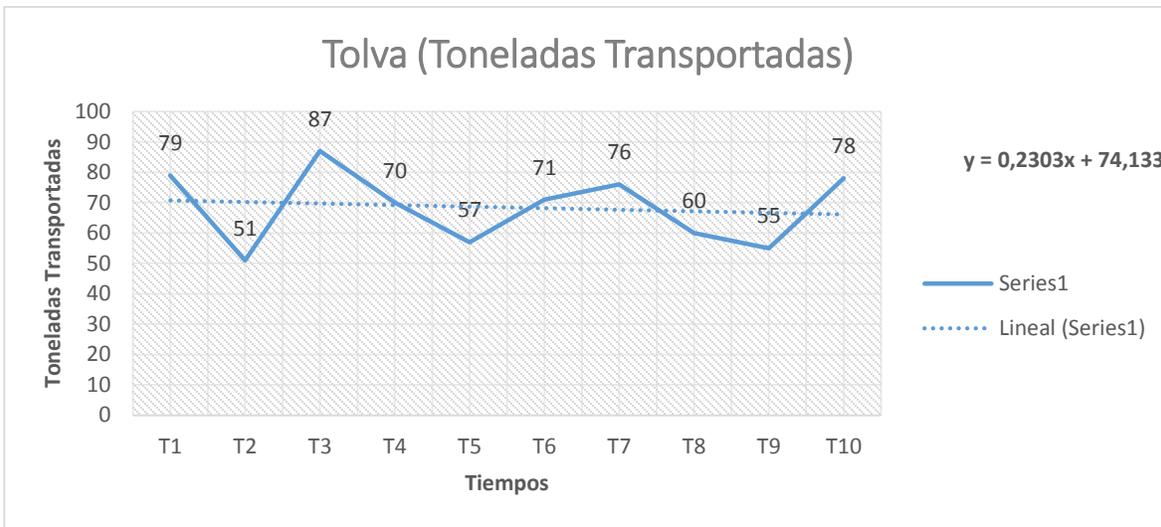
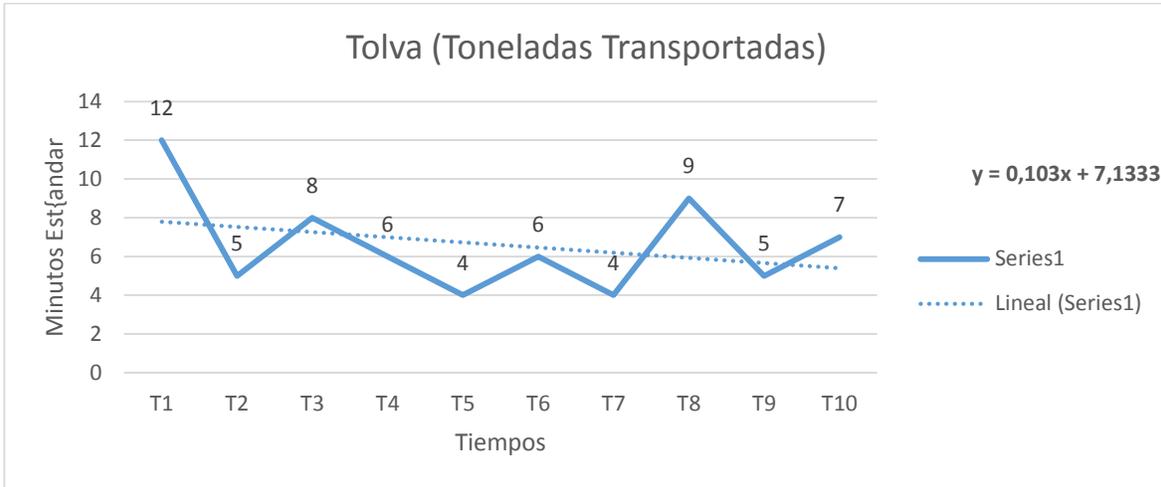
INICIO DEL PROCESO (ARCILLA TRANSPORTADA) Ton			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	11	T1	82
T2	5	T2	87
T3	4	T3	61
T4	4	T4	87
T5	4	T5	86
T6	7	T6	71
T7	10	T7	75
T8	11	T8	66
T9	8	T9	63
T10	10	T10	72
Media	7	Media	75
Desv. Esta	3	Desv. Esta	10

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	10	11	12	13
LCI	5	4	3	2
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Producción			
	3	4	5	6
LCS	84	87	90	93
LCI	66	63	60	57



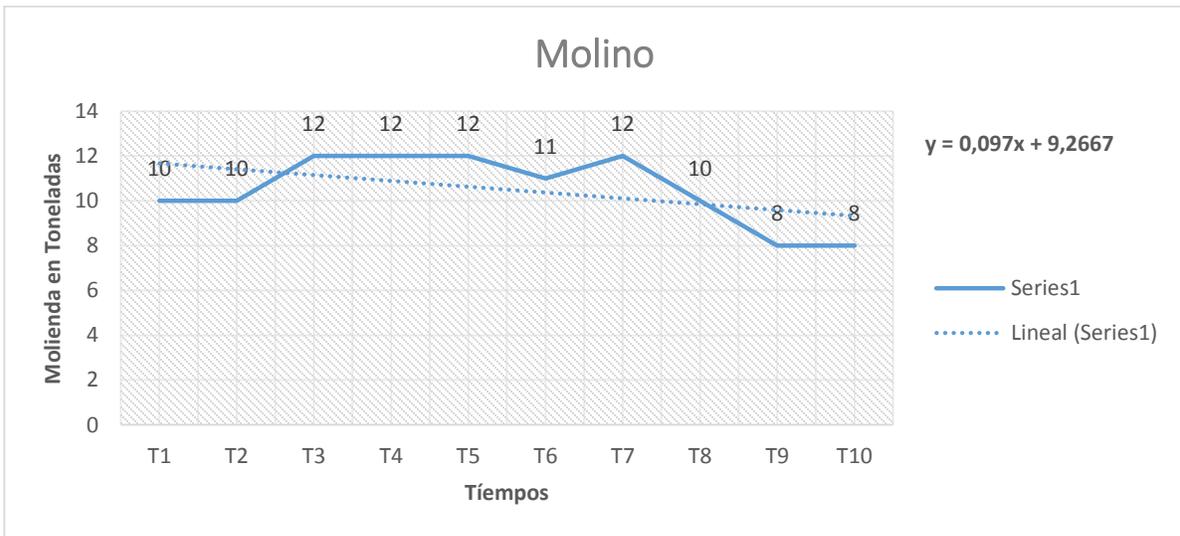
TOLVA (Toneladas Transportadas)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	7	T1	66
T2	12	T2	68
T3	4	T3	88
T4	12	T4	62
T5	4	T5	83
T6	6	T6	81
T7	5	T7	59
T8	5	T8	65
T9	10	T9	53
T10	12	T10	86
Media	8	Media	71
Desv. Esta	3	Desv. Esta	12

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS TOLVA Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	11	12	13	14
LCI	5	4	3	2
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS TOLVA Producción			
	3	4	5	6
LCS	82	86	90	93
LCI	60	56	53	49



