

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y SELECCIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

A nivel gerencial es muy conocida la frase “Si entra basura, sale basura”¹ lo cual, es muy similar a que si en un proceso los elementos de entrada son los equivocados o están incompletos, el resultado no cubrirán las expectativas del proceso o lo que es lo mismo, el resultado será “no conforme” y de la misma forma las decisiones basadas en las mismas van a ser erróneas.

Es por esta razón que las empresas han optado por maximizar su nivel de desempeño buscando dentro de sí cuales son los puntos a mejorar y estudiando a fondo dónde están los problemas para combatirlos efectivamente y alcanzar la calidad añorada.

¹ Acrónimo de **G**arbage **I**n, **G**arbage **O**ut (GIGO), que se podría traducir como "Entra basura, sale basura".

Como medida muchas empresas se proponen implementar los requisitos de la NORMA ISO 9001:2000², la misma que trata de cubrir en macro todos los aspectos que pueden afectar a la calidad del producto o servicio de la empresa.

De manera paralela, en el caso de que esté implantada la NORMA ISO 9001:2000², es probable aplicar una infinidad de herramientas estadísticas para diagnosticar el estado de los procesos en la Organización.

Un elemento adicional dentro de los procesos son los recursos utilizados, que sí se usan adecuadamente y en la cantidad necesaria los resultados pueden ser aceptables, sin embargo, no siempre es factible percibir que existe un problema si no se realiza un análisis concienzudo de los datos.

Cabe recalcar que éste es el “talón de Aquiles” de muchas empresas ya que o no tienen el personal adecuado para esta tarea o sencillamente no le dan la respectiva importancia, sólo cuando esto representa pérdidas monetarias, es que prestan atención a ésta situación.

² Requisitos de la calidad, los cuales una empresa decide voluntariamente aplicar, con la cual obtiene una Certificación reconocida Internacionalmente.

Afortunadamente, hay diferentes herramientas estadísticas entre descriptivas e inferenciales ó aquellas creadas por empresas proactivas que al aplicarlas da un verdadero valor agregado a cualquier proceso.

Una de estas herramientas es “Seis Sigma”, la cual ayuda para determinar cuáles son los límites aceptables de variabilidad del proceso y así controlar de una manera más clara el mayor porcentaje la cantidad de errores.

Con este tipo de análisis lograremos: optimizar el uso de los recursos del proceso, entregar respuestas precisas y a tiempo, reducir los lapsos de espera y de alguna forma influenciar el comportamiento y cultura organizacional para poder ejecutar esta mejora.

1.2. Descripción de la empresa

Este proyecto se ha desarrollado en una empresa de químicos, líder en el mercado nacional en producción y distribución a nivel industrial de químicos, siendo la producción de cloro su principal fuente de ingresos. Fundada en el año 1978 en la ciudad de Guayaquil ante la necesidad del mercado industrial ecuatoriano de un abastecimiento confiable de productos químicos al granel.

Esta empresa inició sus operaciones importando soda caustica líquida y luego incluyó a varios productos que tenían un mercado de un volumen relativamente alto.

Actualmente cuenta con una amplia gama de productos al granel, entre los principales se tienen: soda caustica, ácido sulfúrico y solventes. En productos empacados ofrece entre otros: hipoclorito de calcio, soda en escamas, carbonato de sodio, ácido fosfórico, talco y ácido cítrico.

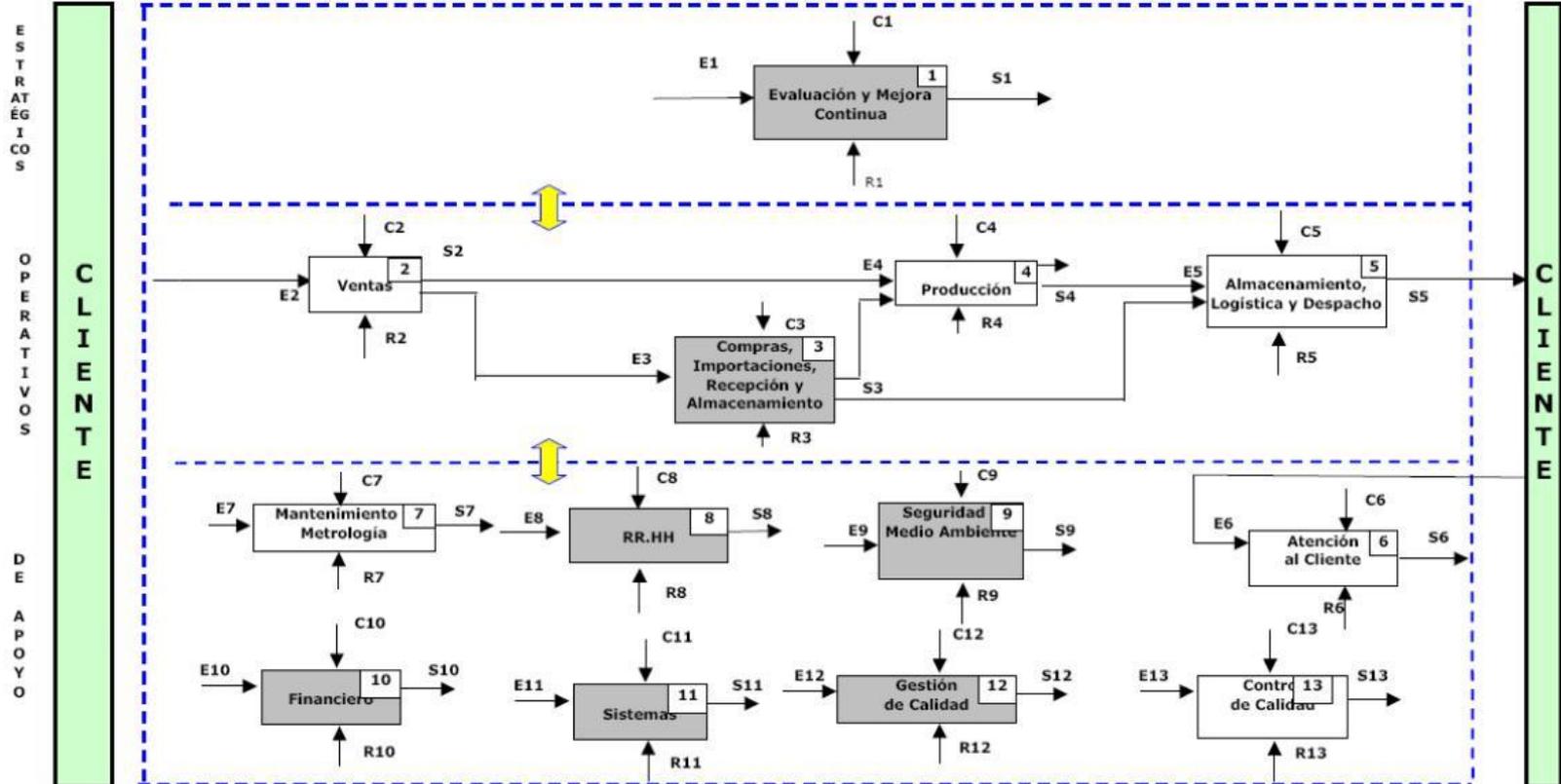
En el año 2001, se hizo efectiva la fusión de la empresa, con las empresas del mismo grupo, por lo tanto tendría a su cargo la producción de dos plantas, ver Anexo 1.

Esta empresa ha definido sus procesos de evaluación y mejora continua, producción, ventas, abastecimiento, almacenamiento, logística y despacho; compras, importaciones, recepción y almacenamiento; seguridad y medioambiente; atención al cliente, sistemas, gestión de calidad y control de calidad; como se puede evidenciar en el siguiente mapa de procesos³.

Tal como se visualiza en la figura 1.1 la calidad de las compras y la fluidez de las mismas pertenecen directamente sobre el proceso productivo y la operatividad de los demás departamentos.

³ Visión general de la secuencia e interacción de los procesos que se realizan dentro de un Sistema de Gestión de una empresa.

Figura 1.1.
 “Mapa de Proceso de la Empresa de Químicos”



Fuente: Sistema de Gestión de Calidad, Empresa de Químicos
 Elaborado por: Coordinador de calidad de la Empresa de Químicos

1.3. Oportunidades de mejora en la empresa

Toda empresa busca la mejora continua para perfeccionar el desempeño de sus actividades productivas. Para ello se han identificado tres posibles proyectos de mejora propuestos por la Gerencia basados en estudios previos, los cuales son:

¾ Disminuir el tiempo de entrega de las compras.

¾ Incrementar el conocimiento del personal técnico involucrado en el proceso Operativo.

¾ Reducir costos por reproceso de Cloro con la adquisición de un nuevo equipo de proceso.

La correcta selección del proyecto es crítica para asegurar su éxito, pues a pesar de que se reconoce previamente que la necesidad de mejorar es imprescindible, y se detecta oportunidades de mejora, no todas las oportunidades detectadas son susceptibles de ser realizadas como un proyecto Seis Sigma.

1.4. Selección de proyectos de mejora

Para la selección del proyecto de mejora, se utiliza la matriz y gráfico Fuerza - Impacto⁴. Considerando los principales departamentos de la organización y la “voz del cliente” de los diferentes procesos que se ven afectados directamente por las diferentes propuestas de proyecto a mejorar.

Uno de los principales componentes de la matriz Fuerza - Impacto, es el peso crítico que se le asigna a cada uno de los componentes a evaluarse, cabe indicar que dicho peso es asignado mediante una exhaustiva valoración con respecto a su aporte en la organización; por parte de la gerencia y los representantes de los diferentes departamentos de la empresa.

En la tabla 1.1 y 1.2 se presentan las matrices de Impacto de proyectos y Esfuerzo de los proyectos en el que se observa sombreado el proyecto factible a realizar. Adicionalmente en el gráfico 1.1 Esfuerzo-Impacto está también seleccionado dicho proyecto.

⁴ Herramienta para determinar cuál proyecto de mejora es factible.

Tabla 1.1.
"Matriz de Impacto de los Proyectos"

ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LOS PROYECTOS					
Peso criterio	2,0	3,0	1,0	4,0	10,0
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	Financiero	Productivo	Clientes	Tiempo	TOTAL
Disminuir el tiempo de entrega de las compras.	3	3	5	5	40
Incrementar el conocimiento del personal técnico involucrado en el proceso Operativo.	3	4	4	2	30
Cloro con la adquisición de un nuevo equipo de proceso.	5	5	1	3	38

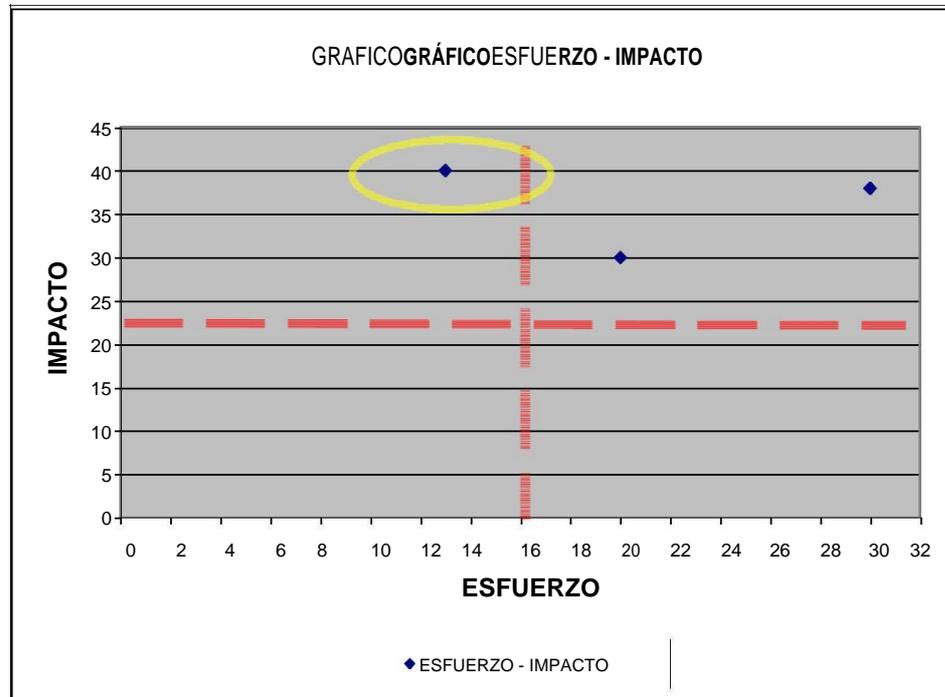
Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 1.2.
"Matriz de Esfuerzo de los Proyectos"

ANÁLISIS DEL ESFUERZO DE LOS PROYECTOS					
Peso criterio	2,0	3,0	1,0	4,0	10,0
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	Financiero	Productivo	Clientes	Tiempo	TOTAL
Incrementar el conocimiento del personal técnico involucrado en el proceso Operativo.	1	2	1	1	13
Disminuir el tiempo de entrega de las compras.	1	1	3	3	20
Reducir costos por reproceso de Cloro con la adquisición de un nuevo	4	3	1	3	30

Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Gráfico 1.1.
"Gráfico Esfuerzo - Impacto"



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Como se puede evidenciar en la matriz y gráfico de Fuerza – Impacto los resultados obtenidos apuntan hacia el proyecto de mejora que consiste en **“Disminuir el tiempo de entrega de las compras”**, el cual está ligado al proceso de compras. Cabe indicar que este proyecto cuenta con estudios previos de tiempo realizados por los encargados del proceso.

Una vez seleccionado el proyecto, se procede a aplicar la metodología Seis Sigma para la implementación de mejora, dicha metodología se desarrolla por medio del proceso DMAIC⁵, el cual será definido en el siguiente capítulo.

⁵ DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA SEIS SIGMA

2.1. Introducción

Este capítulo describe las técnicas a aplicar para el desarrollo de este estudio. Seis Sigma es una metodología de calidad que utiliza herramientas estadísticas para mejorar los procesos de producción en cadena, reduciendo así el número de defectos y el tiempo de los ciclos.

Esta metodología se ha desarrollado por medio del proceso DMAIC¹, el cual consta de cinco etapas Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar, en cada una de ellas se detalla las herramientas a utilizarse y los resultados a obtener en la mismas.

¹ DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control

2.2. Metodología Seis Sigma [1]

La metodología Seis Sigma nace en los años 80, bajo la dirección del Ingeniero Mikel Harry en Motorota, quien propone hacer un estudio de la variación de los procesos productivos, basado en la teoría de Deming.

Figura 2.1.
“Ciclo Deming”



*Fuente: The Deming Management Method,
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.*

Seis Sigma, permite eliminar los errores, aumentar la satisfacción de los clientes y mejorar los procesos para obtener mejoras medibles en los resultados financieros.

Todas las empresas tratan de reducir sus errores, esto no es algo nuevo, en la actualidad la metodología Seis Sigma es una herramienta de gestión que involucra a todos los empleados para trabajar de forma sistemática en la consecución de la mejora apoyándose en técnicas estadísticas y en datos.

La metodología Seis Sigma se basa en un proceso de cinco fases, llamado DMAIC² (Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar), y en herramientas estadísticas que apoyan cada una de dichas fases. Sin entrar en demasiados detalles estadísticos, podemos decir que el nivel de calidad de un proceso se mide como el número de desviaciones típicas que caben desde el valor nominal hasta el límite de la tolerancia.