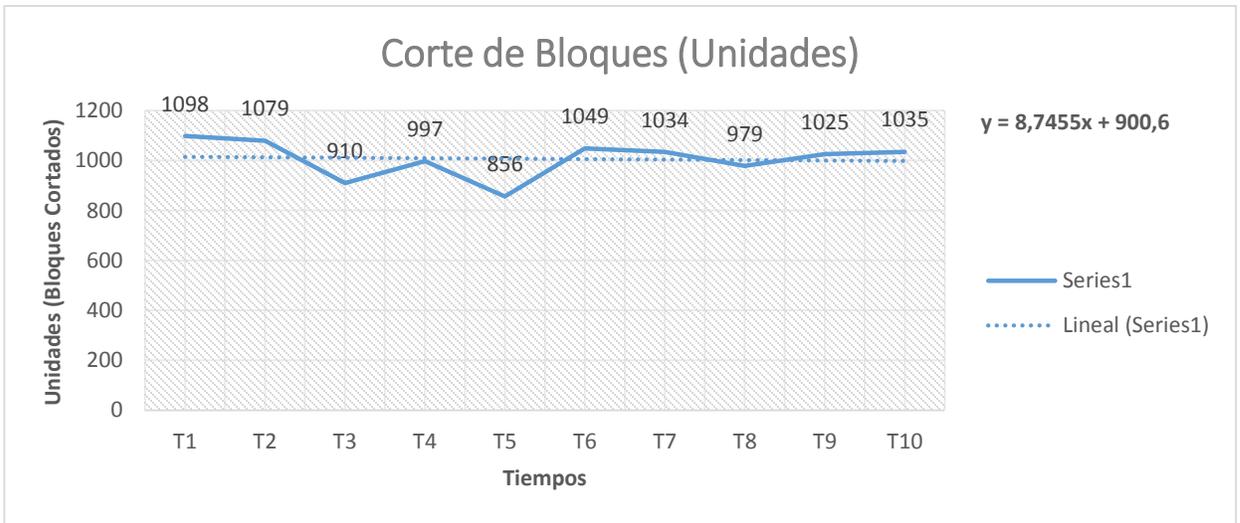
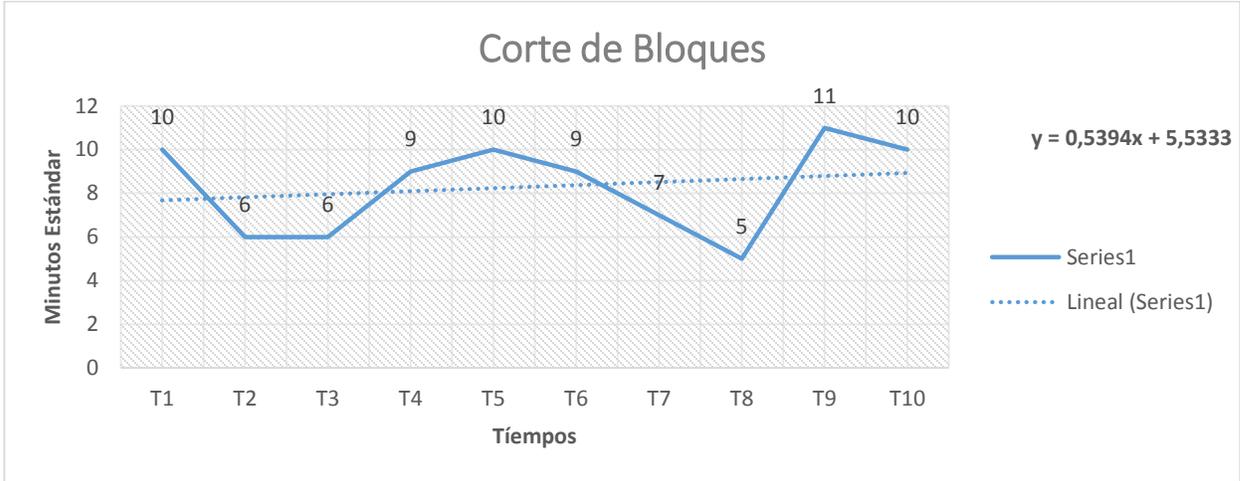
MOLINO (Molienda en Toneladas)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	8	T1	10
T2	12	T2	8
T3	9	T3	12
T4	6	T4	11
T5	6	T5	10
T6	5	T6	10
T7	8	T7	8
T8	4	T8	8
T9	7	T9	9
T10	4	T10	10
Media	7	Media	10
Desv. Esta	2	Desv. Esta	1

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS MOLIENDA Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	9	10	11	11
LCL	5	4	3	2
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS MOLIENDA Producción			
	3	4	5	6
LCS	11	11	12	12
LCL	8	8	8	7



CORTE DE BLOQUES (Unidades)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	10	T1	1068
T2	12	T2	937
T3	8	T3	1023
T4	12	T4	955
T5	7	T5	833
T6	12	T6	870
T7	7	T7	938
T8	7	T8	1079
T9	11	T9	967
T10	6	T10	1074
Media	9	Media	974
Desv. Esta	2	Desv. Esta	81

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS CORTE BLOQUES Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	11	12	13	14
LCI	7	6	6	5
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS CORTE BLOQUES Producción			
	3	4	5	6
LCS	1051	1077	1103	1129
LCI	897	872	846	820



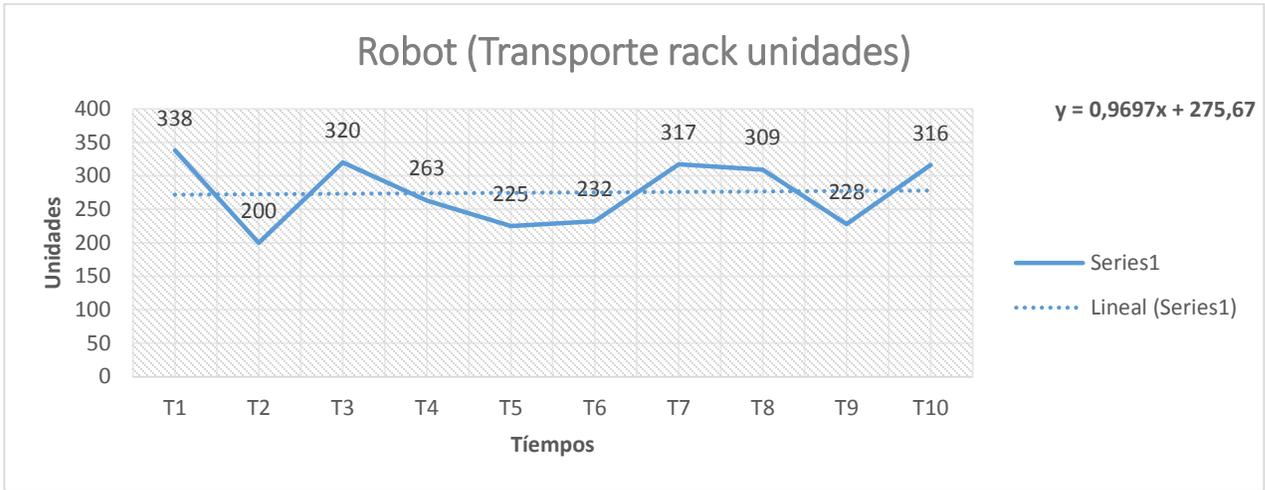
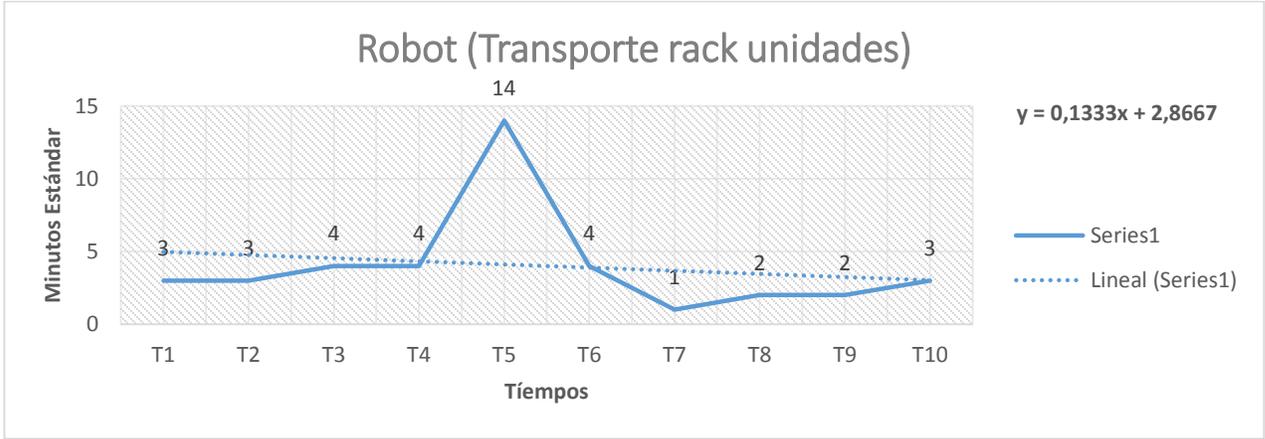
HORNO			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	9	T1	919
T2	11	T2	1142
T3	10	T3	970
T4	10	T4	1053
T5	6	T5	1109
T6	10	T6	1111
T7	10	T7	829
T8	8	T8	1060
T9	11	T9	830
T10	15	T10	1129
Media	10	Media	1015
Desv. Esta	2	Desv. Esta	114

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	12	13	13	14
LCI	8	7	7	6
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Producción			
	3	4	5	6
LCS	1124	1160	1196	1232
LCI	907	871	834	798