2.2.1. Definición Seis Sigma

Seis Sigma, es una metodología revolucionaria de la calidad, que busca su proximidad más cercana a la perfección, es decir, 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO)³, para obtener la satisfacción plena de los clientes basándose en una medida estadística del nivel de desempeño de un proceso o producto.

Los esfuerzos de Seis Sigma se dirigen a tres áreas principales:

- ¾ Mejorar la satisfacción del cliente
- ¾ Reducir el tiempo del ciclo
- ¾ Reducir los defectos

La variación de los procesos, en estadística está representada por la letra griega sigma (σ), siendo el punto inicial el mejorar la calidad, por

² DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control ⁴ DPMO, Defectos por Millón de Oportunidades

lo que la meta trazada es llegar a 3,4 defectos por millón equivalente a alcanzar 6σ .

En todo tipo de empresa, la reducción de los defectos equivale a reducir los costos de reproceso o pérdidas, mientras más volumen de producción mayor son los costos de no calidad.

Tabla 2.1.
“Nivel de Desempeño en Seis Sigma”

DPMO (DEFECTOS POR MILLÓN DE OPORTUNIDADES)	NIVEL EN SIGMA
690000	1,0
308000	2,0
66800	3,0
6210	4,0
320	5,0
3,4	6,0

*Fuente: ¿Qué es Seis Sigma?, Peter S. Pande y Larry Holpp
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.*

Tal como se puede apreciar en la tabla 2.1, a medida que el nivel de sigma se incrementa, los defectos o errores por millón de oportunidades van decreciendo.

El alcanzar la perfección, equivale a cumplir al 100% las especificaciones técnicas y contractuales con el cliente, lo cual en la vida cotidiana es complicado de lograr, en especial considerando que existen muchos factores que influyen en el producto o servicio resultante.

Esta metodología utiliza el proceso DMAIC⁴ como una de sus principales herramienta. Es un sistema de mejora para los procesos existentes que quedan por debajo de la especificación y que buscan una mejora incremental que facilita el camino a Seis Sigma.

2.2.2. Actores de Seis Sigma [2]

Para una implementación de mejora en una empresa, es necesario contar con el apoyo de la Dirección, que debe estar convencida de las ventajas del proyecto a ejecutarse indistintamente de la metodología a aplicar y así debe transmitirlo al resto de las personas involucradas directa o indirectamente, proporcionando los medios adecuados para su puesta en marcha.

Una de las ventajas que caracteriza a Seis Sigma, es que se crea una infraestructura de personas con formación específica dentro de la organización que lideran, despliegan y llevan a cabo las iniciativas de mejora.

Esta infraestructura de personas está compuesta por:

- $\frac{3}{4}$ **Champion:** Responsable en la selección del proyecto y de su éxito. Encargado de monitorear el proyecto y facilitar los

⁴ DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control

recursos necesarios para el desarrollo de las actividades de los Black Belts.

$\frac{3}{4}$ **Black Belt:** Líder del proyecto desde el punto de vista técnico, conocedor de la metodología y la despliega dentro de la organización.

$\frac{3}{4}$ **Green Belt:** La formación es similar a la del Black Belt y están capacitados para liderar proyectos pequeños, son monitoreados por los Black Belts o los Master Black Belts.

$\frac{3}{4}$ **Master Black Belt:** Experto en la metodología y con experiencia en su implementación, puede ser una persona perteneciente a la organización o externa a ella. Dan soporte a los Black Belts y a los Green Belts.

Lideran programas de mejora dentro de la organización y son los encargados de formar al personal de la empresa.

Suelen ser los interlocutores naturales de la alta dirección para temas relacionados con la implantación de Seis Sigma.

$\frac{3}{4}$ **Equipo de trabajo:** Pueden ser multidisciplinares, compuestos de entre 4 a 8 personas involucradas en alguna actividad del proceso.

Es bueno que los miembros del equipo de trabajo sean voluntarios para asegurar su compromiso.

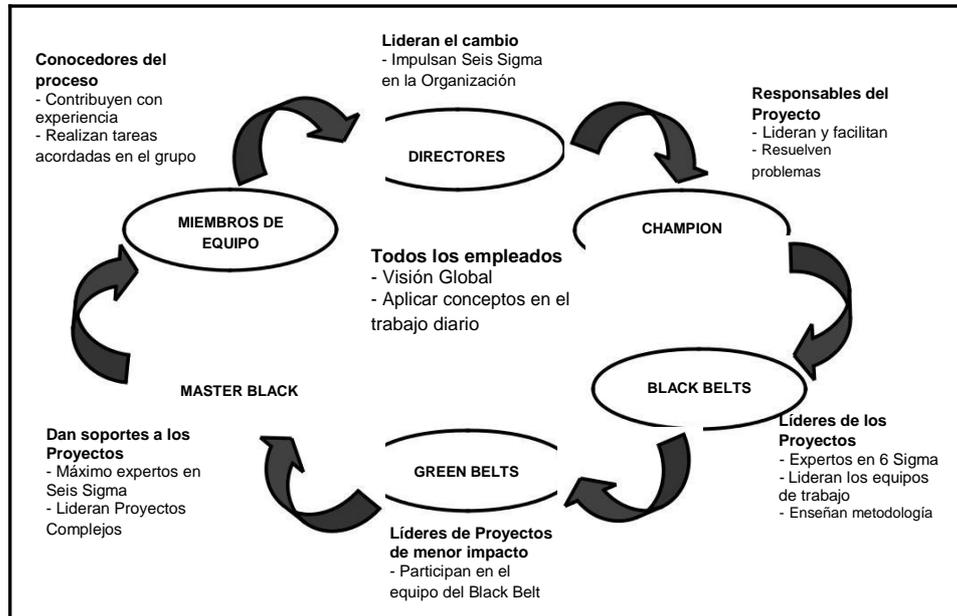
El Champion y el Black Belt son los encargados de seleccionar el equipo de trabajo.

Así mismo, un programa Seis Sigma requiere además del apoyo decidido de la Dirección en la organización.

Para llevar a cabo el trabajo se establece una sistemática de reuniones lideradas por el Black Belt en las que se validan las acciones, se analizan resultados y se toman decisiones encaminadas a la consecución del objetivo del proyecto de mejora.

La figura 2.2., describe en una manera breve los roles de los actores que participan de manera directa en el desarrollo de la metodología Seis Sigma.

Figura 2.2.
“Roles en Seis Sigma”



Fuente: Manual de Innovación para pymes. Metodología Seis Sigma de Mejora de Procesos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

2.2.3. Descripción del proceso DMAIC [4]

DMAIC⁵, está compuesto de cinco etapas las cuales se desarrollan en forma estructurada aplicando herramientas gráficas y estadísticas en cada fase. Las fases se aplican en forma sistemática, es decir, que no se puede avanzar de fase hasta que no se han completado las tareas de la fase anterior.

⁵ DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control

2.2.3.1. Etapa de Definición

Es la primera fase del proceso DMAIC, fundamental para asegurar el éxito de un proyecto Seis Sigma.

Definir, se centra en determinar el alcance del problema, pero es muy importante antes de iniciar cualquier proyecto hacer una selección correcta de los problemas empresariales susceptibles a ser abordados por medio de esta metodología.

Se debe de considerar al seleccionar el proyecto en el cual se va a aplicar Seis Sigma que tengan impacto en los clientes, ahorros que sean cuantificables y sensibles, que sean razonablemente sencillos en su ejecución y no requieran inversiones elevadas.

Además, deberían cumplir con las siguientes características:

$\frac{3}{4}$ **Abordar problemas importantes:** Se debe enfocar en los problemas que sean relevantes para la organización, es decir, aquellos problemas que son críticos.

$\frac{3}{4}$ **Problemas medibles:** Es imprescindible contar con información sobre el proceso, además que se disponga de

datos confiales; caso contrario los resultados no aportan información para la toma de decisiones.

$\frac{3}{4}$ **Tamaño abordable:** El proyecto debe ser abordable y concreto, con un tamaño adecuado que permita ser desarrollado con un pequeño equipo.

$\frac{3}{4}$ **Resultados cuantificables:** Los resultados que se obtengan deben ser medibles, cuantificables y con un impacto importante en la organización.

Una de las principales tareas y actividades que se debe desarrollar en esta etapa, es la ficha del proyecto. Donde se detallan los aspectos que describen el problema; el cual nos va a servir como guía a lo largo del desarrollo del proyecto.

Los principales componentes de la ficha de proyecto se describen a continuación:

$\frac{3}{4}$ **Alcance:** Se deben especificar de forma clara los puntos que se establecen como límites de comienzo y final del proyecto, las actividades/productos incluidos y las áreas

afectadas. Es de gran utilidad especificar qué es lo que no entra en el proyecto.

- $\frac{3}{4}$ **Indicadores clave:** Es el indicador de rendimiento del proceso (KPI)⁶, es la métrica de referencia que permite conocer en cada momento el estado del proceso correspondiente. Sobre este indicador se pondrán los objetivos del proyecto. Suelen definirse uno o dos máximo, si se encuentran más indicadores para el proceso, éstos no son indicadores clave sino indicadores secundarios derivados de los anteriores.
- $\frac{3}{4}$ **Objetivos:** Lo recomendable es fijar un objetivo cuantificable para los indicadores clave del proceso, estos objetivos deben ser específicos, medibles, realistas y alcanzables.
- $\frac{3}{4}$ **Beneficios esperados:** Es prematuro aventurar en esta etapa definir los beneficios a obtenerse mediante los objetivos establecidos en el proyecto, es muy recomendable que se tenga una primera aproximación, al

⁶ KPI, por sus siglas en inglés Key, Performance, Indicators (Indicadores Claves de Desempeño)

menos en orden de magnitud, de los beneficios tangibles que se esperan conseguir.

$\frac{3}{4}$ **Equipo de Trabajo:** El equipo de trabajo debe ser cuidadosamente seleccionado y adecuado a las necesidades particulares del proyecto.

Las personas seleccionadas serán personas conocedoras e implicadas en el proceso, se constituyen en uno de los pilares de la metodología.

$\frac{3}{4}$ **Planificación del proyecto:** El proyecto debe ser planificado en todas sus etapas contando con un cronograma de actividades.

La Ficha de Proyecto es un documento que se puede ir modificando a lo largo de la vida del proyecto, ya que suele ser habitual que en función de los datos obtenidos o los resultados se realice cambios, como replantear los objetivos y/o beneficios económicos esperados.

El Mapa del Proceso, es otra de las herramientas utilizadas frecuentemente en esta etapa para describir los pasos y

actividades del proceso, el mismo que nos da una visión realista de cómo se desarrolla el mismo.

Se estructura en torno a un diagrama de flujo que llamaremos **SIPOC**⁷ (Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Cliente); cada componente se desarrolla en forma sistemática el cual nos va a permitir identificar a las personas y departamentos involucrados en el proceso.

- $\frac{3}{4}$ **Suppliers (Proveedores):** Facilitan las entradas para desarrollar el proceso.
- $\frac{3}{4}$ **Inputs (Entradas):** Entradas del proceso.
- $\frac{3}{4}$ **Process (Procesos):** Es el conjunto de actividades que transforman una o más entradas en salidas que aportan valor a la Organización.
- $\frac{3}{4}$ **Output (Salida):** Son los productos o servicios que son entregados a los clientes.

⁷ SIPOC, por sus siglas en inglés Suppliers, Inputs, Process, Output y Client

$\frac{3}{4}$ **Client (Clientes):** Entes internos o externos y organizaciones que reciben la salida.

Es muy importante plasmar el flujograma de forma sencilla y clara e identificar los pasos y actividades tal y como son en la realidad, lo cual permite identificar las actividades que no agregan valor y facilita la detección de oportunidades de mejora.

En la tabla 2.2 se detalla las tareas, objetivos y resultados que se deben obtener en esta etapa.

Tabla 2.2.
“Resumen de la Etapa de Definición del Proceso DMAIC”

DEFINIR			
QUE SE REALIZA	ACTIVIDADES PRINCIPALES	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
Se define el proceso en forma detallada, se identifica las características críticas y se crea el equipo de trabajo.	<ul style="list-style-type: none"> - Identificación de las voces del cliente, del entorno y del negocio. - Se identifican los pasos y actividades del proceso de alto nivel. - Se definen indicadores claves (KPIs) - Se crea el Equipo de Trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> - Análisis de Esfuerzo / Impacto. - Diagrama de Árbol (detección de las CTQs). - Selección de los actores de Seis Sigma -Matriz SIPOC. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de Proyecto: Alcance, Objetivos, Indicadores, Beneficios Esperados y Planificación del Proyecto. - Mapa del proceso de alto nivel.

Fuente: Mejoramiento de los procesos de negocios con la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

2.2.3.2. Etapa de Medición

Trata de describir el problema, por tanto, se deben determinar cuáles son las características críticas que definen el proceso, medirlas y encontrar las posibles causas que influyen en las características del proyecto.

Se definen variables críticas del proceso, Y que es la variable de salida del proceso (dependiente) y X's que son las variables de entrada (independientes) de las que depende la variable de salida.

El Black Belt en esta etapa obtiene toda la información del proceso, que le permitirá desarrollar alguna teoría acerca del funcionamiento del mismo y empezar a encontrar relaciones causa - efecto que le permitan descubrir cuáles son las causas raíces del problema.

Para obtener el rendimiento del proceso y la capacidad, es necesario haber definido los indicadores claves del proceso (KPI)⁸ como su unidad de medida y su método de medición.

En general, en los proyectos de Seis Sigma la métrica más utilizadas son defecto, unidad y oportunidad de defecto.

⁸ KPI, por sus siglas en inglés Key, Performance, Indicators (Indicadores Claves de Desempeño)

Cabe indicar que en Seis Sigma un defecto es cualquier característica del producto o servicio que no cumpla los requerimientos del cliente.

Se recomienda utilizar unidades relativas como porcentajes para la medición de defectos, para una mejor representación del nivel de rendimiento del proceso.

En la tabla 2.3, se detalla las actividades, herramientas y resultados a desarrollarse en esta fase del ciclo DMAIC⁹.

Tabla 2.3.
“Resumen de la Etapa de Medición del Proceso DMAIC”

MEDIR			
QUE SE REALIZA	ACTIVIDADES PRINCIPALES	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
Seleccionar las características críticas de calidad (X's y Y's) del proceso. Se lleva a cabo la recogida de datos. Se determina la capacidad del proceso .	<ul style="list-style-type: none"> - Selección de los indicadores principales del proceso (KPIs). - Detección de las causas de variación del proceso. - Elaboración del plan de recogida de datos. - Evaluación del sistema de medida -Recoger los datos 	<ul style="list-style-type: none"> - Diagrama causa - efecto. -Función de despliegue de la calidad (QFD) . - Análisis de las mediciones del sistema (MSA). - AMFE. -Técnicas de muestreo 	<ul style="list-style-type: none"> - Características críticas de calidad del proceso. - Relación de causas de variación del proceso. -Datos de los indicadores principales (KPIs). - Datos de las causas (Xs)

*Fuente: Mejoramiento de los procesos de negocios con la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.*

⁹ DMAIC, por sus siglas en inglés Define, Measure, Analyze, Improve y Control

2.2.3.3. Etapa de Análisis

Esta fase es de contenido técnico, el cual va a permitir la verificación de teorías o hipótesis sobre el funcionamiento del proceso; en la gran mayoría de veces se lo realiza por medio de herramientas estadísticas que es una de las fortalezas de esta metodología.

En esta etapa se puede afirmar y demostrar con datos, cuales son las causas vitales que afectan a la obtención del objetivo del proyecto.

Al identificarse en la fase de medición las características críticas del proceso (CTQ's)¹⁰ y los indicadores principales del proceso (KPI)¹¹, representados por la variable "Y" y las causas que influyen en su variación representadas por las variables independientes "X's", en esta fase hay que comenzar a conocer la relación $y=f(x)$, es decir, en función de que variables esta la variable de salida del proceso.

Existe una gran variedad de herramientas de las cuales se puede hacer uso para conocer la relación $y=f(x)$, como: herramientas gráficas sencillas (diagrama de Pareto, diagrama Causa-Efecto),

¹⁰ CTQ, por sus siglas en inglés Critical To Quality

¹¹ KPI, por sus siglas en inglés Key, Performance, Indicators (Indicadores Claves de Desempeño)

contrastes de hipótesis, análisis de varianza (ANOVA), regresión simple, regresión múltiple, análisis de componentes principales, diseño de experimentos; las cuales van a permitir determinar de forma más rigurosa como se ven afectadas las variables de salida del proceso.

En esta etapa se debe determinar la capacidad actual del proceso, es decir, buscar el valor sigma. Es una de las funciones principales de esta fase, el cual mide el nivel de rendimiento del proceso para alcanzar los objetivos y expectativas asociadas al mismo.

Los datos obtenidos respecto a las unidades, defectos y el número total de oportunidades en la etapa anterior habrán de traducirse a defectos por millón de oportunidades (DPMO) y, de ahí, a través del análisis estadístico realizar una serie de transformaciones para detectar la capacidad del proceso, lo que nos lleva a conocer el nivel sigma del proceso.

Dado que ésta metodología mide los resultados del proceso, es esencial medir si el proceso tiene o no la capacidad para generar los resultados deseados, de lo cual es necesario conocer la Capacidad del proceso (**Cp**).

La capacidad del proceso (**Cp**) no es más que conocer si el proceso puede o no lograr el objetivo deseado, para lo cual se aplican herramientas estadísticas para conocer el nivel de rendimiento del mismo.

La capacidad del proceso se define como:

$$Cp = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

donde,

LSE: Es el límite superior de especificación

LIE: Es el límite inferior de especificación

σ : Desviación típica del proceso

Esto quiere indicar “cuántas veces cabe la variación del proceso en el intervalo de las especificaciones”, cuando caben más de seis sigmas, más pequeño en la cantidad de defectos por millón de oportunidades (DPMO).

La tabla 2.4., se describe los diferentes casos que se pueden presentar el índice de capacidad con su respectiva fórmula para su cálculo.

Tabla 2.4.
“Fórmulas para el cálculo de la Capacidad el Proceso”

INDICE	USO	DEFINICIÓN	FÓRMULA
Cp	El proceso está centrado en los límites de especificación.	Es la distancia entre los límites de especificación y la amplitud natural.	$\frac{LSE - LIE}{6\sigma}$
Cpk	El proceso no está centrado en los límites de especificación, pero está contenido en ellos.	Es el cociente entre la amplitud permitida y la amplitud natural, proceso respecto al punto medio de ambos límites de especificación.	$\min \left(\frac{LSE - \mu}{3\sigma}, \frac{(\mu - LIE)}{3\sigma} \right)$
CPS	El proceso sólo tiene un límite de especificación superior.		$\frac{LSE - \mu}{3\sigma}$
CPI	El proceso sólo tiene un límite de especificación inferior.		$\frac{(\mu - LIE)}{3\sigma}$

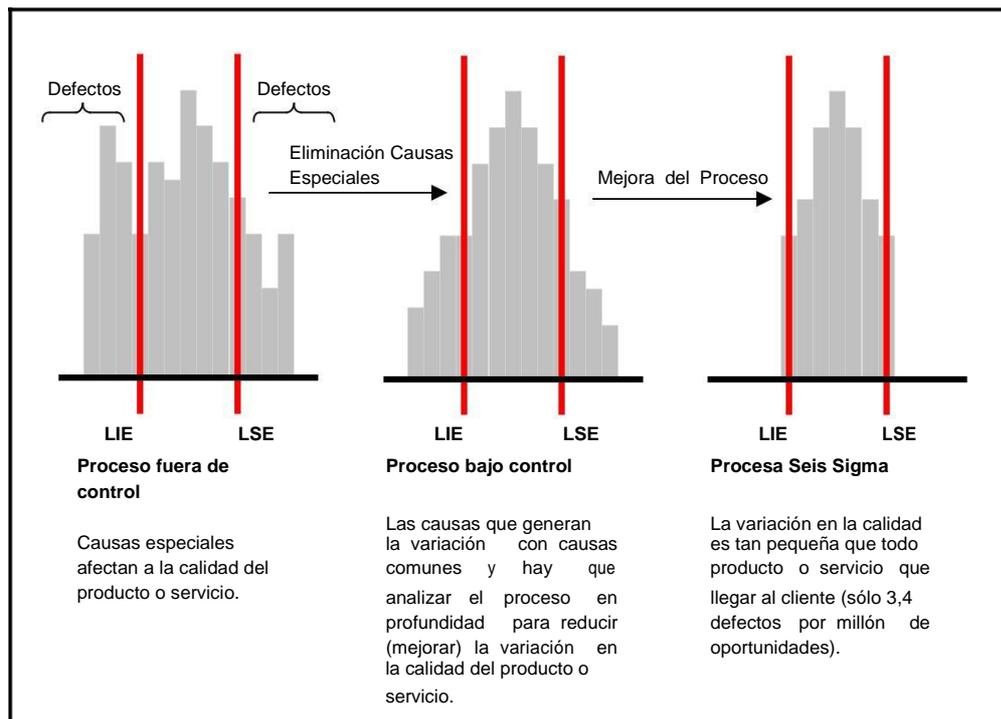
Fuente: ¿Qué es Seis Sigma?, Peter S. Pande y Larry Holpp
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

Cuando la capacidad potencial del proceso $C_p \geq 1$, significa que el proceso es capaz, es decir que el producto o servicio cumple con las especificaciones sin correr el riesgo de que hayan defectos que sobrepasen el 3%, caso contrario el proceso no es capaz.

La capacidad actual del proceso C_{pk} , mide el desfase que existe desde el punto medio de los límites superior e inferior en relación con la media, ya que si el proceso está descentrado significa que hay mayor posibilidad de que se generen mayor cantidad de productos defectuosos, solo cuando el $C_p = C_{pk}$ podemos decir que el proceso está centrado.

En la figura 2.3., se puede apreciar paso a paso el modelamiento a un proceso Seis Sigma.

Figura 2.3.
“Estado de los Procesos en Seis Sigma”



Fuente: ¿Qué es Seis Sigma?, Peter S. Pande y Larry Holpp
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

La metodología Seis Sigma, tiene la capacidad de obtener mejoras en un proceso dado, lo cual es traducido a beneficios económicos para la empresa.

Es precisamente que en esta fase, el Black Belt con la ayuda de su equipo de trabajo debe cuantificar el beneficio económico del proyecto.

La tabla 2.5., se resume las actividades principales, herramientas y resultados a obtener en esta etapa de análisis.

Tabla 2.5.
“Resumen de la Etapa de Análisis del Proceso DMAIC”

ANALIZAR			
QUE SE REALIZA	ACTIVIDADES PRINCIPALES	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
Se determina las causas vitales de variación del proceso y se identifican las oportunidades de mejora.	<ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar los datos (estimaciones estadísticas). - Analizar la capacidad del proceso. - Selección de las pocas causas vitales de variación del proceso. - Identificar las oportunidades de mejora. 	<ul style="list-style-type: none"> - Herramientas gráficas de tratamiento de datos. - Diagrama Causa - Efecto. - Histograma - Diagrama de Pareto. - Diagrama de Dispersión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sigma del proceso. - Cuantificación de los beneficios económicos del proyecto. - Causas vitales del problema.

Fuente: Mejoramiento de los procesos de negocios con la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

2.2.3.4. Etapa de Mejora

Es preciso seleccionar la más apropiada de las diferentes oportunidades de mejora, considerando los posibles riesgos y la incidencia que pudieran tener en otras áreas de la organización, en los clientes, y en general, en la estrategia de la empresa.

No es una tarea sencilla la elección de las posibles soluciones, las cuales deben optimizar las salidas del proceso y reducir sus defectos a costos razonables y minimizando cualquier riesgo que

se pueda inducir en los grupos de interés que giran alrededor del proceso.

El conjunto de soluciones serán sólidas y contrastadas, las cuales se deben plasmar en un Plan de Implantación de Mejoras, el mismo que se implantará en los plazos previos que marque la organización.

Además se realiza un análisis coste beneficio de las soluciones de forma que éstas puedan ser una ayuda a la toma de decisiones de la Dirección para implantar las soluciones. Es recomendable hacer una prueba piloto antes de ser implantadas las mejoras para determinar el alcance de las mismas.

Tabla 2.6.
“Resumen de la Etapa de Mejora del Proceso DMAIC”

MEJORAR			
QUE SE REALIZA	ACTIVIDADES PRINCIPALES	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
<p>Se lleva a cabo la generación de soluciones y validación de las mismas.</p> <p>Se implantan las mejoras.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Generación de soluciones. - Evaluación de riesgos. - Prueba de soluciones. - Análisis Coste – Beneficios. - Plan de implantación de mejoras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño de Experimentos. -Lean Manufacturing - Modelos de simulación - Valoración de riesgos 	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de implantación de mejoras. - Implantación de mejoras.

Fuente: Mejoramiento de los procesos de negocios con la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.

2.2.3.5. Etapa de Control

En la fase Controlar se debe asegurar que todas las soluciones diseñadas e implantadas en la fase Mejorar, quedan controladas. No son pocos los procesos que pasado un cierto tiempo, repuntan en su comportamiento anómalo y vuelven a sufrir pérdidas de regularidad.

En este sentido, la metodología Seis Sigma impone unos controles para asegurar una monitorización permanente sobre los procesos con el fin de mantener las ganancias conseguidas.

Dado que siempre van a existir variaciones en el proceso, el control debe consistir básicamente en establecer límites aceptables entre los cuales se debe mover el proceso para tener una idea precisa de su comportamiento a lo largo del tiempo.

En el caso que el proceso exceda dichos límites hay que diferenciar si dicha variación se deba a causas ajenas al proceso o es una derivación natural de su comportamiento; para ello se debe utilizar la técnica de Control Estadístico de Procesos (CEP), que permitirá realizar un seguimiento de su evolución en el tiempo.

Esta técnica se basa en gráficos de control que comparan en cada momento el valor del proceso con respecto a sus límites de control.

Es importantes establecer controles sobre las causas vitales del proceso, además de las salidas del mismo, adicionalmente se debe incluir un conjunto de instrucciones documentadas que permitan a las personas a reaccionar ante posibles alarmas.

Implantado los cambios de mejora en forma perdurable, el siguiente paso es una validación final de los beneficios generados por el proyecto, el cual lo debe realizar una persona o entidad que coordina las actividades económicas y se lo debe hacer cuando el proyecto ha implantado su plan de control y se puede dar por finalizada su ejecución. Por último, se procederá al cierre del proyecto.

Las empresas que tienen implantada la metodología Seis Sigma como herramienta de trabajo, generalmente al finalizar un proyecto que ha alcanzado sus objetivos de alguna manera al equipo de trabajo le dan un reconocimiento, el cual contribuye a la motivación del personal.

En la tabla 2.7., se resumen la etapa de control detallando los resultados a obtener.

Tabla 2.7.
“Resumen de la Etapa de Control del Proceso DMAIC”

CONTROLAR			
QUE SE REALIZA	ACTIVIDADES PRINCIPALES	HERRAMIENTAS	RESULTADOS
Se ponen en marcha las actividades necesarias para asegurar que las soluciones implantadas perduren en el tiempo.	<ul style="list-style-type: none"> - Diseño del plan de control. - Implantación del plan de control. - Evaluar la nueva capacidad del proceso. - Validación de beneficios. - Cierre del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Control estadístico de proceso. - Gráficas de control. - Análisis de riesgos. - Estudios de capacidad. - Gestión de proceso. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plan de control. - Instrucciones del proceso. - Evaluación final de beneficios. - Cierre del proyecto.

*Fuente: Mejoramiento de los procesos de negocios con la metodología Seis Sigma y Lean Manufacturing
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez.*

En resumen, Seis Sigma es una estrategia gerencial que nos permite tener un desempeño libre de errores. Esta metodología es aplicable tanto en producción como a nivel gerencial, ya que se considera que no hay razones industriales para tener diferentes estándares de satisfacción en este sentido.

CAPÍTULO III

DEFINICIÓN DEL PROYECTO DE MEJORA Y ESQUEMA DE MEDICIÓN DE VARIABLES

3.1. Introducción

En este capítulo se detalla la primera y segunda fase metodología Seis Sigma, Definición y Medición respectivamente. En la sección 3.2.; se define el problema del proceso en donde se va a implementar la mejora, objetivo, alcance y beneficios del proyecto; se especifica la “voz del cliente” del proceso, es decir los requerimientos del cliente, las características críticas de calidad (CTQ’s)¹ y los actores involucrados en la implementación del proyecto. Además se presentará el mapa del proceso a mejorar por medio de la matriz SIPOC² (Proveedores, Entradas, Procesos, Salidas, Clientes), la misma que ayudará a identificar las entradas y salidas del proceso.

¹/₄
²/₄

CTQ, por sus siglas en inglés **C**ritical **T**o **Q**uality
SIPOC, por sus siglas en inglés **S**uppliers, **I**nputs, **P**rocess, **O**utput y **C**lient

3.2. Definición del Proyecto de Mejora

En la sección 1.4. del capítulo I, se determinó que el proyecto de mejora era “Disminuir el tiempo en la adquisición de productos” actividad que se desarrolla en el proceso de compras. Es decir, el proyecto se ejecutará en este proceso, el mismo que abarca a las 2 plantas de la empresa.