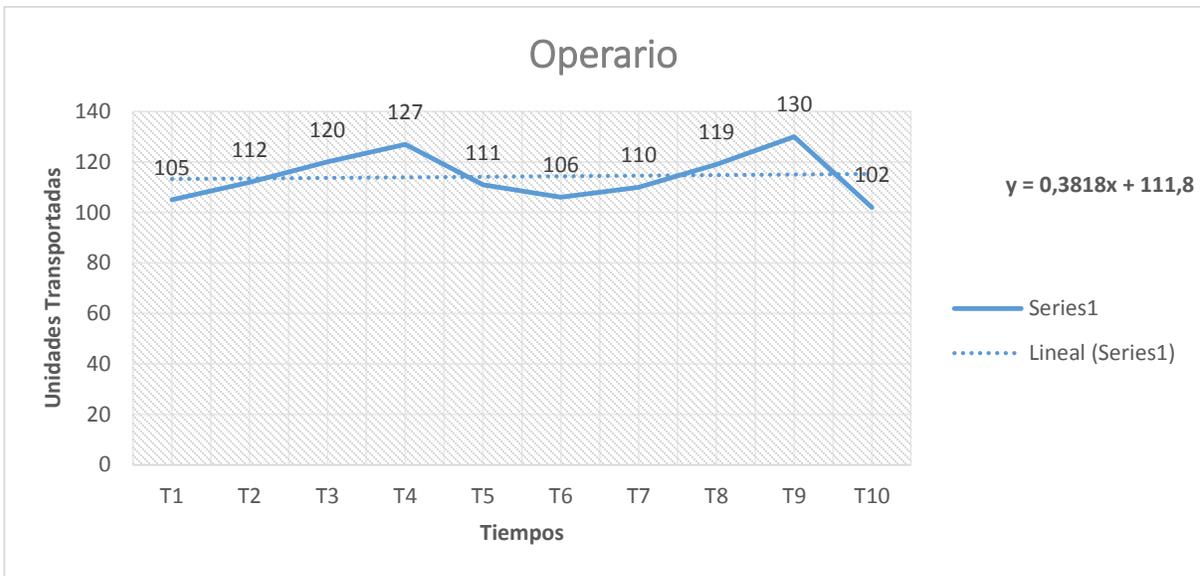
ROBOT (Transporte de rack con unidades)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	4	T1	294
T2	1	T2	248
T3	2	T3	223
T4	4	T4	201
T5	10	T5	212
T6	4	T6	303
T7	3	T7	266
T8	1	T8	236
T9	2	T9	256
T10	3	T10	323
Media	3	Media	256
Desv. Esta	2	Desv. Esta	38

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	6	7	7	8
LCI	1	0	0	-1
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Producción			
	3	4	5	6
LCS	293	305	317	329
LCI	220	208	195	183



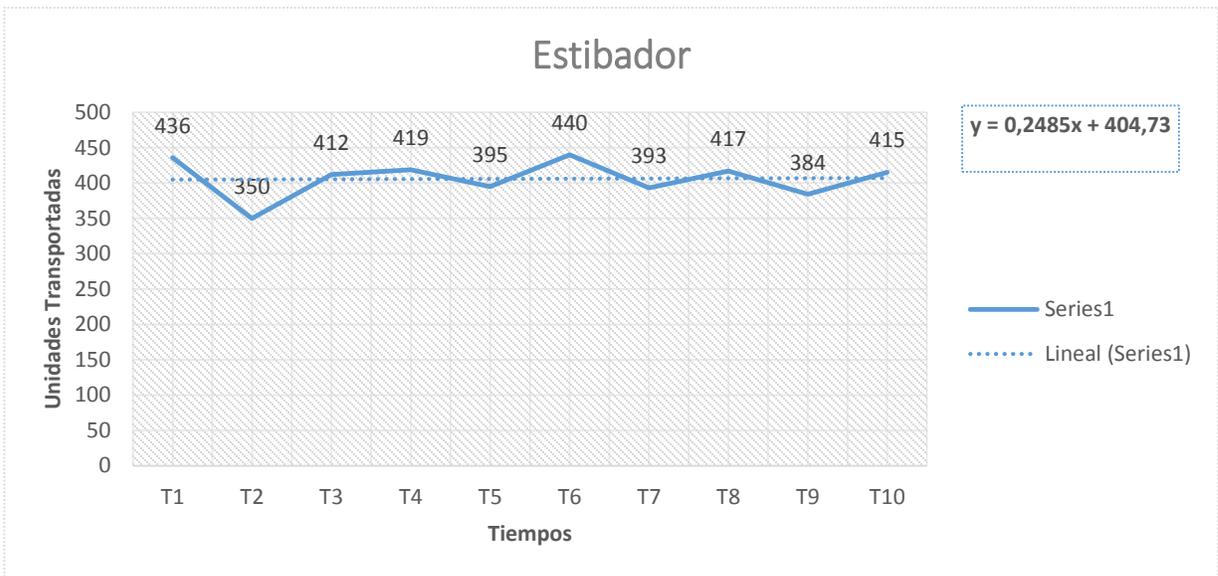
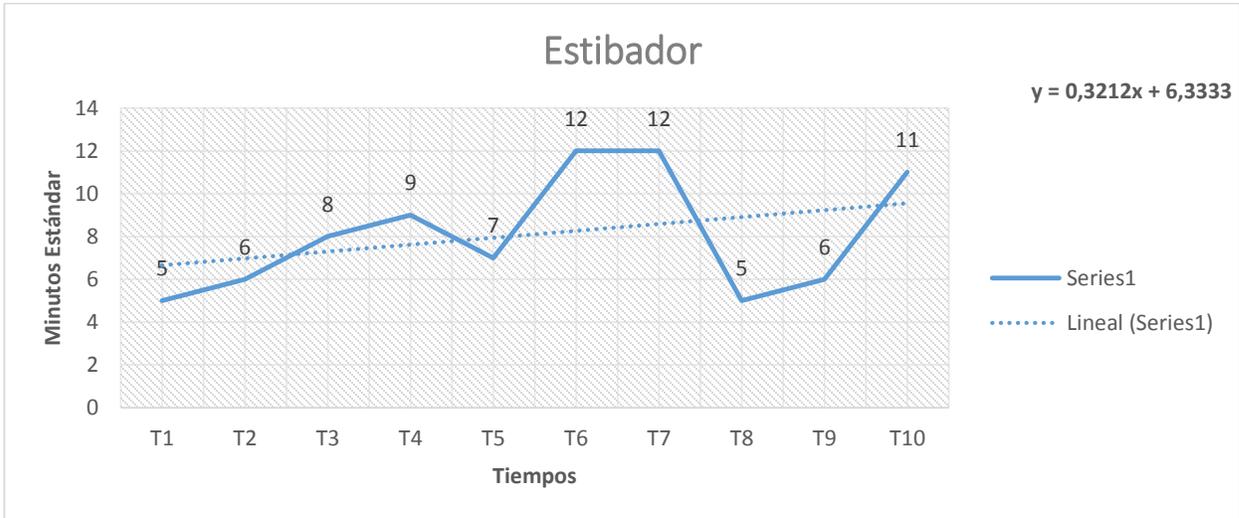
Operario (Transporte de rack con unidades)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	5	T1	101
T2	10	T2	123
T3	5	T3	128
T4	5	T4	124
T5	7	T5	130
T6	12	T6	104
T7	3	T7	115
T8	4	T8	109
T9	4	T9	127
T10	6	T10	127
Media	6	Media	119
Desv. Esta	3	Desv. Esta	10

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	9	10	10	11
LCI	4	3	2	1
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Producción			
	3	4	5	6
LCS	128	132	135	138
LCI	109	106	103	99



Estibador (Unidades para Bodega PF)			
Tiempos	Minutos	Tiempos	PTF
T1	8	T1	394
T2	6	T2	418
T3	9	T3	407
T4	12	T4	414
T5	7	T5	446
T6	7	T6	388
T7	9	T7	430
T8	7	T8	434
T9	11	T9	443
T10	5	T10	397
Media	8	Media	417
Desv. Esta	2	Desv. Esta	20

Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS INICIO PROCESO Tiempo			
	3	4	5	6
LCS	10	11	11	12
LCI	6	5	5	4
Límites de Control	CARTA DE CONTROL SS BODEGA Producción			
	3	4	5	6
LCS	436	442	448	454
LCI	398	392	386	380



Con las anteriores gráficas, las respectivas simulaciones se desprendieron las siguientes ecuaciones lineales por cada proceso, el cual fueron las siguientes:

- 1) $y = 0,2606x + 10,133$
- 2) $y = 1,8364x + 388,4$
- 3) $y = 0,0121x + 8,1333$
- 4) $y = 1,8788x + 69,867$
- 5) $y = 0,103x + 7,1333$
- 6) $y = 0,2303x + 74,133$
- 7) $y = 0,1939x + 7,5333$
- 8) $y = 0,097x + 9,2667$
- 9) $y = 0,5394x + 5,5333$
- 10) $y = 8,7455x + 900,6$

- 11) $y = 0,2909x + 8,4$**
- 12) $y = 0,1333x + 2,28667$**
- 13) $y = 0,9697x + 275,67$**
- 14) $y = 0,2909x + 5,8$**
- 15) $y = 0,3818x + 111,8$**
- 16) $y = 0,3212x + 6,333$**
- 17) $y = 0,2485x + 404,73$**

Estas ecuaciones fueron el resultado de un todo un proceso de simulación y control con esta fabulosa herramienta Seis-Sigma de calidad y ahora enfocada al control, pues cada día esta área de la confiabilidad y calidad, toma más relevancia debido a la creciente demanda por productos que satisfagan los requisitos de los clientes, en este caso de los bloques de arcilla para tener un buen desempeño durante un tiempo suficientemente largo. No es suficiente que un producto cumpla las especificaciones y criterios de calidad establecidos y evaluados durante el proceso de producción, sino que además es necesario que el producto sea confiable en el sentido de que tenga un buen desempeño durante cierto tiempo, como es el caso de los bloques de cerámica.