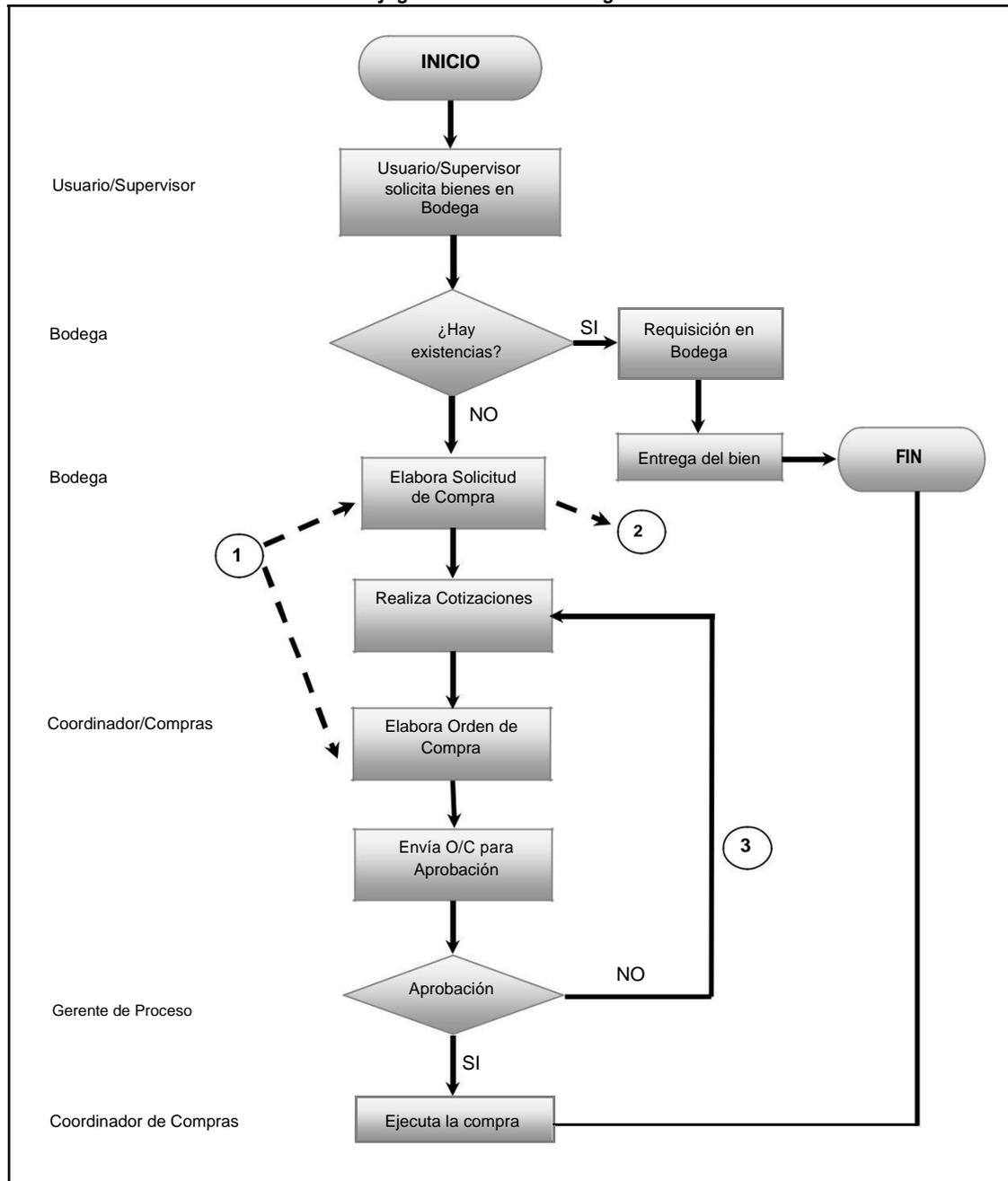
Desde Abril de 2007 la empresa está utilizando un sistema llamado OPENSIDE³, el mismo que busca optimizar los recursos. Este sistema es utilizado a manera de herramienta para registro de datos y control tanto de las solicitudes de requerimientos de los clientes internos como del inventario de productos.

Sin embargo, como toda empresa busca mejorar sus procesos para incrementar el desempeño de sus actividades productivas. En ésta área el principal problema es la concentración del trabajo en el Asistente de Compras, quien se encarga de gestionar las compras y otro factor importante es la falta de optimización en el manejo de las solicitudes de compra a generarse.

Desde que la empresa se asoció con otras empresas creando un grupo, las compras se han venido realizado de la misma manera, adoptando una forma burocrática de realizarlas, tal como se presenta en el gráfico 3.1 .

³ Sistema de registro de la Empresa de Químicos

Gráfico 3.1.
“Flujograma del Proceso Original”



Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

- Observaciones:
- 1.- Error al transcribir los requerimientos de compras
 - 2.- Papel o mail sin formato
 - 3.- Demora por reproceso en la compra

Son 11 actividades que se realizan para que el producto solicitado llegue a su destino, los clientes internos; además se tiene que el promedio mensual de solicitudes era de 317 que provienen de los diferentes departamentos de la empresa.

Partiendo de este punto todos los departamentos tienen la misma prioridad de ser atendidos obviando aquellas que por disposición de gerencia deben ser diligenciados inmediatamente.

Cabe recalcar que en un inicio por cada solicitud de compra nacía una orden de compra, la misma que era llenada a mano, sin tener un formato o plantilla establecida por lo que podía ser en una hoja de cuaderno, papel bond o tomada de forma telefónica (ocurría muy poco), también podía ser recibida por mail. El mismo hecho de estar escrito a mano influía en tiempo de revisión y rectificación.

Debido a esto existe una gran tensión y sobrecarga de trabajo, ya que se debe de cumplir con los plazos, calidad del producto y el menor costo posible.

Por este motivo se inició con la depuración de la lista de proveedores, revisando las costumbres del asistente de compras, quien por cada solicitud de compra generaba una orden de compra, es decir, podrían haber más de

una orden de compra generada el mismo día para un mismo proveedor, por lo que se realizaron cambios en el proceso original.

3.2.1. Definición del Objetivo, Alcance y Beneficios del Proyecto de Mejora

$\frac{3}{4}$ Objetivo del Proyecto

El proyecto seleccionado es la “Disminuir el tiempo de entrega de las compras” como se describe en el capítulo I, por lo tanto el objetivo es “Disminuir el tiempo promedio total en la entrega de las compras de productos”. Cabe mencionar que el límite de entrega de las compras es determinado por parte de la Dirección, el cual es de no exceder en días hábiles.

$\frac{3}{4}$ Alcance del Proyecto

El proyecto comprende el estudio de los tiempos de adquisición de los productos para distintos procesos productivos de la empresa, desde la elaboración de la solicitud de compra hasta la entrega del producto por parte del proveedor, durante el año 2007 y la verificación del efecto de las acciones tomadas durante el 2008.

- **Beneficios del Proyecto**

Uno de los principales beneficios de la implementación de la metodología Seis Sigma en el proceso de compras en la planta va dirigido hacia los clientes internos y la parte operativa de la misma. El proyecto de mejora permitirá controlar el tiempo de llegada de los productos, lo que implica a su vez que no haya paralización en la planta y no se vea afectada su productividad.

3.2.2. Requerimientos del Cliente

Generalmente la satisfacción del cliente es considerada como uno de los pilares fundamentales para evaluar el proceso. Por eso es necesario investigar hasta obtener realmente lo que el cliente necesita.

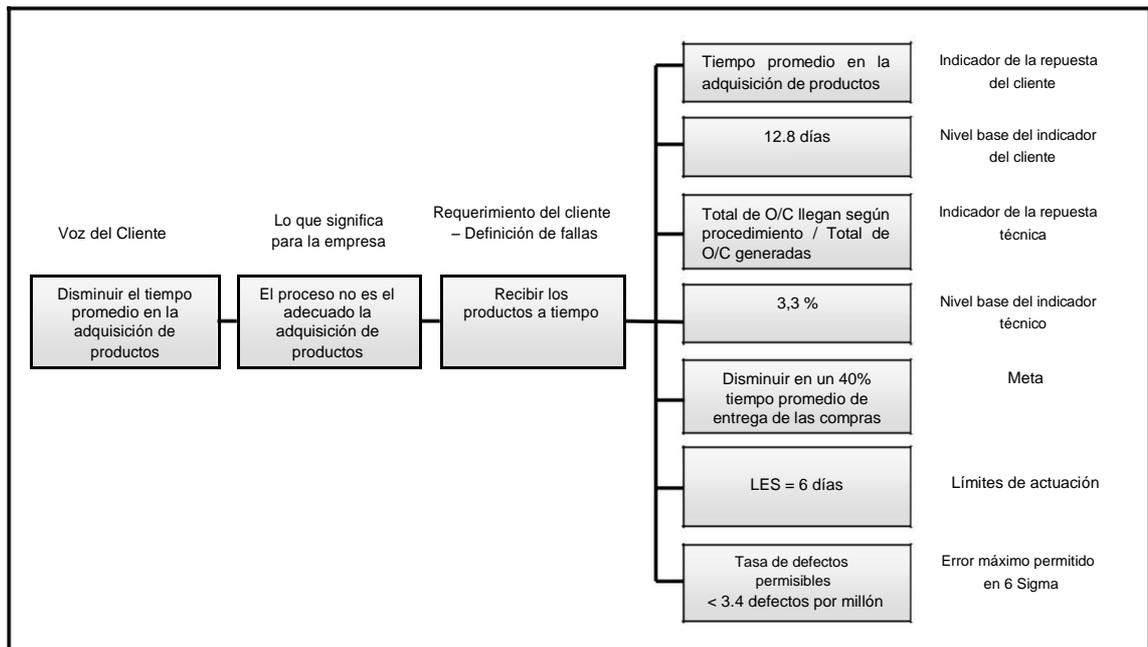
3.2.2.1. Identificación de las Características Críticas de la Calidad (CTQ´s)⁴

Las características críticas de la calidad (CTQ´s) no son más que los requerimientos o necesidades de los clientes ya sean internos o externos, los mismos que son traducidos en potenciales proyectos de mejora dentro de una Organización.

⁴ CTQ, por sus siglas en inglés **Critical To Quality**

Para este proyecto se utilizará como herramienta para identificar las características críticas de la calidad (CTQ's)⁵ el diagrama de árbol .

Gráfico 3.2.
“Diagrama de Árbol – Características Críticas de Calidad”



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

En el gráfico 3.2. se observa que el requerimiento de los clientes internos es “Recibir los productos a tiempo” en un tiempo determinado, el mismo que se encuentra en el intervalo de 2 a 6 días y cuyo objetivo es disminuir en un 40% el tiempo promedio actual de entrega de las compras de los productos.

⁵ CTQ, por sus siglas en inglés Critical To Quality

3.2.3. Definición de los Actores del Proyecto

Una vez que se ha determinado el proyecto de mejora y las características críticas de los clientes, se procederá a identificar los actores del proyecto.

En la tabla 3.1., se muestran los actores que intervienen en el proyecto, de la empresa quienes van a desempeñar los diferentes roles dentro del proyecto.

Tabla 3.1.
"Actores del Proyecto"

ACTORES DEL PROYECTO	
Site Champion (Executive Staff)	Gerente General/Gerente de Compras/Gerente de Recursos Humanos
Champion	Coordinador de Calidad
Master Black Belt	Director de Tesis (Ing. Jaime Lozada)
Black Belt	Tesistas (O. Franco/J. Hernández/A. Méndez)
Green Belt	Coordinador de Compras
Equipo de Trabajo	Asistente de Compras/Bodegueros

Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

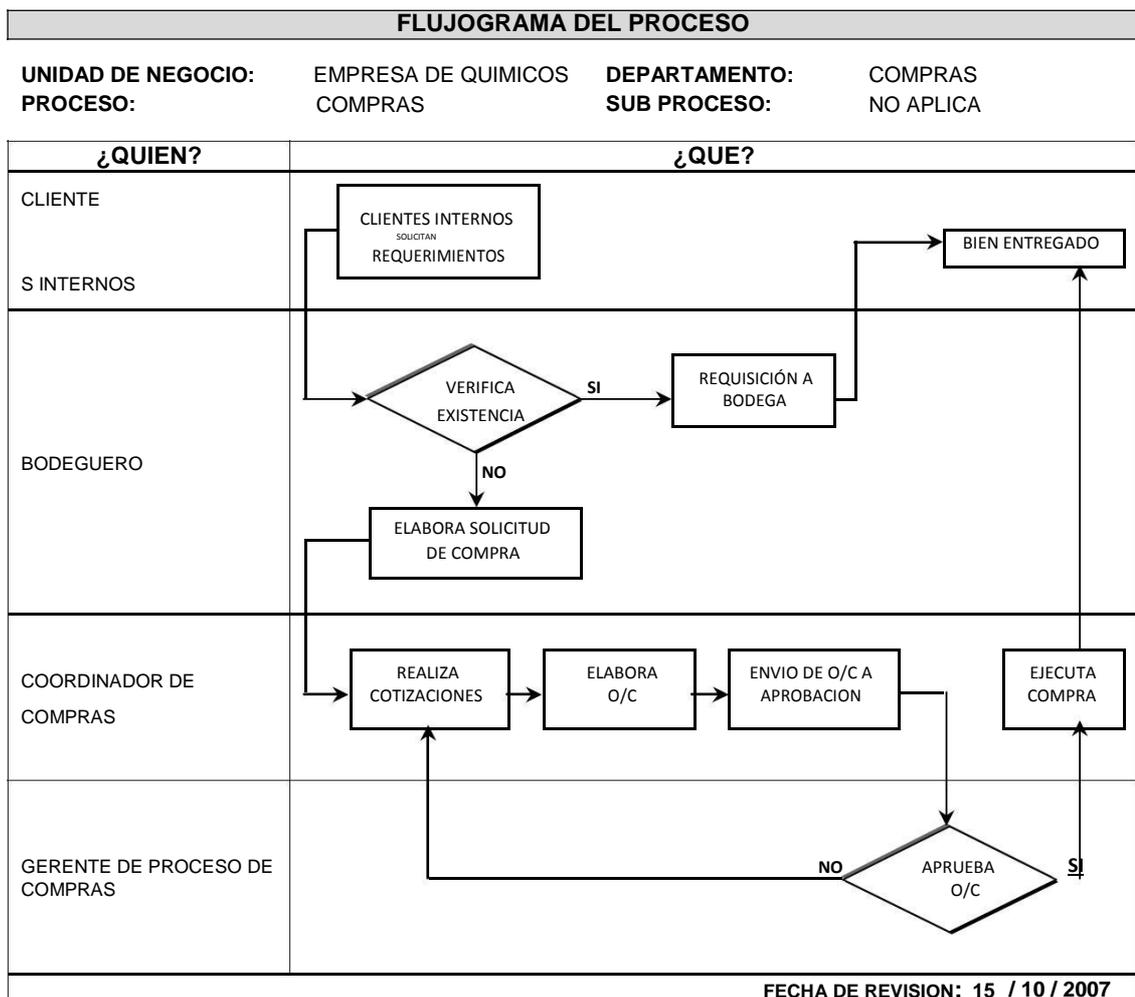
Todo lo antes descrito, referente a la definición del problema se detalla en forma más resumida en la "Ficha del Proyecto", la misma que se encuentra como Anexo 2.

3.2.4. Flujograma del proceso

En el flujograma que se presentará a continuación, describe cada una de las actividades que se realizan en el proceso de compras y las

personas responsables de cada una de ellas. Describe desde el momento en que se recibe un requerimiento de parte del cliente interno hasta la entrega del producto.

Gráfico 3.3.
“Flujograma del Proceso de Compras”



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Se describirá paso a paso las actividades del proceso de compras con sus respectivos responsables de cada tarea.

- **Clientes Internos:** Elaboran las solicitudes de requerimientos, los cuales son enviadas vía mail, formato de solicitudes o vía telefónica.

- **Bodeguero:** Encargado de receptor las solicitudes de compra para su respectiva verificación de existencia en inventario. Si hay en stock se realiza la respectiva requisición a bodega y se entrega el bien al cliente interno, caso contrario se elabora una solicitud de compra.

- **Coordinadora de Compra:** Emite las órdenes de compras, se encarga de la verificación y rectificación los requerimientos de los cliente internos para las respectivas cotizaciones, base fundamental para la elaboración de las órdenes de compras y pasar a su respectiva aprobación para la ejecución de la compra.

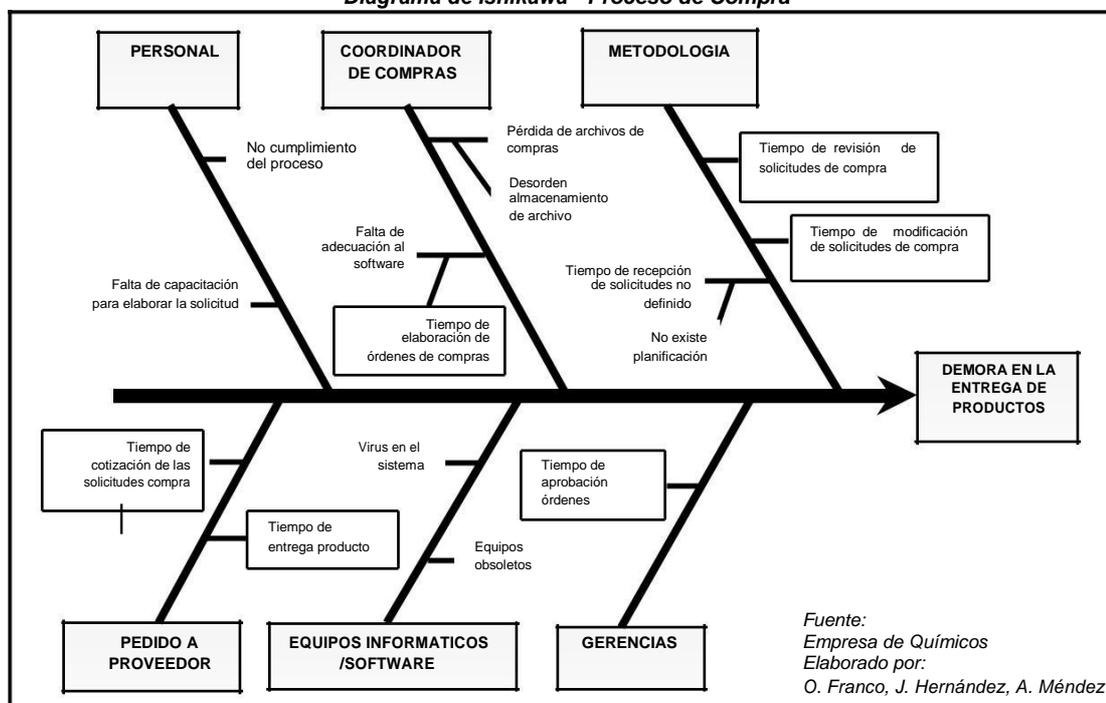
- **Gerente de Compra:** Responsable de la aprobación de la orden de compra, indispensable para su ejecución.

3/4 Medición de Variables

Determinación de las variables críticas X's del proyecto

Este trabajo nace de la necesidad de una empresa en mejorar la eficiencia del proceso de compras, por lo que antes de iniciar el análisis general de los datos es importante mencionar que la información obtenida de la base de datos nos da la pauta para definir cuales van a ser las herramientas a utilizar para estudiar las variables que interviene en este problema de investigación. Uno de los métodos más sencillos que se utiliza para detectar las causas del problema es el Diagrama de Ishikawa.⁶

Gráfico 3.4.
"Diagrama de Ishikawa - Proceso de Compra"



⁶ Análisis de Causa - Efecto

En el Diagrama de Ishikawa⁷ establecido en el gráfico 3.4 se observa que la demora en la entrega de los productos a la Organización está compuesta de diferentes elementos a lo largo del proceso relacionadas con el factor tiempo, siendo éste uno de los componentes primordiales para el desarrollo eficaz de las compras.

Las causas obtenidas son las variables X's las cuales son controlables en el proceso, por lo tanto la variable dependiente Y "Tiempo total de entrega de las compras" se puede expresar en función de las variables independientes $X_i, i=1,2,\dots,n$.

$$y = f (x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Lo que lleva a plantear la hipótesis de que el tiempo total (Y) se puede expresar como una combinación lineal de las variables (X's) determinadas en el análisis de causas y que unas cuantas de estas variables pueden contener la variabilidad total de Y.

Y, podría quedar expresado de la siguiente manera:

$$Y = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_nX_n$$

donde,

$a_{i\dots n}$, son constantes

⁷ Análisis de Causa - Efecto

Por lo que, se vuelve necesario plantear un modelo que permita determinar cuáles variables X 's aportan la mayor variabilidad. Dado esto, se puede considerar al método de Componentes Principales como la herramienta más adecuada para este análisis.

3.3.2. Descripción de las Variables Dependientes X

Las variables de entrada del proceso X 's obtenidas para este proyecto están conformadas por:

X_1 : Tiempo de revisión de la solicitud de compra

X_2 : Tiempo de corrección de la solicitud de compra

X_3 : Tiempo de cotización de la solicitud de

compra X_4 : Tiempo de elaboración de orden de

compra X_5 : Tiempo de aprobación de orden de

compra X_6 : Tiempo de la entrega del producto

La descripción de cada variable anteriormente definidas, se detallan a continuación:

X_1 : Tiempo de revisión de la Solicitud de compra, esto comprende el tiempo de revisión de la solicitud de compra generada por el usuario, esta medición comienza desde la recepción de la solicitud hasta la aprobación de la misma por parte del coordinador de compras, siempre y cuando no existan rectificaciones con respecto

a las descripciones de los ítem y su código según el sistema de registro Openside.

X₂: Tiempo de corrección de la solicitud de compra, este tiempo comprende desde el momento en que la coordinadora de compras contacta al usuario para solicitarle las correcciones respectivas a la solicitud de compras, que se puede dar vía telefónica, mail o personalmente hasta la recepción final del documento corregido y su posterior aprobación.

X₃: Tiempo de cotización de la solicitud de compra, este tiempo comprende desde el momento que se realiza el contacto con los proveedores vía telefónica o mail para realizar las respectivas cotizaciones hasta la recepción formal del documento solicitado.

X₄: Tiempo de elaboración de orden de compra, esto comprende el tiempo que el coordinador de compras se toma para elaborar la orden de compra, el mismo que comienza desde el ingreso al Sistema Openside⁸ de cada uno de los ítems solicitados por el cliente interno hasta la emisión del documento físico de la orden de compra por parte del coordinador de compras para su respectiva aprobación.

⁸ Sistema de registros de la Empresa de Químicos

X₅: Tiempo de aprobación de orden de compra, esto comprende el tiempo que se requiere para la aprobación de la orden de compra que va desde el envío de la misma al gerente de planta para su aprobación hasta el envío del documento al proveedor.

X₆: Tiempo de la entrega del producto, este tiempo comprende desde la entrega de la orden de compra al proveedor hasta la entrega formal del producto por parte del mismo a la empresa.

3.3.3. Recolección de Datos

El tipo de herramientas que se utilizarán para la recolección de datos son muy importantes, ya que depende de ellas para no tener datos desordenados o mal documentados, haciendo imposible su análisis posterior.

En ocasiones los datos son incorrectos por tomarlos de forma distinta , y las conclusiones que se obtiene a partir de éstos carecen de sentido por mucha prolijidad que se ponga en su análisis; por tanto la recolección de datos se debe efectuar de manera cuidadosa y exacta.

Para el estudio los datos fueron obtenidos por medio del sistema de registro que lleva la organización, Openside⁹. Es importante mencionar que el sistema lleva registros tanto de las órdenes de compras como del inventario, cuyo responsable es el bodeguero.

Dado que la gestión de las compras para las adquisiciones de productos de la Planta 1 y 2 las realiza una sola persona, se determina para este estudio unificarán las bases de datos con el propósito de que la información obtenida de ambas sean las más precisa posible y confiable al momento de emitir los resultados.

Sin dejar de lado que las dos plantas generan las solicitudes de compras de manera independiente y podría darse el caso de que existan distintas distribuciones de población.

En el Anexo 3, se describe un reporte generado por el sistema de registro de la empresa con cada uno de los campos, para tener una mejor apreciación de los datos almacenados en la base de datos con la que se trabaja.

⁹ Sistema de registros de la Empresa de Químicos

3.3.4. Plan de Muestreo

Para comprender mejor esta sección se definirá algunos términos a emplearse.

- ¾ **Población objetivo:** Es la colección de todos los entes acerca de los cuales deseamos hacer alguna inferencia, ya sea que la investigación se la realice mediante censos, entrevistas o registros de la empresa. En este proyecto la Población Objetivo son las órdenes de compras generadas durante el año 2007.

- ¾ **Población Investigada:** Es el conjunto de entes que perteneciendo a la Población Objetivo están disponibles al momento de efectuar la investigación. En este caso las órdenes de compras registradas entre julio a diciembre del 2007, con un total de 1.904 órdenes durante los seis meses. será la Población Investigada.

- ¾ **Marco Muestral:** Es el instrumento que de manera simbólica representa la Población Objetivo y que sirve para determinar qué elementos de la misma deben integrar la muestra. El marco muestral puede ser una lista, un plano, una base de datos, entre otros. Para este estudio el Marco Muestral son las órdenes de

compras registradas en la base de datos Openside¹⁰ de la empresa en el período de estudio.

3.3.4.1. Diseño de la Muestra

La población objetivo en nuestro caso está formada por las órdenes de compras generadas durante el año 2007, cuyas características a estudiar son los tiempos generados en cada una de las actividades durante el proceso de entrega de las compras. El tipo de muestreo a aplicarse en esta investigación es el muestreo aleatorio simple.

³/₄ Muestreo aleatorio simple

Se trata de un procedimiento de seleccionar con probabilidades iguales al momento de obtener la muestra unidad a unidad de forma aleatoria de la población de las unidades previamente seleccionadas, teniendo presente además que el orden de la colocación de los elementos de la muestra no interviene.

¹⁰ Sistema de registros de la Empresa de Químicos

¾ Tamaño de la muestra

Para calcular el tamaño de la muestra se considera un error del 10% y un coeficiente de confianza del 95%, la fórmula viene dada por:

$$n = \frac{\lambda_{\alpha}^2 c_{1,x}^2}{e^2 + \lambda_{\alpha}^2 \frac{c_{1,x}^2}{N}} ; c_{1,x}^2 = \frac{s^2}{\bar{x}^2}$$

donde,

n, tamaño de la
muestra s^2 , varianza

e, error

N, tamaño de la población

λ_{α} , coeficiente de confianza

Aplicando la fórmula anterior se tiene:

$s^2 = 49,19$, $e = 10\%$, $N = 1904$ órdenes de compras,
 $\lambda_{\alpha} = 1,96$, $\bar{x} = 10,52$

$$n = \frac{(1,96)^2 (0,44)}{(0,1)^2 + (1,96)^2 \frac{0,44}{1904}} ; c_{1,x}^2 = \frac{49,19}{(10,52)^2} = 0,44$$

$$n = 156,7$$

El tamaño de la muestra a tomar para desarrollar este proyecto es de 157 órdenes de compras.

Para seleccionar la muestra se realiza aplicando la técnica de muestreo aleatorio simple como se lo mencionó anteriormente, la cual va a permitir seleccionar de las 1.904 órdenes de compras (total de unidades de muestreo de mi población investigada) las 157 órdenes de compras que correspondientes a la muestra.

(Anexo 4)

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CAPACIDAD DEL PROCESO

4.1. Introducción

El presente capítulo tiene como objeto principal determinar la capacidad del proceso, para identificar si es capaz o no, es decir, detectar si la variabilidad del producto resultante es pequeña o no y si cumple con los requerimientos del cliente.

Para ello primero hay de determinar la función de distribución de los datos, lo cual se aplica la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov – Smirnov.

Como herramienta estadística que se aplica en este estudio para identificar las variables que tienen la mayor variabilidad de los datos se utiliza el análisis de componentes principales.

Además en este capítulo se realiza el análisis estadístico descriptivo de las variables de los datos de la muestras.

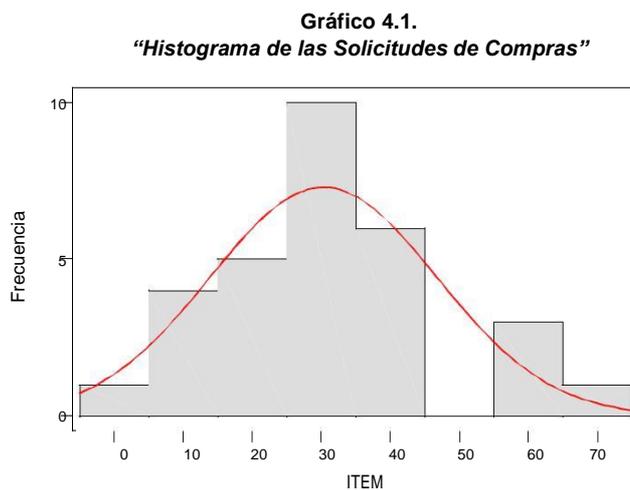
4.2. Análisis Estadístico

La muestra estudiada corresponden a las variables X's definidas para el proyecto, sin embargo se tiene que mencionar que estas variables están relacionadas con el número de solicitudes de compras y el número de ítems, debido a que los tiempos dependen del volumen de solicitudes de compras y la cantidad de los ítems.

Analizando se tiene:

$\frac{3}{4}$ Número de solicitudes de compras diarias

Esta variable presenta el número de solicitudes de compras generadas diariamente por los clientes internos de la empresa y cuyo promedio es de 13 solicitudes diarias con una desviación de +/- 5.73.



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

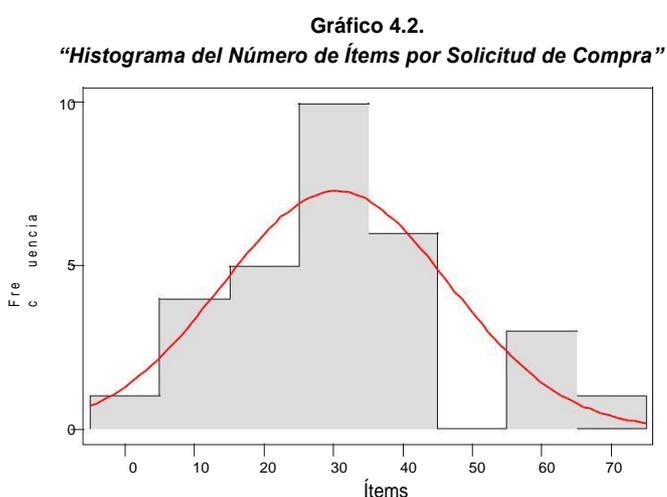
Tabla 4.1.
"Parámetros de las Solicitudes de Compras"

Solicitudes de Compras	
Media	13
Desv. Estándar	5.73
Varianza	32.89
Mediana	1.35
Mínimo	1
Máximo	22
Rango	21
Sesgo	-0.35
Kurtosis	-0.53
N	30

¾ Número de ítems por cada solicitud de compra

Analizando esta variable se determina que cada solicitud de compra está conformada por 30 ítems en promedio con una desviación de 16 ítems.

También se tiene que el máximo número de ítems en una solicitud de compra emitida durante el periodo de estudio fue 66.



Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 4.2.
“Parámetros de los Ítems por Solicitud de Compra”

Ítems	
Media	30.4
Desv. Estándar	16.4
Varianza	269.15
Mediana	31.5
Mínimo	1
Máximo	66
Rango	65
Sesgo	0.39
Kurtosis	-0.09
N	30

4.2.1. Estadística Descriptiva de las variables de estudio

En esta sección se determina la estadística descriptiva de las variables críticas del estudio X 's, para asegurar la normalidad¹ de los datos se trabaja con los tiempos promedios diarios de cada variable, es decir, se sumó el tiempo medido en cada una de ellas y se dividió para el total de órdenes de compras generadas en ese día. Cabe indicar que la unidad de medida en la toma de datos es en minutos.