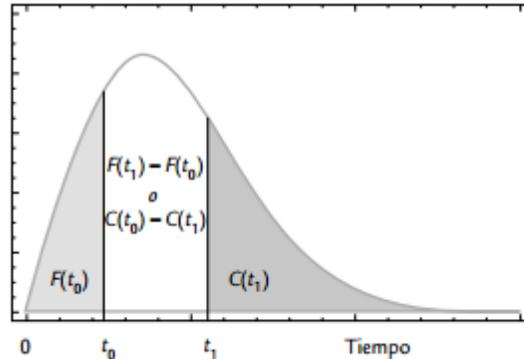
Así, la confiabilidad es la característica de calidad que mide la duración de los productos, los cuales deben operar sin fallas durante un tiempo especificado. De manera que al afirmar que un artículo es de alta calidad significa que cumple todas sus especificaciones, incluyendo la confiabilidad. De esta manera, confiabilidad es la calidad a lo largo del tiempo.

Por otro lado, se dice que la falla de un producto es cuando deja de operar dentro de las especificaciones. Esto es, no necesariamente una falla es algo catastrófico, sino que se puede definir como cierto grado de desviación de una característica de calidad con respecto a su valor nominal. Por ejemplo, un bloque que se granula después de colocado en un muro, esta última es la falla más frecuente. Se llama tiempo a la falla o tiempo de falla a aquel que transcurre hasta que el producto deja de funcionar de acuerdo con las especificaciones.

También se le llama tiempo de vida del producto. En términos matemáticos, la confiabilidad de un producto, componente o sistema es la probabilidad de que éste desempeñe sin fallas la función para la que fue diseñado y durante un periodo especificado.

6.1 Función de Confiabilidad:

Con esta función, denotada con $C(t)$ y también conocida como función de supervivencia, se obtiene la probabilidad de que el producto no haya fallado (sobreviva) en el tiempo t .



Con lo que $C(t) = P(T > t) = 1 - F(t)$.

Por ejemplo, para la distribución exponencial se tiene que:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; \quad t \geq 0$$

$$C(t) = \int_t^{\infty} f(x) dx = 1 - F(t) = 1 - (1 - e^{-\lambda t}) = e^{-\lambda t}$$

6.2 Ciclo de vida de un producto:

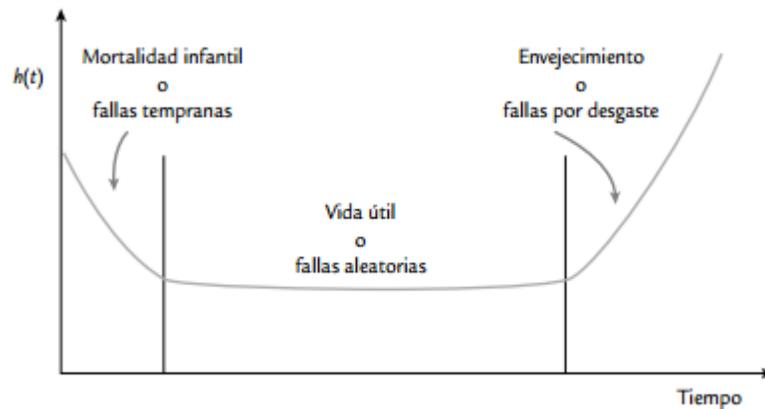
En muchos productos se distinguen tres periodos diferentes en cuanto a su tasa o función de riesgo que son:

- *La mortalidad inicial o fallas tempranas que ocurren al inicio de la vida del producto (riesgo decreciente)*
- *La vida útil o fallas aleatorias que marcan el periodo donde el producto cumple con bajo riesgo (constante) la función para la que fue diseñado.*
- *El envejecimiento o fallas por desgaste, que se distingue por el incremento en la propensión a fallar del producto (riesgo creciente).*

Por ejemplo, la vida humana tiene este comportamiento: es mayor el riesgo de morir en los primeros cinco o seis años de vida, y al pasar esta edad, dicho riesgo se mantiene constante aproximadamente hasta los 45 años, a partir de los cuales el riesgo comienza a incrementarse, pero ahora debido al envejecimiento. Por supuesto que durante la vida útil también ocurren muertes (fallas), el riesgo de

que éstas ocurran es menor. Los dos puntos de inflexión, que separan las tres etapas de la vida son de interés en el estudio de la confiabilidad del producto: el primero tiene relación directa con la determinación del tiempo de quemado o *burn-in*⁵⁷ y el segundo se relaciona con el tiempo al cual la unidad debe sustituirse por una nueva, o bien, cuando se le debe dar un mantenimiento mayor para alargar su vida útil.

Para ello se esquematiza aplicando para la manufactura de bloques la famosa curva de la bañera.



Aunque la mayoría de los estudios de confiabilidad se enfocan en estudiar uno de los lados de la tina de baño, ya sean las fallas tempranas o aquellas por envejecimiento. El fin último es mejorar la confiabilidad del producto.

Para ello es analizar la siguiente función que se aplicó a la presente tesis.

6.3 Función del Riesgo Acumulado

Esta función acumula el riesgo de falla que ha tenido un producto hasta el tiempo t , y se obtiene con:

$$H(t) = \int_0^t h(x) dx$$

La utilidad de $H(t)$ resulta de que la función de confiabilidad se puede obtener como:

$$C(t) = e^{-H(t)}$$

De aquí es posible deducir que el riesgo acumulado siempre tiende a infinito cuando el tiempo tiende a infinito, lo cual indica que a la larga todos los productos fallan aunque la tasa de riesgo sea decreciente.

CAPITULO VII

IMPACTO ECONÓMICO

Un estudio de este nivel, es menester medir su impacto económico, como factores que contribuyan a que la inversión de diseñar e implementar en una planta donde se manufactures bloques de cerámica, obtengan beneficios económicos considerables al *Retorno sobre la Inversión*. Alcanzando los siguientes objetivos:

- Maximizar los ingresos por producción.
- Maximizar las utilidades brutas unitarias (por bloque)
- Maximizar las utilidades brutas totales
- Evaluación de Periodo de recuperación del capital en la inversión de instrumentos de control.

Antes que nada es analizar el Valor Esperando, el cual es el riesgo inherente de la inversión de implementar herramientas de control de calidad y se prevé en un futuro muy cercano el retorno sobre la inversión.

Para ello cumpliendo los requerimientos, se analizan por separado cada objetivo de la siguiente manera.

7.1 Maximizar los ingresos por producción:

Detectando los recursos o recurso cuello de botella, se implementa la siguiente tabla:

TIPOS DE BLOQUES	CUELLO DE BOTELLA	TIEMPO REQUERIDO (min)	Unds/Hora	Precio Venta	Ingresos
A	Extrusora	10	6	\$ 100	\$ 600
B	Corte	6	10	\$ 150	\$ 1.500
C	Molienda	5	12	\$ 200	\$ 2.400

Se aprecia que se recomienda la fabricación del bloque tipo C, por los ingresos por hora obtenidos.

7.2 Maximizar las utilidades brutas unitarias (por bloque)

TIPOS DE BLOQUES	Precio Venta	Costo Materia Prima	Utilidad Bruta /Hora
A	\$ 100	\$ 50	\$ 50
B	\$ 150	\$ 100	\$ 50
C	\$ 200	\$ 150	\$ 50

Aquí los tipos de bloque obtienes las mimas utilidades.

7.3 Maximizar las utilidades brutas totales:

TIPOS DE BLOQUES	CUELLO DE BOTELLA	TIEMPO REQUERIDO (min)	Unds/Hora	Precio Venta	Costo Materia Prima	Utilidad Bruta /Hora	Utilidades Por Hora
A	Extrusora	10	6	\$ 100	\$ 50	\$ 50	\$ 300
B	Corte	6	10	\$ 150	\$ 100	\$ 50	\$ 500
C	Molienda	5	12	\$ 200	\$ 150	\$ 50	\$ 600

Aquí se aprecia que lo recomendable es la producción del bloque tipo C.