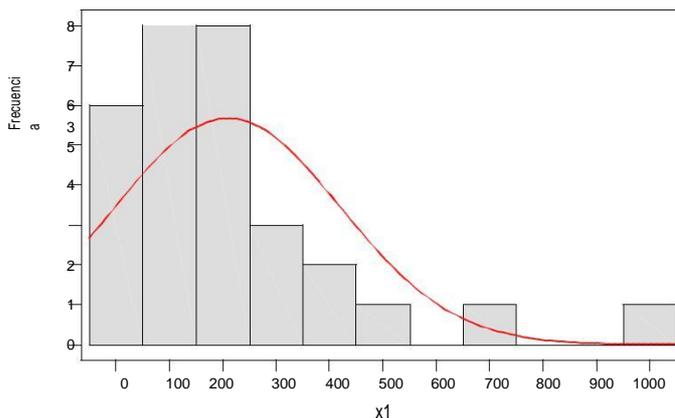
¹ Teorema del Límite Central [5]

¾ **X1: Tiempo promedio de revisión de la solicitud de compra**

Al analizar esta variable se establece que el Coordinador de Compras se toma en promedio 210 minutos (3 horas y media) en revisar 13 solicitudes de compras con 30 ítems cada una en promedio; con una desviación estándar de +/- 211 minutos (3 horas y media).

Se tiene que se revisa en promedio 4 solicitudes de compras con 30 ítems cada por hora.

Gráfico 4.3.
"Histograma de la variable X1"



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 4.3.
"Parámetros de la variable X1"

X1	
Media	210
Desv. Estándar	211
Varianza	44529.30
Mediana	168.25
Mínimo	1.07
Máximo	961.66
Rango	960.59
Sesgo	2.05
Kurtosis	5.10
N	30

En el gráfico 4.3 y tabla 4.3 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X1 respectivamente.

¾ **X2: Tiempo promedio de corrección de la solicitud de compra**

En esta variable se establece que el tiempo promedio de corrección o rectificación de 13 solicitudes de compras con 30 ítems cada una en promedio es de 264.93 minutos (4 horas con 42 minutos) con una desviación estándar de +/- 262 minutos (4 horas con 37 minutos).

Por lo tanto, se corrigen en promedio 3 solicitudes de compras con 30 ítems por hora.

Gráfico 4.4.
"Histograma de la variable X2"

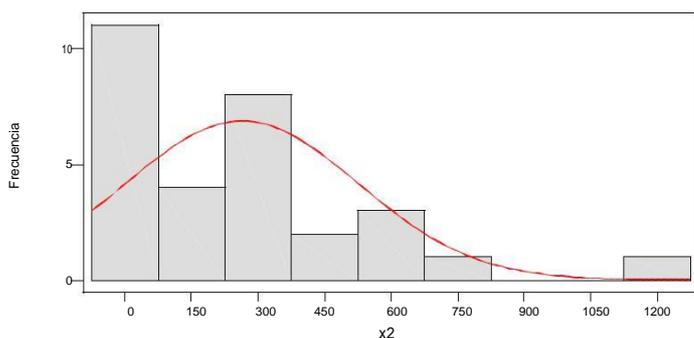


Tabla 4.4.
"Parámetros de la variable X2"

X2	
Media	264.93
Desv. Estándar	262.09
Varianza	68695.90
Mediana	236.63
Mínimo	5.41
Máximo	1180.58
Rango	1175.17
Sesgo	1.68231
Kurtosis	3.82
N	30

Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

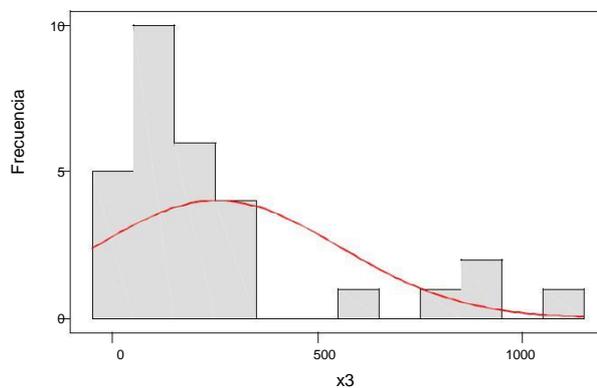
En el gráfico 4.4 y tabla 4.4 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X2 respectivamente.

- **X3: Tiempo promedio de cotización de la solicitud de compra**

Analizando esta variable se obtiene que para realizar la cotización de 13 solicitudes de compras con 30 ítems cada una en promedio se requiere de 256.41 minutos (4 horas con 27 minutos) en promedio con una desviación estándar de +/- 298.66 minutos (5 horas aproximadamente).

Se concluye que el Coordinador de Compras en una hora en promedio cotiza 3 solicitudes de compras en promedio.

Gráfico 4.5.
"Histograma de la variable X3"



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 4.5.
"Parámetros de la variable X3"

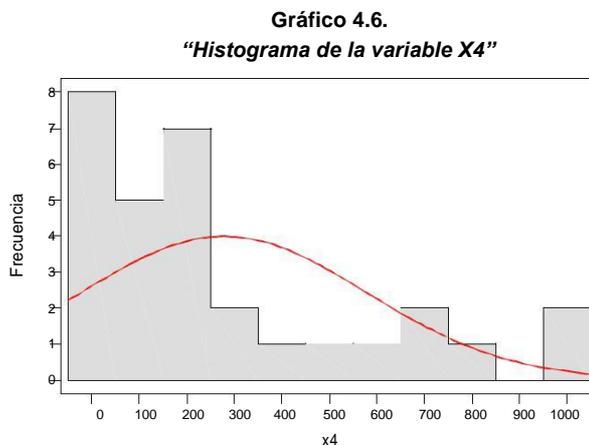
X3	
Media	256.41
Desv. Estándar	298.66
Varianza	8919
Mediana	146.10
Mínimo	15.88
Máximo	1092.17
Rango	1076.29
Sesgo	1.78
Kurtosis	2.11
N	30

En el gráfico 4.5 y tabla 4.5 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X3 respectivamente.

- **X4: Tiempo promedio de elaboración de orden de compra**

Al analizar esta variable se establece que el Coordinador de Compras se toma en promedio 278.78 minutos (5 horas con 5 minutos) en elaborar una orden de compra por cada solicitudes de compras solicitada, es decir que genera 13 órdenes de compras con 30 ítems cada una en promedio; con una desviación estándar de +/- 300.50 minutos (5 horas).

Así se tiene que en promedio se generan 3 órdenes de compras con 30 ítems por hora.



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 4.6.
"Parámetros de la variable X4"

X4	
Media	278.78
Desv. Estándar	300.50
Varianza	90304
Mediana	165.20
Mínimo	4.97
Máximo	1004.64
Rango	999.67
Sesgo	1.24
Kurtosis	0.38
N	30

En el gráfico 4.6 y tabla 4.6 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X3 respectivamente.

3/4 X5: Tiempo promedio de aprobación de orden de compra

En esta variable se establece que el tiempo promedio de aprobación de 13 órdenes de compras con 30 ítems cada una en promedio por parte del gerente de la planta es de 263.54 minutos (4 horas con 39 minutos) con una desviación estándar de +/- 259.49 minutos (4 horas con 32 minutos).

Tenemos que se aprueban en promedio 3 solicitudes de compras con 30 ítems por hora.

Gráfico 4.7.
"Histograma de la variable X5"

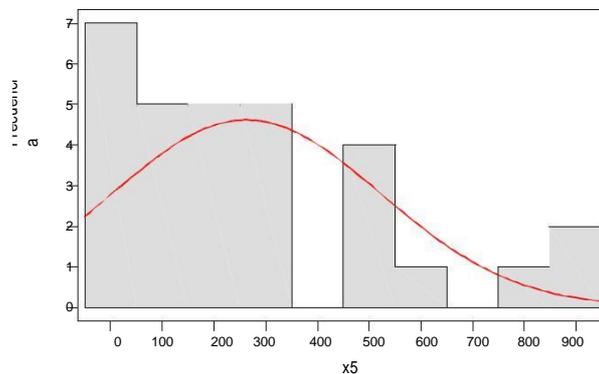


Tabla 4.7.
"Parámetros de la variable X5"

X5	
Media	263.54
Desv. Estándar	259.49
Varianza	67337.80
Mediana	197.44
Mínimo	4.47
Máximo	875.56
Rango	871.09
Sesgo	1.06
Kurtosis	0.32
N	30

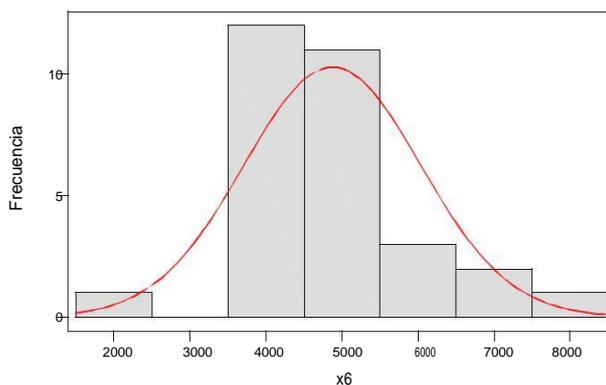
Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

En el gráfico 4.7 y tabla 4.7 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X5 respectivamente.

¾ X6: Tiempo promedio de la entrega del producto por parte del proveedor a la empresa

Analizando esta variable se obtiene que el tiempo promedio en entregar el producto por parte del proveedor a la empresa es de 4883.92 minutos (10 días) con una desviación estándar de +/- 1164.23 minutos (2 días y medio) de acuerdo al número de órdenes de compras generadas.

Gráfico 4.8.
“Histograma de la variable X6”



Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Tabla 4.8.
“Parámetros de la variable X6”

X6	
Media	4883.92
Desv. Estándar	1164.23
Varianza	1355435
Mediana	4798.79
Mínimo	2399.43
Máximo	8160.36
Rango	5760.93
Sesgo	0.90
Kurtosis	1.78
N	30

En el gráfico 4.8 y tabla 4.8 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable X6 respectivamente.

b Y: Tiempo promedio Total de la entrega de las compras

Analizando esta variable se obtiene que el tiempo promedio total de entrega de las compras es de 6157.60 minutos (13 días) con una desviación estándar de +/- 1792.19 minutos (4 días) de acuerdo al número de órdenes de compras generadas.

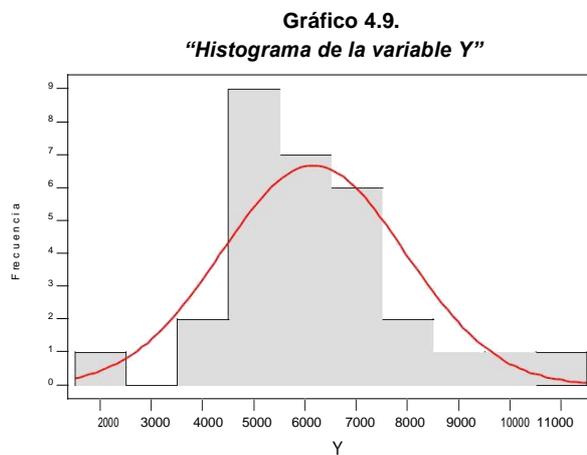


Tabla 4.9.
"Parámetros de la variable Y"

Tiempo Promedio Total	
Media	6157.6
Desv. Estándar	1792.19
Varianza	3211954
Mediana	5799
Mínimo	2434.73
Máximo	11148.4
Rango	8713.66
Sesgo	0.77
Kurtosis	1.44
N	30

En el gráfico 4.9 y tabla 4.9 se presenta los parámetros y el histograma de frecuencias de la variable Y respectivamente.

4.3. Capacidad del Proceso

El proceso a controlar para este proyecto es la entrega de las compras de productos , en la sección 3.3.1 de este documento se define a la variable Y como una combinación lineal de variables X's, siendo Y el tiempo total de la entrega de las compras.

Antes del cálculo de la capacidad del proceso se determina la función de distribución de la variable Y, por medio de la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov - Smirnov.

4.3.1. Prueba de Kolmogorov – Smirnov [5]

Son pruebas no paramétricas que permite comparar la gráfica de la distribución empírica acumulada con la correspondiente gráfica de la función de densidad acumulada de la distribución teórica propuesta.

Si hay un acercamiento entre las gráficas existe una probabilidad de que la distribución teórica se ajusta a los datos.

Kolmogorov – Smirnov es una prueba de bondad de ajuste eficiente en muestras pequeñas, se fundamenta en la diferencia absoluta máxima (D) entre los valores de la distribución acumulada de una muestra de tamaño n y una distribución teórica determinada.

En este estudio se desea probar que los datos provienen de una distribución Normal, entonces las hipótesis² a contrastar en esta prueba de bondad de ajuste se define como:

$$H_0: Y \text{ tiene una distribución que es } N(\bar{x}, s^2)$$

) vs.

$$H_1: \text{No es verdad } H_0$$

donde:

$\bar{x} = 6157.55^3$, es la media aritmética de la muestra

$s^2 = 2470669,08^3$, es la varianza de la muestra

El estadístico de contraste esta dado por:

$$\sup_{1 \leq i \leq n} \left| \frac{F_n(x_i) - F_0(x_i)}{F_0(x_i)} \right|$$

donde:

x_i , es el i-ésimo valor observado en la muestra

$\hat{F}_n(x_i)$, es un estimador de la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i .

$F_0(x_i)$, es la probabilidad de observar valores menores o iguales que x_i cuando H_0 es cierta.

^{3/4} Prueba de Hipótesis [5]

^{3/4} La unidad de medida utilizada en este estudio para los datos es en minutos.

Es decir, D es la mayor diferencia absoluta observada entre la frecuencia

acumulada de los datos $\hat{F}_n(x_i)$ y la frecuencia acumulada teórica, en este caso de la distribución Normal $F_0(x_i)$.

Si los valores observados $\hat{F}_n(x_i)$ son similares a los esperados $F_0(x_i)$, el valor D será pequeño; en cambio si la discrepancia sea mayor entre la distribución

empírica $\hat{F}_n(x_i)$ y la distribución teórica $F_0(x_i)$, mayor será el valor de D .

Dado lo anterior, el criterio para la toma de decisión es:

Si $D \leq D_\alpha \Rightarrow$ Aceptar H_0

Si $D > D_\alpha \Rightarrow$ Rechazar H_0

donde, el valor de D_α se elige de tal manera:

$P(\text{Rechazar } H_0 / H_0 \text{ es cierta}) = P(D > D_\alpha | \text{Los datos siguen la distribución teórica, Normal}) = \alpha$

Siendo α el nivel de significancia de contraste.

Para el cálculo del estadístico D , debe obtenerse:

$$D^+ = \max_{1 \leq i \leq n} \left(\frac{i}{n} - F_0(x_i) \right), \quad D^- = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F_0(x_i) - \frac{i-1}{n} \right)$$

es decir,

$$D = \max\{D^+, D^-\}$$

A su vez, el valor del estadístico D_α depende del tipo de distribución y su fórmula está dada por:

$$D_\alpha = \frac{C_\alpha}{k(n)}$$

donde, C_α y $k(n)$ se encuentran tabuladas⁴.