7.4 Evaluación de VPN (Valor Presente Neto) en la inversión de instrumentos de control.

Para este análisis se utilizó la siguiente función de periodo de retorno sobre la inversión.

$$P = \frac{I}{L - E + q(L + Z)}$$

Donde:

P= Periodo de la devolución en años en que se recupera la inversión.

I=Total de inversión de capital requerida en la implementación de la herramienta Seis-sigma y controles industriales.

L=Costos totales anuales sustituidos por la implementación de los controles y reemplazo de mano de obra directa innecesaria.

E=Costo anual de mantenimiento del sistema implementado.

q = Factor de aceleración de producción de bloques de cerámica

Z= Depreciación anual (Línea Recta)

Para el caso los datos son los siguientes:

I= \$45.000.000

L= \$15.000.0000

E=\$7.000.000

q = 1.7 (170%)

Z= \$4.500.000

$$P = \frac{\$45.000.000}{\$15.000.000 - \$7.000.000 + 1.7(\$15.000.000 + \$4.500.000)} = 1,7 \text{ AÑOS}$$

En ese tiempo se recupera la inversión.

CONCLUSIONES

- Lean Síes-Sigma es una metodología de mejora de procesos que combina las ventajas de ambas técnicas de Lean Manufacturing para ayudar a las empresas de manufactura de productos cerámicos a agilizar las operaciones, aumentar el valor y reducir los residuos.
- Las desventajas de estas técnicas son que pueden ser complejas e involucrar una significativa formación. Pero hay una serie de beneficios que las empresas pueden lograr con el uso de estas herramientas.
- Uno de los grandes beneficios de Seis-Sigma es un aumento de la participación de los empleados a través de su participación en los equipos de mejora de procesos diseñados para ayudar a mejorar los procesos y aumentar el valor para sus clientes, internos y externos.
- Al involucrar a los empleados en la ejecución de estos programas, adquieren un mayor aprecio por el impacto de la labor que realiza en los resultados empresariales, así como una apreciación de cómo el trabajo de otros empleados y departamentos también contribuyen al éxito

BIBLIOGRAFÍA

Acedo, J (2006). *Instrumentación y control avanzado de procesos*. (2ª. Ed.). Madrid: Editorial Díaz de Santos.

Bawa, H (2004). *Procesos de Manufactura*. (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Bencardino, C (2008). *Estadística y Muestreo*. (2ª. Ed.). Bogotá D.C: Editorial ECOE Ediciones.

Cuetrecasas, Ll. (2010). *Lean Management. La gestión competitiva por excelencia*. (1ª. Ed.). Barcelona: Editorial Profit.

Cuetrecasas, Ll. (2010). *Gestión Integral de la Calidad*. (1ª. Ed.). Barcelona: Editorial Profit.

Chase, R., Jacobs, F., y Aquilano N (2009). *Administración de Producción y Operaciones*. (12ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Cruelles, J. (2013). *Ingeniería Industrial Métodos de trabajo, tiempos y su aplicación a la planificación y la mejora continua*. (1ª. Ed.). Barcelona: Editorial Alfaomega.

Cruces, A (2007). *Simulación y control de procesos por ordenador*. (2ª. Ed.). Barcelona: Editorial Alfaomega.

Eliyahu, M. G., y Cox J. (2011). *La Meta*. (8ª. Ed.). Buenos Aires: Editorial Granica.

Escalante, E. (2007). *Seis Sigma Metodología y Técnicas*. (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Limusa.

Flexsim software de simulación de procesos <https://www.flexsim.com/es/>

Gutiérrez H. (2010). *Calidad Total y Productividad*. (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Gutiérrez, H y De la Vera R. (2012). *Análisis y Diseño de Experimentos*. . (3ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Gutiérrez, H y De la Vera R (2009). *Control Estadístico de Calidad y Seis Sigma*. (2ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Groover, M. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. . (3ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Hodson, W (1996). *Maynard Manual del Ingeniero Industrial. Tomo I* (4ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Hodson, W (1996). *Maynard Manual del Ingeniero Industrial. Tomo II* (4ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Imai, M. (2007). *Kaizen. La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa.* (20ª. Ed.). México D.F: Editorial Patria 2007.

Kumar, D (2008). *Six Sigmas, Las mejores prácticas, una guía de la excelencia en el proceso de los negocios.* (1ª. Ed.). Bogotá D.C: Editorial 3R Editores.

Liker, J. (2011). *Toyota, Cómo el fabricante más grande del mundo, alcanzo el éxito.* (1ª. Ed.). Bogotá D.C: Editorial Grupo Editorial Norma.

Mankiw, N (2012). *Principios de Economía.* . (6ª. Ed.). México D.F: Editorial Cenage Learning.

Mason, R., y Douglas A. (1998). *Estadística para la Administración y Economía.* . (8ª. Ed.). México D.F: Editorial Alfaomega.

Martinich, J (2002). *Production And Operations Management, An applied modern approach.* (1ª. Ed.). New York: Editorial Limusa Wiley.

Moore, H (2007). *MATLAB para ingenieros.* (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Pearson Prince Hall.

Niebel, B., y Freivalds A. (2009). *Ingeniería Industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo.* (12ª Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Ogata, K (2010). *Ingeniería de Control Moderna.* (5ª. Ed.). Madrid: Editorial Pearson.

Piedrafita, R (2004). *Ingeniería de la Automatización Industrial* (2ª. Ed.). México D.F: Editorial Alfaomega.

Pérez, M (2011). *Metodología Seis Sigma a través de Excel.* (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Alfaomega.

Riggs, J (2010). *Sistemas de Producción. Planeación, análisis y control.* (3ª. Ed.). México D.F: Editorial Limusa Wiley.

Sipper, D., y Bulfin, R. (1998). *Planeación y Control de la Producción.* . (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Sampieri, R., Collado C., y Baptista P (2003). *Metodología de la investigación.* (3ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Soria, S (2013). *Sistemas Automáticos Industriales de Eventos Discretos.* (1ª. Ed). México D.F: Editorial Alfaomega.

Schmidt, Launsby (1997) *Modelo matemático de control*.
<https://kenyjose2110.files.wordpress.com/2014/04/control-estadistico-de-la-calidad-y-seis-sigma-gutierrez-2da.pdf>.

Shinskey, F (1996). *Sistemas de control de procesos. Aplicación, diseño y sintonización. Tomo I* (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Shinskey, F (1996). *Sistemas de control de procesos. Aplicación, diseño y sintonización. Tomo 2* (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Mc Graw Hill.

Smith, B (2014). *Biografía*. [https://es.wikipedia.org/wiki/Bill_Smith_\(Motorola\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Bill_Smith_(Motorola))

Taha, H (2012). *Investigación de Operaciones*. (9ª. Ed.). México D.F: Editorial Pearson.

Tompkins, J., White, J., Bozer, Y., y Tanchoco J (2006). *Planeación de instalaciones*. (3ª. Ed.). México D.F: Editorial Thomson.

Umez-Eronini, E (2001). *Dinámica de Sistemas de Control*. (1ª. Ed.). México D.F: Editorial Thomson.

Valderrey, P (2011). *Seis Sigma Fundamentos, fases y herramientas*. (1ª. Ed.). Bogotá D.C: Editorial Ediciones de la U.

Vega, I (2012). *Procesos Productivos, obtenga la máxima rentabilidad*. (2ª. Ed.). Bogotá D.C: Editorial Ecoe Ediciones.

Vilar, J (2005). *Control Estadístico de los Procesos*. (1ª. Ed.). Madrid: Editorial FC Editorial.