Una vez definido la prueba de bondad de ajuste Kolmogorov - Smirnov, se procede a realizar los cálculos de la prueba⁵ con los datos de la muestra, con lo que se puede determinar que los datos provienen de una distribución normal, dado que:

$$D_\alpha > 0.15 \text{ aproximadamente}$$

y,

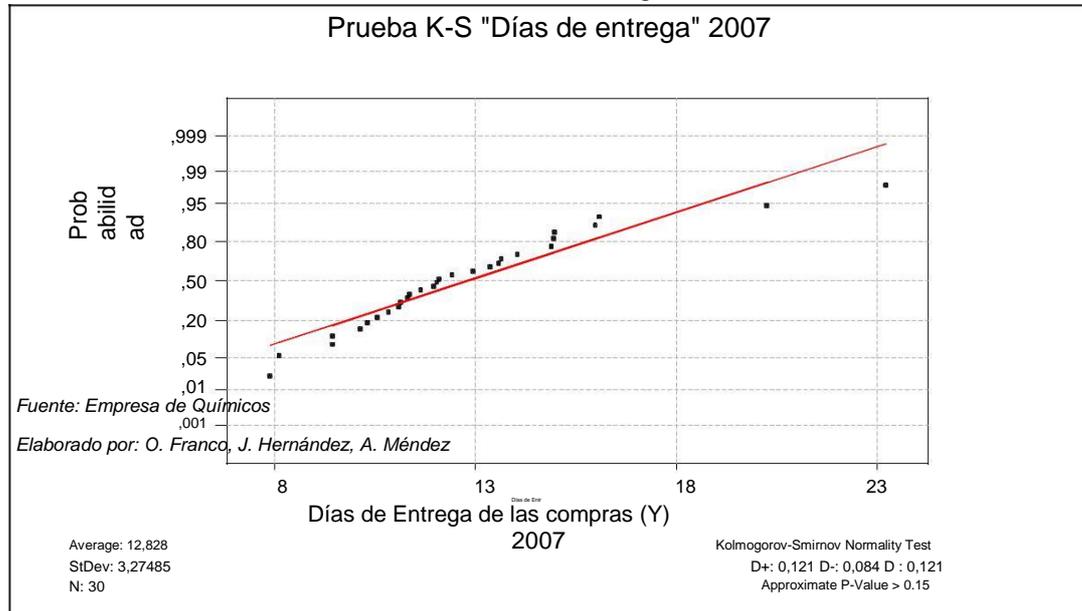
$$D = 0.121$$

se cumple que $D \leq D_\alpha$, por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis nula ya que los datos provienen de una distribución normal. Lo que también se puede evidenciar en el gráfico 4.10.

⁴ Tablas tabuladas de la Prueba de Bondad de Ajuste, Kolmogorov – Smirnov [5]

⁵ Para los cálculos de la prueba de bondad de ajuste se utilizó el software estadístico Minitab versión 13.0

Gráfico 4.10.
 "Prueba de Normalidad Kolmogorov - Smirnov"
 Prueba K-S "Días de entrega" 2007



Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Una vez confirmado la normalidad de los datos de la variable Y (Tiempo promedio de la entrega de las compras), se procede a el cálculo de los indicadores del proceso.

4.3.2. Indicadores del Proceso

Como primer paso se debe determinar el índice de capacidad potencial o esperado, debido a que se definió como meta que la entrega de las compras debe llegar en un tiempo menor o igual a 6 días, es decir, se considera un límite de especificación superior para el proceso como se especifica en la sección 3.2.1, el cual se denota como:

$$\text{CPU} = \frac{\text{LSE}}{\sigma} =$$

μ

3
 σ

donde,

LSE, límite superior de especificación

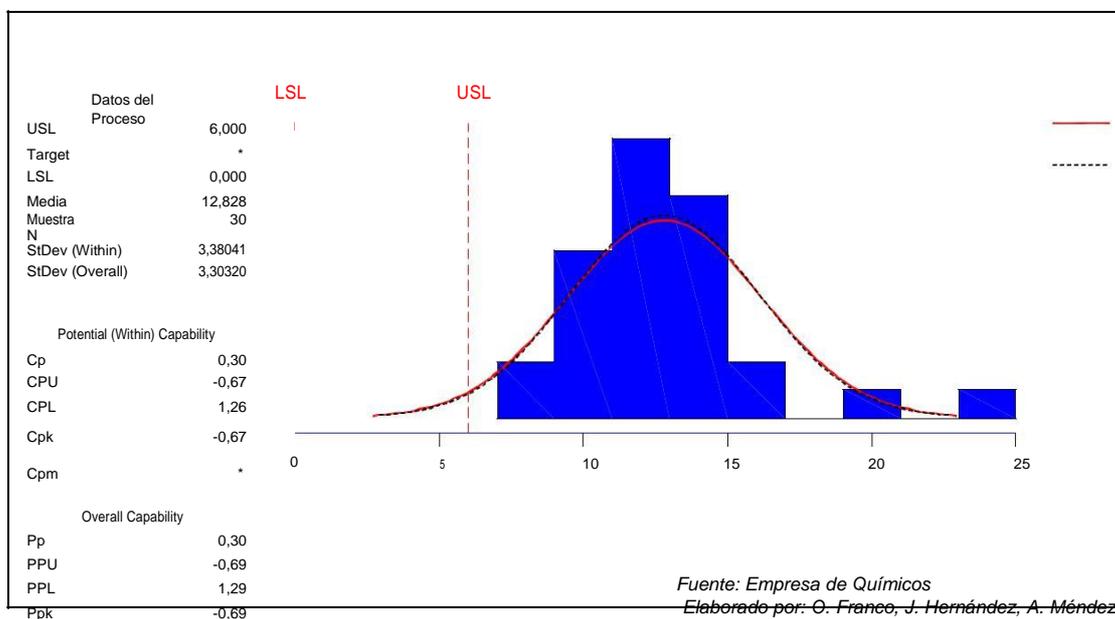
, media de los datos del proceso

$\frac{3}{4}$, desviación típica de los datos del proceso

Si el $CPU^1 \geq 1$ entonces el proceso es capaz, caso contrario el proceso no es capaz.

En el gráfico 4.11 se presentan los resultados² de la capacidad del proceso de la variable Y de los datos del año 2007.

Gráfico 4.11.
“Análisis de Capacidad del Proceso de la Variable Y, año 2007”



^{3/4} Capacidad del Proceso
^{3/4} Para los cálculos de los índices de capacidad se utilizó el software estadístico Minitab versión 13.0

El índice de capacidad real para la variable Y da como resultado un $CPU^6 = 0.67$, menor a 1, por lo tanto se concluye que el proceso actual de la Empresa de Químicos no es capaz, es decir, existe mucha variabilidad de los datos en el proceso.

Por otro lado el límite de especificación superior (LSE) está totalmente fuera de la gráfica o dicho de otra manera, los datos no están dentro de las especificaciones determinadas por la Dirección de la empresa.

Cabe recalcar que estas especificaciones fueron definidas por la Dirección en conjunto con el Gerente de Compras y posteriormente comunicado a la Coordinadora de Compras. Como se detalla en la sección 3.2.1, el límite de especificación superior es de:

LES^3 : tiempo máximo de 6 días que equivale a 2880 minutos

Al definir el límite de especificación se considera el tiempo promedio en las entregas de las compras.

Con respecto al índice de capacidad potencial definido como:

$$C_{pk} = \min \left\{ \frac{LES - \mu}{3\sigma}, \frac{\mu - LEI}{3\sigma} \right\}$$

³ LES, Límite de especificación Superior

donde,

LES, límite superior de especificación

LEI, límite inferior de especificación

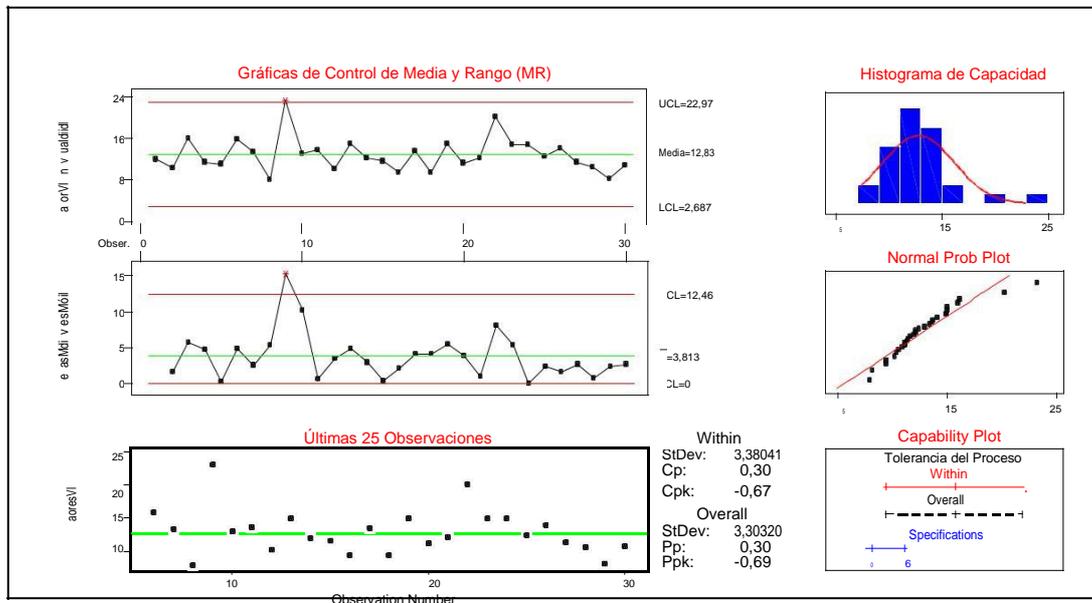
, media del proceso

$\frac{3}{4}$, desviación típica del proceso

Siendo PPK = - 0,69, significa que se debe mejorar su proceso vía una reducción de la variación y un mejor ajuste.

Además, se observa en el gráfico 4.12 que los datos que se encuentran fuera de los límites de las cartas o gráficos de control, por lo que se concluye que el proceso está fuera de control.

Gráfico 4.12.
“Six Pack de la Capacidad del Proceso de la Variable Y del Año 2007”



Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Una vez determinado todo lo referente a la capacidad del proceso para este estudio, se evidencia que las variables X 's que conforman el proyecto tienen una gran variabilidad entre sus datos lo cual ayuda que el proceso este fuera de control y no sea capaz.

Por lo tanto para determinar cuál de estas variables contienen la mayor cantidad de variabilidad se recurre al método de componentes principales, lo cual nos va a permitir determinar que variables que predominan en los nuevos componentes que están en combinación lineal de las variables originales.

Para poder realizar el análisis de componentes principales, se tiene que determinar si existe correlación entre las variables de estudio, caso contrario no se puede efectuar el análisis multivariado.

Pueden utilizarse diferentes métodos para comprobar el grado de asociación entre las variables:

- **Determinante de la matriz de correlaciones:**

Un determinante muy bajo indicará altas intercorrelaciones entre las variables, pero no debe ser cero porque si no se trataría de una matriz no singular, pues esto indicaría que algunas de las variables son linealmente dependientes y no se podrían realizar el análisis de componentes principales.

En este estudio el determinante de la matriz de correlaciones de los datos es 0.085, es pequeño pero diferente de 0, por lo que se concluye que se puede realizar el análisis multivariado.

Tabla 4.10.
“Matriz de correlaciones de los datos de la muestra del año 2007”
Matriz de correlaciones(a)

	X1	X2	X3	X4	X5	X6
Correlación X1	1,000	,686	,406	,679	,380	-,006
X2	,686	1,000	,560	,494	,448	,032
X3	,406	,560	1,000	,600	,485	,242
X4	,679	,494	,600	1,000	,482	,245
X5	,380	,448	,485	,482	1,000	,068
X6	-,006	,032	,242	,245	,068	1,000

Determinante = ,085

Fuente: Empresa de Químicos

Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

- **Test de Esfericidad de Bartlett:**

Contrasta la hipótesis que la matriz de correlaciones es una matriz identidad; este estadístico se distribuye aproximadamente según el modelo de probabilidad chi-cuadrado. Es recomendable para muestras pequeñas, como es el caso de este estudio, expresando así la hipótesis nula:

$$H_0 = \sum \begin{matrix} \sigma_{11} & 0 & L & 0 \\ 0 & \sigma_{22} & L & 0 \\ & & & \\ M & & O & M \\ 0 & 0 & L & \sigma_{pp} \end{matrix}$$

vs.

H_1 : No es verdad H_0

El estadístico de prueba esta dado por:

$$\chi^2_{n-1} = \frac{1}{6} * (2 * v + 5) * \ln R \quad | \quad |$$

donde,

n, tamaño muestral.

v, número de variables. ln,

logaritmo neperiano. R,

matriz de correlaciones.

Se acepta la hipótesis nula ($p > 0.05$) significa que las variables no están intercorrelacionadas, por lo tanto se puede aplicar análisis de componentes principales.

En la tabla 4.11., el estadístico de prueba de Bartlett es 0.00, es menor a 0.05, de manera que existe evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula, es decir algunos valores de las covarianzas, σ_{ij} son diferentes de 0 para $i \neq j$, y podemos afirmar que no existe independencia entre las variables de la matriz de datos y se concluye que se puede proceder con el análisis de componentes principales.

Tabla 4.11.
“Índice KMO (Kaiser-Meyer-Olkin) y Prueba de Bartlett”

Prueba de esfericidad de Bartlett	Chi-cuadrado aproximado	64,506
	GI	15
	Sig.	,000

Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

4.1.1. Análisis de Componentes Principales[3]

Se considera una serie de variables (x_1, x_2, \dots, x_p) sobre un grupo de objetos o individuos y se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables y_1, y_2, \dots, y_p , incorreladas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente.

Cada y_j ($j = 1, \dots, p$) es una combinación lineal de las x_1, x_2, \dots, x_p originales, es decir:

$$y_j = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p$$

$$= a'_jx$$

siendo $a'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ un vector de constantes, y

$$x_1 : X$$

$$= :$$

$$X p$$

Si lo que queremos es maximizar la varianza, una forma simple podría ser aumentar los coeficientes a_{ij} , por ello para mantener la ortogonalidad de la transformación se impone que el módulo del vector $\mathbf{a}'_j = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ sea,

$$\mathbf{a}'_j \mathbf{a}_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1$$

El primer componente se calcula eligiendo a_1 de modo que y_1 tenga la mayor

varianza posible, sujeta a la restricción de que $\mathbf{a}'_1 \mathbf{a}_1 = 1$ El segundo componente principal se calcula obteniendo a_2 de modo que la variable obtenida, y_2 esté incorrelada con y_1 .

Del mismo modo se eligen y_1, y_2, \dots, y_p , incorreladas entre sí, de manera que las variables aleatorias obtenidas vayan teniendo cada vez menor varianza.

Se elige a_1 de modo que se maximice la varianza de y_1 sujeta a la restricción de que $a_1' a_1 = 1$

$$\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1' x) = a_1' \Sigma a_1$$

El método habitual para maximizar una función de varias variables sujeta a restricciones el método de los multiplicadores de Lagrange. [3]

La complejidad se da al maximizar la función $a_1' \Sigma a_1$ sujeta a la restricción $a_1' a_1 = 1$.