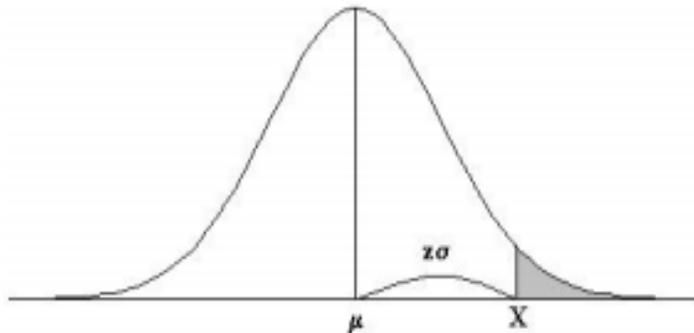
INDICE DE GRAFICAS

Nº	Gráfica
1	<i>Figura N° 1 Tipos de Trituradores</i>
2	<i>Figura N° 2 Tipo de Molinos</i>
3	<i>Figura N° 3 Proceso esquemático de producción de bloque macizo de cerámica</i>
4	<i>Figura N° 4 Esquema de Manufactura de Ladrillos</i>
5	<i>Figura N° 5 Ciclo DMAIC Seis-Sigma</i>
6	<i>Figura N° 6 Área bajo la curva (Distribución Normal o Campana de Gauss)</i>
7	<i>Figura N° 7 Ciclo PHVA (Planear, Hacer, Verificar y Actuar)</i>

ANEXOS

TABLA 1: DISTRIBUCIÓN NORMAL

Áreas bajo la curva normal



Ejemplo:

$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma}$$

$$P[Z > 1] = 0.1587$$

$$P[Z > 1.96] = 0.0250$$

Desv. normal x	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.4960	0.4920	0.4880	0.4840	0.4801	0.4761	0.4721	0.4681	0.4641
0.1	0.4602	0.4562	0.4522	0.4483	0.4443	0.4404	0.4364	0.4325	0.4286	0.4247
0.2	0.4207	0.4168	0.4129	0.4090	0.4052	0.4013	0.3974	0.3936	0.3897	0.3859
0.3	0.3821	0.3783	0.3745	0.3707	0.3669	0.3632	0.3594	0.3557	0.3520	0.3483
0.4	0.3446	0.3409	0.3372	0.3336	0.3300	0.3264	0.3228	0.3192	0.3156	0.3121
0.5	0.3085	0.3050	0.3015	0.2981	0.2946	0.2912	0.2877	0.2843	0.2810	0.2776
0.6	0.2743	0.2709	0.2676	0.2643	0.2611	0.2578	0.2546	0.2514	0.2483	0.2451
0.7	0.2420	0.2389	0.2358	0.2327	0.2296	0.2266	0.2236	0.2206	0.2177	0.2148
0.8	0.2119	0.2090	0.2061	0.2033	0.2005	0.1977	0.1949	0.1922	0.1894	0.1867
0.9	0.1841	0.1814	0.1788	0.1762	0.1736	0.1711	0.1685	0.1660	0.1635	0.1611
1.0	0.1587	0.1562	0.1539	0.1515	0.1492	0.1469	0.1446	0.1423	0.1401	0.1379
1.1	0.1357	0.1336	0.1314	0.1292	0.1271	0.1251	0.1230	0.1210	0.1190	0.1170
1.2	0.1151	0.1131	0.1112	0.1093	0.1075	0.1056	0.1038	0.1020	0.1003	0.0985
1.3	0.0968	0.0951	0.0934	0.0918	0.0901	0.0885	0.0869	0.0853	0.0838	0.0823
1.4	0.0808	0.0793	0.0778	0.0764	0.0749	0.0735	0.0721	0.0708	0.0694	0.0681
1.5	0.0668	0.0655	0.0643	0.0630	0.0618	0.0606	0.0594	0.0582	0.0571	0.0559
1.6	0.0548	0.0537	0.0526	0.0516	0.0505	0.0495	0.0485	0.0475	0.0465	0.0455
1.7	0.0446	0.0436	0.0427	0.0418	0.0409	0.0401	0.0392	0.0384	0.0375	0.0367
1.8	0.0359	0.0351	0.0344	0.0336	0.0329	0.0322	0.0314	0.0307	0.0301	0.0294
1.9	0.0287	0.0281	0.0274	0.0268	0.0262	0.0256	0.0250	0.0244	0.0239	0.0233
2.0	0.0228	0.0222	0.0217	0.0212	0.0207	0.0202	0.0197	0.0192	0.0188	0.0183
2.1	0.0179	0.0174	0.0170	0.0166	0.0162	0.0158	0.0154	0.0150	0.0146	0.0143
2.2	0.0139	0.0136	0.0132	0.0129	0.0125	0.0122	0.0119	0.0116	0.0113	0.0110
2.3	0.0107	0.0104	0.0102	0.0099	0.0096	0.0094	0.0091	0.0089	0.0087	0.0084
2.4	0.0082	0.0080	0.0078	0.0075	0.0073	0.0071	0.0069	0.0068	0.0066	0.0064
2.5	0.0062	0.0060	0.0059	0.0057	0.0055	0.0054	0.0052	0.0051	0.0049	0.0048
2.6	0.0047	0.0045	0.0044	0.0043	0.0041	0.0040	0.0039	0.0038	0.0037	0.0036
2.7	0.0035	0.0034	0.0033	0.0032	0.0031	0.0030	0.0029	0.0028	0.0027	0.0026
2.8	0.0026	0.0025	0.0024	0.0023	0.0023	0.0022	0.0021	0.0021	0.0020	0.0019
2.9	0.0019	0.0018	0.0018	0.0017	0.0016	0.0016	0.0015	0.0015	0.0014	0.0014
3.0	0.0013	0.0013	0.0013	0.0012	0.0012	0.0011	0.0011	0.0011	0.0010	0.0010

Datos de diámetros extraídos en campo y simulaos en Flexsim para las cartas de control

SUBGRUPO	DATOS			MEDIA	RANGO
1	315.6	319.2	303.8	312.87	15.4
2	318.8	309.2	321.4	316.47	12.2
3	311.2	312.1	342.9	322.07	31.7
4	322.0	321.1	329.1	324.07	8.0
5	315.2	327.4	300.6	314.40	26.8
6	310.3	319.8	338.5	322.87	28.2
7	320.6	315.9	318.3	318.27	4.7
8	322.2	303.6	323.4	316.40	19.8
9	329.1	306.7	312.4	316.07	22.4
10	322.4	318.8	299.7	313.63	22.7
11	326.2	310.1	338.5	324.93	28.4
12	328.8	325.0	322.0	325.27	6.8
13	328.8	306.3	305.6	313.57	23.2
14	318.7	320.8	310.3	316.60	10.5
15	326.7	316.7	327.3	323.57	10.6
16	313.4	307.4	329.5	316.77	22.1
17	337.3	312.9	324.4	324.87	24.4
18	316.3	314.1	323.0	317.80	8.9
19	327.2	338.2	340.9	335.43	13.7
20	337.8	343.0	337.4	339.40	5.6
21	309.2	321.7	310.5	313.80	12.5
22	314.3	321.6	318.0	317.97	7.3
23	318.9	322.2	333.5	324.87	14.6
24	303.7	326.3	337.1	322.37	33.4
25	319.3	338.8	320.9	326.33	19.5
26	317.0	327.4	312.5	318.97	14.9
27	310.6	318.5	336.7	321.93	26.1
28	319.5	326.0	333.2	326.23	13.7
29	308.6	321.7	306.0	312.10	15.7
30	316.2	321.6	328.5	322.10	12.3
	Media			320.73	17.2

ARTICULO

Quality control of Six Sigma in the ceramic industry

Author: Rafael Emilio Casadiego Sarmiento

Co-Author: Saury José Thomas Manzano

Engineering and Architecture faculty, Master's degree on Industrial Controls, Pamplona University, Pamplona (Colombia, South America)
industrialrafa@gmail.com

Corresponding Authors: MSc Rafael Emilio Casadiego Sarmiento, MSc Saury José Thomas Manzano, Engineering and Architecture department, Pamplona University, Pamplona (Colombia, South America). industrialrafa@gmail.com

Abstract: In this article, the parameters of industrial control of processes were defined using the Six Sigma tool for ceramic or clay bricks' manufacture, focusing in every step of the production chain of bricks, its requirements, its sequences and value stream, and also the allowable times of manufacture and reference parameters to determine the information needed in the working field towards the implementation of industrial control of processes with the Six Sigma tool according to the current production rate. Also we want to determine the economic impact on the implementation of industrial controls and the return of the investment in its execution.

Key words: Six Sigma, Just in Time, Critical To Quality (CQT), Feedback, Lean, Processes Control, DMAMC, Industrial Indicator, Economic Impact, The Bottleneck, PPM (i.e. Parts Per Million as stated in Spanish), Control Path, Flexsim, Simulink.

1. INTRODUCTION

This process of quality control of Six Sigma (6σ), initially defined as a DMAMC (i.e. Define, Measure, Analyze, Improve and Control as stated in Spanish), is a continuous process of improvement, which includes a range of costs reduction and a quality process with Kaizen, which in itself is another aspect of measuring the performance of a process regarding the level of the product that is related to the specifications required by the clients or the market, supporting the usage of suitable tools, having the avoidance of bad elaboration of products as a goal.