Se puede observar que la incógnita es precisamente a_1 (el vector desconocido que nos da la combinación lineal óptima).

Así, construyo la función L:

$$L(a_1) = a_1' \Sigma a_1 - \lambda(a_1' a_1 - 1)$$

derivando e igualando a 0, se tiene el máximo:

$$\frac{\partial L}{\partial a_1} = 2 \Sigma a_1 - 2 \lambda a_1 = 0$$

$$(\Sigma - \lambda I) a_1 = 0$$

Lo antes expuesto no es más que un sistema de ecuaciones.

Para que el sistema tenga una solución distinta de 0, la matriz

$$(\Sigma - \lambda I)$$

tiene que ser singular, esto implica que el determinante debe ser igual a cero.

$$|\Sigma - \lambda I| = 0$$

y de este modo, λ es un autovalor de la matriz de covarianzas \square

es de orden p y si es definida positiva, tendrá p autovalores distintos

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$, tales que, se da $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$.

Desarrollando la expresión anterior tenemos:

$$(\Sigma - \lambda I)a_1 = 0$$

$$\frac{3}{4} \quad a_1 - \lambda a_1 = 0$$

$$a_1 = \lambda a_1$$

entonces,

$$\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1'x) = a_1' \Sigma a_1 =$$

$$a_1' \lambda a_1 = \lambda a_1' a_1 = \lambda \cdot 1 = \lambda$$

para maximizar la varianza de y_1 se tiene que tomar el mayor autovalor, digamos λ_1 , y el correspondiente autovector a_1 .

En realidad, a_1 es un vector que nos da la combinación de las variables originales que tienen mayor varianza, esto es si:

$$a_1' = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p})$$

entonces,

$$y_1 = a'_1 x = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p$$

$$y_2 = a'_2 x = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2p}x_p$$

:

:

$$y_j = a'_j x = a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jp}x_p$$

Además, se quiere que y_2 no esté correlacionada con y_1 , es decir la $\text{cov}(y_2, y_1) = 0$.

$$\text{Cov}(y_2, y_1) = \text{Cov}(a'_2 x, a'_1 x)$$

$$\stackrel{3/4}{=} a'_2 \cdot E[(x - \mu)(x - \mu)'] \cdot a_1$$

$$\stackrel{3/4}{=} a'_2 \sum a_1$$

es decir, se requiere que $a'_2 \sum a_1 = 0$, como se tenía que $\sum a_1 = \lambda a_1$, lo anterior es equivalente a:

$$a'_2 \sum a_1 = a'_2 \lambda a_1 = \lambda a'_2 a_1 = 0$$

esto equivale a que $a'_1 a_1 = 0$, es decir, que los vectores son

ortogonales.

Posteriormente se procede a maximizar la varianza de y_2 , como en el caso de y_1 .

Los razonamientos anteriores se pueden extender, de modo que al j -ésimo componente le corresponde el j -ésimo autovalor.

Entonces todos los componentes "Y" se pueden expresar como el producto de una matriz formada por los autovectores, multiplicada por el vector "X" que contiene las variables x_1, \dots, x_p .

$$y = Ax$$

donde,

$$\begin{array}{c}
 y_1 \\
 y_2 \\
 \vdots \\
 y_p
 \end{array}
 =
 \begin{array}{c}
 a_{11} \quad a_{12} \quad \dots \quad a_{1p} \\
 a_{21} \quad a_{22} \quad \dots \quad a_{2p} \\
 \vdots \\
 a_{p1} \quad a_{p2} \quad \dots \quad a_{pp}
 \end{array}
 \begin{array}{c}
 x_1 \\
 x_2 \\
 \vdots \\
 x_p
 \end{array}$$

como,

$$\text{Var}(y_1) = \lambda_1$$

$$\text{Var}(y_2) = \lambda_2$$

...

$$\text{Var}(y_p) = \lambda_p$$

la matriz de covarianzas de y es:

$$\begin{array}{cccc}
 \lambda_1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & \lambda_2 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & \ddots & 0 \\
 0 & 0 & 0 & \lambda_p
 \end{array}$$

porque y_1, \dots, y_p se han construido como variables incorreladas.

Se tiene que

$$= \text{Var}(Y) = A' \text{Var}(X) A = A' \Sigma A$$

o bien,

$$\Sigma = A \Delta A'$$

ya que A es una matriz , dado que $a'_{ij} a_i = 1$ para todas las columnas, por lo que $A'A = I$.

El problema que plantea este estudio es la demora en la entrega de los productos, como se define en la sección 3.2., así mismo se define que el tiempo total de entrega de los productos como una variable denotada con la letra Y, la misma que está en función de las variables X's, que se presenta en la sección 3.3.1., por lo que se tiene:

$$y = a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_4 + a_5 X_5 + a_6 X_6$$

Una vez definido el análisis de componentes principales se realiza el análisis¹ de los datos de la muestra del año 2007, es importante indicar

¹ El cálculo de las Análisis de Componentes Principales se realiza por medio de el software estadístico Minitab versión 13

que los datos de las variables de estudio se encuentran a escalas diferentes, por lo tanto se procedió a estandarizarlos².

La estandarización significa que a cada dato observado se le resta la media estimada y se lo divide para la desviación estándar estimada de las variables.

Al aplicar el análisis de componentes principales a la matriz de datos estandarizados, se obtiene que con tres componentes principales se explica el 81.54% de la varianza total, como se explica en la tabla 4.10.

Tabla 4.12.
"Valores propios y porcentaje de explicación de cada componente"

Componentes	λ_i	Porcentaje de la Varianza Explicada	Porcentaje de la Varianza Acumulada
1	3,131	52,178	52,178
2	1,077	17,946	70,124
3	0,685	11,416	81,540
4	0,503	8,382	89,922
5	0,437	7,289	97,211
6	0,167	2,789	100,000

Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Como se observa en la tabla 4.13., en la primera componente principal predominan las variables en función del tiempo promedio de la revisión de la solicitud de compra, corrección de la solicitud de compra y

² Estandarización significa que a cada dato se le resta la media y se divide para la desviación estándar [5]

elaboración de la orden de compra; en la segunda componente principal la ponderación se inclina para que predomine la variable tiempo promedio de entrega del producto por parte del proveedor y en la tercera se hace presente la variable del tiempo promedio de aprobación de la orden de compra.

Tabla 4.13.
"Componentes Principales calculadas"

VARIABLES	COMPONENTES		
	1	2	3
Tiempo promedio de revisión de la Solicitud de Compra	0,799	-0,304	0,402
Tiempo promedio de corrección de la Solicitud de Compra	0,806	-0,246	0,138
Tiempo promedio de cotización de la Solicitud de Compra	0,783	0,212	-0,206
Tiempo promedio de elaboración de Orden de Compra	0,843	0,117	0,156
Tiempo promedio de aprobación de orden de compra	0,688	-0,037	-0,640
Tiempo promedio de la entrega del producto por parte del proveedor a la empresa	0,217	0,930	0,170

Fuente: Empresa de Químicos
Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Las componentes principales se expresan de la siguiente manera: $Y_1 =$

$$0.799x_1 + 0.806x_2 + 0.783x_3 + 0.843x_4 + 0.688x_5 + 0.217x_6$$

$$Y_2 = -0.304x_1 - 0.246x_2 + 0.212x_3 + 0.117x_4 - 0.037x_5 + 0.930x_6$$

$$Y_3 = 0,402x_1 + 0.138x_2 - 0.206x_3 + 0.156x_4 - 0.640x_5 + 0.170x_6$$

Del análisis realizado el primer componente principal abarca el 52% de la varianza total de los datos y en ella se puede observar que las variables que tienen mayor ponderación en esta componente son:

x_1 : Tiempo promedio de revisión de la Solicitud de Compra

x_2 : Tiempo promedio de corrección de la Solicitud de Compra

x_4 : Tiempo promedio de elaboración de Orden de Compra

Por lo tanto, el esfuerzo de implementar acciones de mejora va a estar enfocado en las variables antes mencionadas, para así poder disminuir la variabilidad total de los datos del proceso.

CAPITULO V

MEJORAS Y CONTROL DEL PROCESO

5.1. Introducción

En este capítulo se describe las mejoras que se aplicaron de acuerdo a los resultados obtenidos en el capítulo anterior.

Estas mejoras fueron propuestas, aceptadas e implementadas en la empresa.

Se presenta un análisis comparativo de los resultados obtenidos de los datos del antes y después de la implementación de la mejora. También se describe brevemente el tipo de control a utilizar para mantener la eficacia del proceso.

En la sección de control se presenta la verificación de los resultados producto de la implementación de las mejoras determinadas.

5.2. Mejora del Proceso

Las mejoras implementadas en el proceso van alineadas a los hallazgos determinados en análisis de componentes principales, el cual determina que los tiempos de revisión, rectificación y cotización de las solicitudes de compras son los principales componentes para la demora en la llegada de las compras. Las mejoras implementadas se describen en la siguiente sección.

5.2.1. Mejoras Implementadas

Las mejoras se implementan de manera sistemática y planificada (Ver anexo 5) en la empresa, donde se tiene:

- ¾ El flujo del proceso fue objeto de modificaciones disminuyendo la cantidad de actores dentro del mismo; además se eliminaron ciclos siendo más directo el flujo de información entre los involucrados del proceso. (Ver anexo 6)

- ¾ Se solicita al departamento de Informática de la empresa que elabore un módulo en el sistema Openside¹ para que los usuarios puedan consultar la existencia de productos en bodega y así evitar tiempos en la consulta de stocks al bodeguero; además en el

¹ Sistema de registro de la Empresa de Químicos

mismo módulo el usuario puede elaborar la solicitud de compra y enviarla al coordinador de compras vía mail para su revisión y así se elimina el tiempo de escritura de la solicitud en papel.

- ³/₄ La aprobación de las órdenes de compras emitidas por el coordinador de compras, también tuvieron cambios para su mejora.

Este proceso se sistematizó logrando que el coordinador de compras envíe de manera electrónica la orden de compra y sea aprobada de la misma forma con la firma electrónica del gerente de compras. Es importante mencionar que para el uso de las firmas electrónicas se tomó las precauciones debidas para evitar fraudes en la empresa, es así que se asignó un usuario y clave personal al gerente de compras para que pueda realizar la aprobación del documento y así disminuir el tiempo de aprobación de la misma, eliminando el trabajo que se realizaba con los documentos físicos.

Una vez seleccionado las mejoras para el proceso se necesita verificar su validez, por lo tanto se requiere su implementación por un período de tiempo prudencial para determinar si fueron eficaces o no.

5.3. Control del Proceso

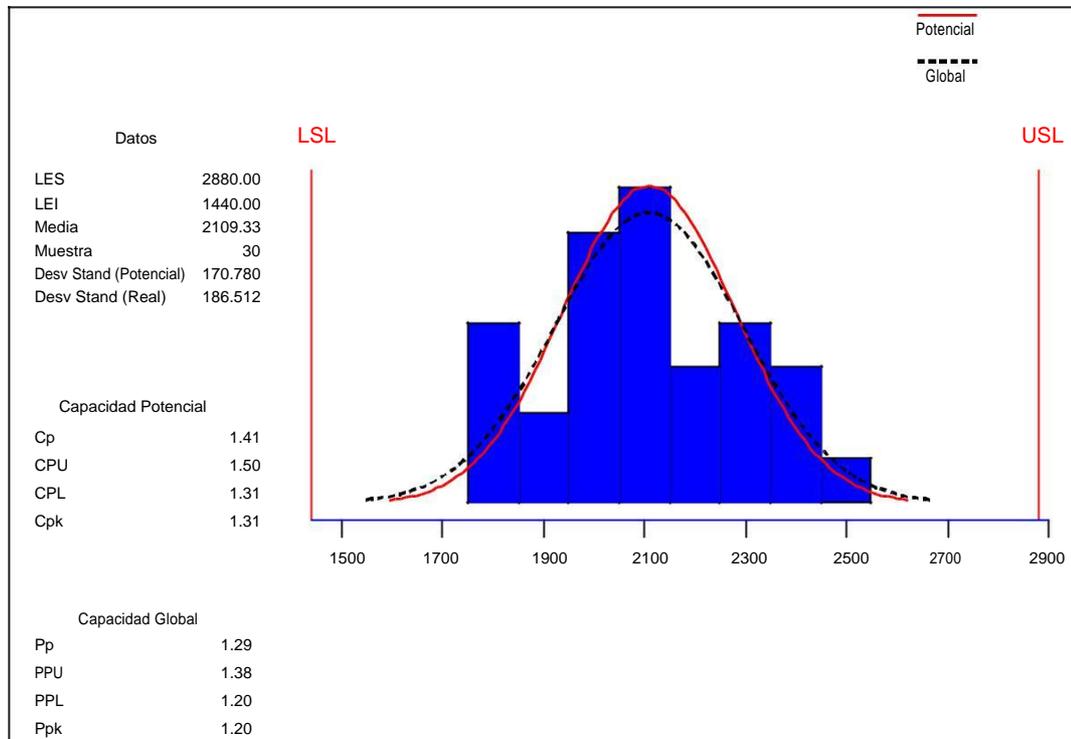
5.3.1. Resultado del Control

El control del proceso para este proyecto se lo realizó durante un período de 6 meses (Enero a Junio del año 2008), es decir que luego de las mejoras implementadas se espero un lapso de tiempo para determinar si las acciones tomadas fueron eficaces o no.

Para determinar la eficacia se tomó una muestra de los datos de 6 meses, aplicando el mismo método de muestreo que se describe en la sección 3.3 y se determina el índice de capacidad a estos datos.

En el gráfico 5.1 se observa los valores del índice de capacidad obtenido de la función Y planteada en la sección 3.3.1, aplicada al año 2008.

Gráfico 5.1.
“Análisis de Capacidad del Proceso Variable Y, año 2008”



Fuente: Empresa de Químicos
 Elaborado por: O. Franco, J. Hernández, A. Méndez

Como resultado se obtiene que tanto los índices $C_p = 1.41$ y $C_{pk} = 1.31$ son mayores que 1, es decir que la desviación estándar del proceso es aceptable por lo tanto se puede concluir que el proceso con las mejoras implementadas pasó de ser un proceso no capaz a uno capaz disminuyendo su dispersión.

Aunque no se pudo llegar a la meta de obtener un $C_{pk} \geq 1.33$ lo cual me define que el proceso está centrado, se puede rescatar

que consiguió un valor de 1.31 para el Cp_k lo cual es muy cercano a la meta.

Con respecto al resultado obtenido en el año 2007 con un $Cp = 0.26$ y un $Cp_k = -1.21$ se consiguió reducir la variabilidad del proceso dando como resultado un $Cp = 1.41$ y un $Cp_k = 1.31$.; además se pudo llegar al objetivo planteado en el proyecto de reducir el tiempo de entrega de las compras de 13 días en promedio en el año 2007 a 5 días en promedio en el año 2008.

5.3.2. Sistema de Control del Proceso

Para un eficaz seguimiento del control del proceso se plantea la realización de un sistema de control, que sea operado por la persona que este midiendo constantemente el proceso, el cual permita verificar mensualmente si se mantiene la métrica del tiempo de entrega de las compras determinada en el proyecto, que es de 5 días promedio.

El sistema está elaborado en Visual Basic 7.0 y enlazado con una base de datos gestionada en SQL Server 2000, más detalles del sistema se encuentran descrito en el anexo 7 "Manual de usuario".