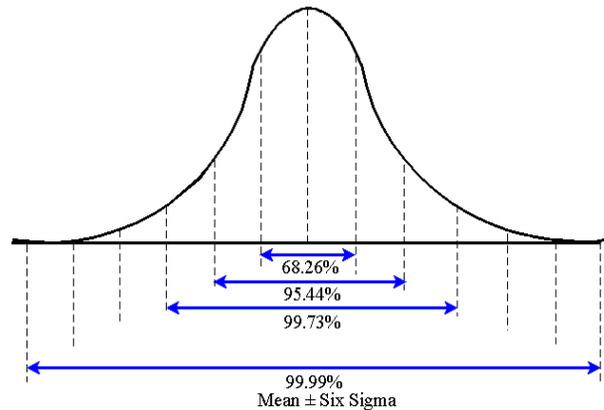
2. SIX SIGMA AS AN INDUSTRIAL CONTROL TOOL

The foundation and main goal of Six Sigma is the client and the market, and they can judge the industry not only by the use of statistical measures, but also by the quality of the products measured from the point of view of the variety of them. We use the term variation to define every change performed in the manufacturing process that can change the results that clients and the market expect. It is because of this that Six Sigma is focused initially on reducing the process' variability to increase the settled capacity.

The implementation of this control tool was focused on the standard deviation of the limits of specification of the ceramic bricks, which must be close to six sigma (6σ). Also was focused on the limits of specification applied to the research that has two limits: Superior

limitations (LS as stated in Spanish) and Inferior Limitations (LI as stated in Spanish). Both of them determine the tolerance of design.

With this new managed approach, therefore, we can take one particular product (like ceramic manufactured bricks) and measure the characteristics of interest and estimate its sigma, so that even one of the characteristics must fit in the specifications, as shown in the next image:



The model of industrial management addressed by Six Sigma used in the research done at the implementation of the processes was a model of big importance, also seen as a strategy. Its achieved fundamental objective allowed the offering of quality products, satisfying a specific market, and obtaining the optimal maximization of aspects like time, minimum costs, Specific controls and industrial competitiveness.

The usage of Six Sigma was not only an efficient way to control the quality in the ceramic industry and its processes, but also was constituted as a new way of thinking, planning and deciding, based on the client as main objective and focused in everything that generates costs from the point of view of the requirements and demands of the client, reducing to the fullest the long list of activities that in the traditional industrial world is done in all the areas.

3. WHAT IS LEAN MANUFACTURING?

Lean Manufacturing was the aid to handle in an accurate way industrial operations using the equipment based on the requirements for brick elaboration. This manufacturing is required as a basis for the attainment of the Six Sigma tool as an industrial control. Lean manufacturing focuses on the offering of a product of a highest quality meeting the design requirements and specifications in order to assure clients' input and feedback which constitute the starting point of lean manufacturing. A host industry allowed the identification of the items that have value by means of the analysis of all the activities beginning with the concurrent manufacturing of the elaboration of ceramic bricks. Also, the host industry allowed the analysis of how the processes can be highly efficient by means of adjusting the operations, the resources and the available equipment for manufacturing, knowing that these must be specific regarding sequences, production times, deadlines and results to measure the capacity of process. The use of Six Sigma permitted the adjustment measuring how far the production process of ceramic and clay bricks can deviate from "perfection", in terms of statistics. For this production to be leaned many qualitative aspects were included like:

Critical to Quality (CTQ): The most important attribute to satisfy the internal needs of the concurrent manufacturing of control and the needs of the client.

Capacity of the Process: Defines which process can be delivered, for the settled capacity to be adjusted to the design specifications.

Stable operation: Keeps a process consistent and predictable to improve production and the expectations focused on quality.

The reward of implementing the respective controls is that, before the implementation of a Six Sigma statistic control system, there was a simulation of processes that allowed the evidence of bottlenecks, Critical points, Restrictions and needed feedback to use the **FLEXSIM** software using the time production average extracted from the manufacture field.

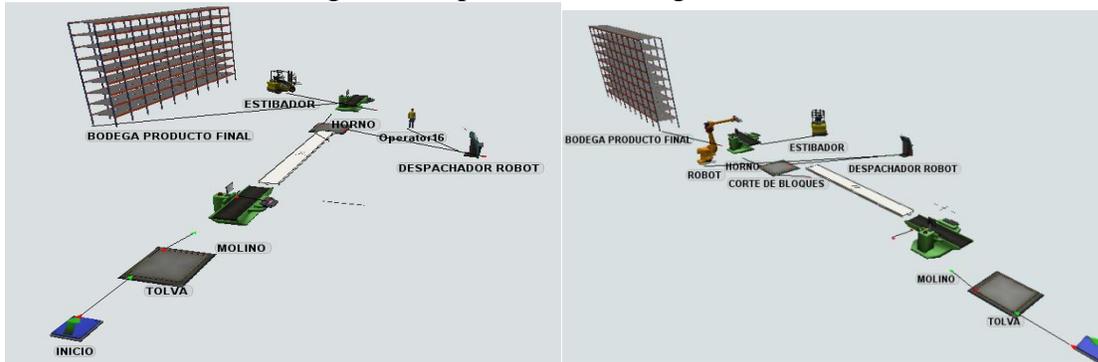


Figure #1 Flexsim simulation (operator and robot)

4. ACHIEVED RESULTS AND IMPLEMENTATION OF SIX SIGMA CONTROL

For the process that is automatized in the ceramic brick manufacture, and also the one that is not automatized, there was an application of the control of Six Sigma methodology to be stronger, using a measure of control focused on the quality of the brick in a particular round of production.

As an example, as shown in the simulation capture in Flexsim with a flexible simulation, it is desired to reach a high level of sigma related to six sigmas (6σ), implying the specifications based on the area under the curve of normal distribution. Still, the simulation has been done with two different realities: First, including an operator in the transportation process of bricks before baking them in a real situation in the host company that allowed the gathering of the information. And second, another reality where, instead of an operator, a robot was used. The idea was to verify in each situation the quality level of six sigma (6σ), in a production round of one million units (1.000.000 units/ 8 hours) that would be in a 7% of DMPO (i.e. Defect Per Million of Chances, as stated in Spanish). When compared to two sigma (2σ), this would be in a higher level and the quality level would be lower, only focusing on the defects that the bricks would have in the production round, than the previous example on the applied case which reached the next level, as shown in the table:

Sigma Rate	Output (%)	DPMO (Defect Per Million of Chances)	Defective Bricks
$\mu \pm 1\sigma$	68.24%	700.000 $\left[\frac{700.000}{1'584.000} = 0.44 \right]$	1 in 23 Bricks
$\mu \pm 2\sigma$	95.74%	300.000 $\left[\frac{300.000}{1'584.000} = 0.189 \right]$	1 in 53 Bricks
$\mu \pm 3\sigma$	99.74%	70.000 $\left[\frac{70.000}{1'584.000} = 0.04 \right]$	1 in 226 Bricks
$\mu \pm 4\sigma$	99.95%	6.000 $\left[\frac{6.000}{1'584.000} = 0.003 \right]$	1 in 2.640 Bricks
$\mu \pm 5\sigma$	99.99%	200 $\left[\frac{200}{1'584.000} = 0.00001 \right]$	1 in 79.200 Bricks
$\mu \pm 6\sigma$	99.99997%	3.4 $\left[\frac{3.4}{1'584.000} = 0.000002 \right]$	1 in 4'658.824 Bricks

Table N° 1: Results reached with simulation and the adjustments made to reality.

What was reached at that point was to exert an industrial control for the production processes to operate under Six Sigma(6 σ) to be “almost” defect free, as shown in the previous table of the results reached. This industrial control can be identified as the “best in its class” because, in terms of statistics of control processes, it meant a 0,00034%, per million of manufactured units within a regular and legal workday of 8 hours in Colombia. However, the most important impact with Six Sigma is to reduce the defects and mistakes to “zero” even if is the case of having a defect in a production round related to all the operations implied in the production, like grinding, sieving, mixing, extrusion, cutting, baking, storage.

Therefore, for the application of controls, it was designed the rout map of Six Sigma control that begins with the production cycle of the group of structured activities focused on guaranteed quality, the strength and reliability of the product reducing costs and ultimately increasing the value for the client, documenting the processes, something that is required as a basis for its implementation following the *Route of control* emphasized like following:

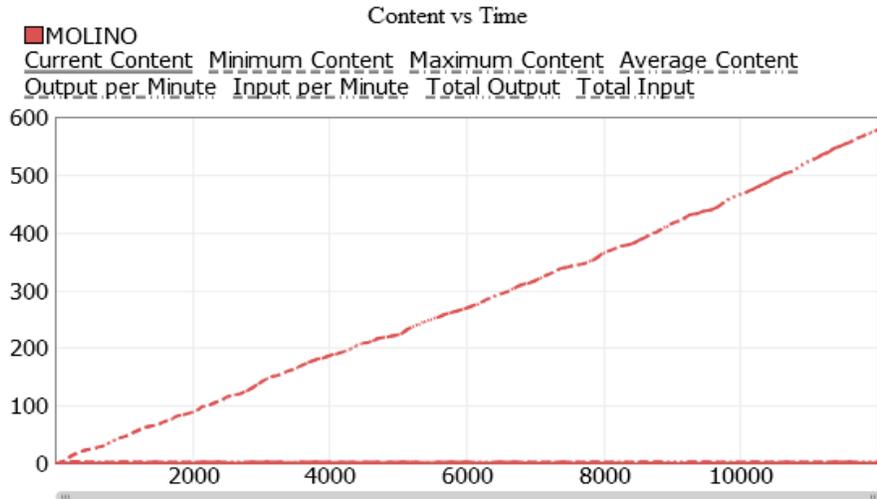
- **Define:** The goals susceptible to changes, identifying the important factors, the expectations, resources and production scheduling.
- **Measure:** The process and determine the actual performance of the data gathered in the field. Therefore, the control process of Six Sigma requires the quantification and comparing of the process by means of real data.
- **Analyze:** The data and determine the root of the defects avoiding feedback. Once the process of elaboration and the basic performance are understood, then there could be an existence of an opportunity for improving the process.
- **Improve:** The process of elimination of defects and waste that rest value, discovering and validating the data, outlining the process using the Ishikawa diagram.
- **Control:** The process of elaboration of ceramic bricks, with the corresponding measurements, assurance and focus on the statistic Six Sigma.

To conclude the process we obtained the following results with the gathered data in the field with the brick company Norsan Ltda:

PROCESS / ACTIVITY	Settled Capacity (minutes)	Units	Minutes										Production				
			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	Average Time	Normal Time	Standard Time	Input State	Output State
BEGINNING	10	Tonnes	5	10	12	6	7	4	7	7	9	10	7,7	7,3	7,7	73	77
HOPPER	8	Tonnes	4	11	9	4	5	5	7	6	12	10	7,3	6,9	7,3	55	58
GRINDER	1	Tonnes	10	8	5	7	12	10	11	11	11	12	9,7	9,2	9,7	9	10
BRICKS CUTTING	120	Units	10	11	11	8	8	10	11	8	10	11	9,8	9,3	9,8	1117	1176
FURNACE	120	Units	7	6	11	5	8	7	9	14	5	7	7,9	7,5	7,9	901	948
ROBOT	50	Units	2	1	4	2	4	1	4	3	1	1	2,3	2,2	2,3	109	115
STEVEDORE	100	Units	10	10	7	11	8	7	12	9	4	12	9	8,6	9	855	900
STOREHOUSE FINAL PRODUCT	100	Units	6	11	11	11	11	7	9	6	6	9	8,7	8,3	8,7	827	870
Total			54	68	70	54	63	51	70	64	58	72	62,4	59,3	62,4		

Table N° 2: Results reached within the production times.

Graphically we can see the following results for each final process of manufacture of ceramic bricks, in the final inventory (Storehouse), showing its final disposition in a lineal way.



As seen in this graphic, there is a line of tendency in all the processes that allows the implementation of this tool of control, assuring the quality of the product, estimating the responses to fluctuating demands and satisfying a current market.

5. CONCLUSIONS

- ✓ In this research we were able to define the parameters required for the manufacture processes of ceramic and clay bricks based on the guidelines of the Six Sigma control tool, directed to the continuous value stream of DMAIC (i.e. Define, Measure, Analyze, Improve and Control as stated in Spanish), in each step of the production.
- ✓ We could confidently establish each step of the chain of production of bricks, its requirements, sequence, value stream, proximity and reinforcement done within the statistical industry controls that Six Sigma requires to achieve an efficiency of 99,99999 % of quality of the final product.
- ✓ Many important results were achieved in the gathering of data related to the allowed times of production in the initial immersion at the factory, the number of gathered observations and the amount of instruments used in the field (Chronometer Calibration), using the Method engineering tools in order to have *Reliability and Validity* in the information gathered in the practice at the brick company Norsan Ltda.
- ✓ The implementation of the gathered data that was kept in the simulation done with Flexsim, allowed the establishment of the needed Six Sigma industrial controls and

in that way we could analyze a realistic relevance that can help the host company called Ladrillera Norsan Ltda to be certified in a system of quality management required by the international markets and to be a pioneer on Lean Manufacturing of Six Sigma in the region.

**CERTIFICACIÓN PUBLICACION ARTÍCULO REVISTA: INDIAN STREAMS
RESEARCH JOURNAL**



International Recognition Multidisciplinary Research Journal

Indian Streams Research Journal

Double Blind Peer Reviewed Journal

RNI : MAHMUL/2011/38595

ISSN No : 2230-7850

Acceptance Certificate

This is to certify that our Editorial, Advisory, and Review Board Accepted Research Paper of
Dr. /Shri. /Smt. Rafael Emilio Casadiego Sarmiento, Saury José Thomas Manzano

Topic : QUALITY CONTROL OF SIX SIGMA IN THE CERAMIC INDUSTRY

Engineering and Architecture faculty, Master's degree on Industrial Controls.

The Research paper is Original & Innovative it is Done Double Blind Peer Reviewed.

Your Article is Accepted.

Authorised Signature

Editor-in-Chief

Prin. H. N. Jagtap

258/34, Raviwar Peth Solapur-413005 Maharashtra, India
Ph. No. : +91-0217-2372010, +91-9595359435
Email : ayisrj@yahoo.in, ayisrj2011@gmail.com
Website : www.isrj.net

Sistema Nacional de Indexación y Homologación de Revistas Especializadas de CT+I

- Inicio
- Base Bibliográfica Nacional-Publindex
- Integración Permanente
- Búsqueda de Revistas
- Revistas Indexadas - Índice Bibliográfico Nacional-Publindex
- Servicio de Indexación
- Solicitud del Servicio
- Características y Requisitos
- Documento Soporte
- Contacto
- Servicio de Homologación
- Búsqueda de Revistas Homologadas
- Requisitos Mínimos
- Proceso para homologar
- Contacto
- Documentos de Interés
- Sistemas de Indexación y Resumen
- Eventos

Búsqueda de Revistas Especializadas de CT+I Homologadas

Las revistas extranjeras que se encuentran actualmente en la Base Bibliográfica Nacional mediante el Servicio de Homologación, corresponden a aquellas que a su vez están integradas en los SIR, IB y en las BBCS hasta el momento identificados en el ámbito científico académico internacional, que se irán actualizando en la medida en que éstos vayan apareciendo y el Servicio tenga conocimiento de los mismos.

Para consultar la homologación de una revista extranjera puede ingresar el ISSN (completo o parcial) o el título de la revista (completo o parcial).

Recuerde que si tiene los datos completos su búsqueda será más precisa. Al terminar haga clic en Buscar o Enter.

Para consultar el listado de revistas homologadas por vigencia haga clic en el enlace correspondiente a la vigencia de su interés:

[Enero 2014 Diciembre 2014](#) || [Enero 2013 Diciembre 2013](#) || [Enero 2012 Diciembre 2012](#) || [Enero 2011 Diciembre 2011](#) || [Enero 2010 Diciembre 2010](#) || [Enero 2009 Diciembre 2009](#) || [Septiembre 2007 Diciembre 2008](#) || [Septiembre 2006 Agosto 2007](#) || [Septiembre 2005 Agosto 2006](#) || [Septiembre 2004 Agosto 2005](#) || [Septiembre 2003 Agosto 2004](#) || [Enero 2003 Agosto 2003](#)

Colciencias se permite informar que las publicaciones que no hagan parte de las listas de las revistas homologadas, son consideradas como No homologadas, por no estar indexadas en alguno de los Sistemas de Indexación y Resumen reconocidos por el Servicio.

Para ver la información de los SIREs haga clic [aquí](#).

ISSN

Nombre

Revistas encontradas relacionadas con la búsqueda 1

Nombre: INDIAN STREAMS RESEARCH JOURNAL ISSN: 2230-7850

Clasificación		Aparición en SIR
Clasificación	Vigencia	Nombre
B	Ene 2014 - Dic 2014	EDUCATIONAL RESEARCH ABSTRACTS, EDUCATIONAL RESOURCES INFORMATION, ERIC,
B	Ene 2013 - Dic 2013	EDUCATIONAL RESEARCH ABSTRACTS, EDUCATIONAL RESOURCES INFORMATION, ERIC,
C	Ene 2012 - Dic 2012	BBCS-ERA,