

AAQ2228



UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
DIRECCIÓN DE POSTGRADO
POSTGRADO EN SISTEMAS DE LA CALIDAD

**MEJORA DEL NIVEL SIGMA EN EL PROCESO DE
ENVASADO DE LUBRICANTES DE LA PLANTA
ENVASADORA DE LUBRICANTES CARDÓN, MEDIANTE
LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Católica Andrés Bello para
optar al Título de Especialista en Sistemas de la Calidad

Autor:

Ing. María Yelitza Lara Escalante

C.I. 11.497.240

Tutor: MSc Jaime Pérez



RESUMEN

Una de las metodologías estadísticas utilizada para reducir la variabilidad de los procesos, producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente, y que contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad, es la Metodología Seis Sigma. El objetivo de este trabajo es implantar la Metodología Seis Sigma en el proceso de envasado de lubricantes de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón.

La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón ha venido implementando estándares de calidad orientados a mejorar continuamente sus procesos, pero el rango de variabilidad que presentan es muy amplio y no ha sido controlado del todo. La implantación de la metodología Seis Sigma le permitirá a la empresa mejorar la capacidad de los procesos, fabricar mejores productos sin necesidad de continuos ajustes y correcciones; disminuir la variabilidad de los procesos y alcanzar un nivel de calidad del 99,9997% que tendrá entre sus efectos, la reducción de los costos y el incremento de la eficiencia y competitividad de la Organización. Dicha implantación se enfocó en el proceso de envasado, ya que éste tiene gran variabilidad, en especial el llenado de los envases plásticos, debido a que se presentan una serie de paradas en las distintas fases del proceso.



La estrategia que se siguió en el desarrollo de este trabajo de grado para recabar los datos y la información requeridos, fue una combinación de la investigación Documental en conjunto con la de Campo. El diseño utilizado en este trabajo de grado fue del tipo explicativo. El desarrollo del trabajo de grado se realizó siguiendo los pasos exigidos por la Metodología Seis Sigma descritos en el Capítulo V. La metodología de implantación de Seis Sigma en general siguió el esquema **DMAMC** (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar).

La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón se encuentra, después de la implantación de la Metodología Seis Sigma, en un nivel de 3.58 sigma, lo cual representa un nivel de calidad aproximado de del 99,4%, con respecto al anterior que era de 3.37 sigma, lo cual equivale una mejora en la variabilidad del proceso de envasado.

Sin embargo, es necesario que toda la organización, comenzando desde la dirección hasta el operario del nivel jerárquico más bajo, esté involucrado y sea partícipe de los proyectos de mejora. Será imposible el logro de los objetivos para alcanzar una calidad Seis Sigma, si no existe motivación y entusiasmo en todos los niveles de la organización, por la implementación de métodos y mejoras para satisfacer a los clientes y alcanzar niveles superiores de calidad.



INTRODUCCIÓN

En los últimos años, diferentes organizaciones han incrementado su atención en la importancia de la calidad de sus productos y procesos, por lo cual han venido implementando métodos cuantitativos y estándares tendientes a mejorar, controlar y asegurar la calidad de todos los procesos de la organización, aumentar su competitividad, disminuir sus costos y satisfacer las necesidades y requerimientos de sus clientes. Tal es el caso de las normas ISO y programas de mejora continua como: Cero Defectos, Círculos de Calidad, KAIZEN, Calidad Total, Reingeniería, entre otros.

Seis Sigma constituye una de las últimas tendencias aplicadas a nivel industrial, destinada a mejorar la calidad de los productos y procesos, mediante la formación interna de empleados en todos los niveles de la organización en métodos estadísticos para, posteriormente, lograr su aplicación en proyectos seleccionados con criterios claros, de modo que se logren mejoras sustanciales en el diseño y optimización de los productos y/o procesos, reduciendo su variabilidad y con ello los costos de no calidad.

La iniciativa de implementar la metodología Seis Sigma en diferentes procesos, permite a las empresas lograr los objetivos propuestos en la búsqueda de la excelencia, ya que influye significativamente en la cultura, las operaciones y en la rentabilidad. El término Seis Sigma ha llegado a tener un



significado prácticamente idéntico al de Gestión de la Calidad Total para algunas empresas, mientras que otras lo consideran como “Gestión de la Calidad Total Avanzada” debido a sus características y a los resultados que se consiguen.

La mayoría de las empresas en el mundo se mueven entre uno y tres sigma, lo que significa, que deben mejorar sus productos o servicios, mejorar los tiempos de ciclo y reducir sus costos, mediante la reducción de la variación de sus procesos. La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón persigue la mejora continua de sus procesos basándose en estándares de calidad auditables que le permitan lograr mejores niveles de desempeño, reducir sus costos y defectos, e incrementar su productividad.

Sin embargo, la variación en los procesos constituye una de las fuentes principales de insatisfacción en la Planta, ya que no siempre se obtienen los mismos productos o servicios con el mismo nivel de conformidad a lo especificado y de forma consistente y repetitiva.

La metodología Seis Sigma asegura un 99.9997% de producción sin defectos y 3.4 defectos por millón de oportunidades. En la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón, ya se ha tomado la iniciativa para la pronta implantación de esta metodología.



En el presente trabajo de grado se muestra la mejora del nivel sigma en el proceso de envasado de la línea de envases plásticos y el contenido del mismo se ha distribuido en cuatro capítulos. El primer capítulo se hace referencia al problema formulado en la Planta, la justificación del estudio, su alcance y los objetivos establecidos para el desarrollo del mismo. En el segundo capítulo se describen aspectos generales de la organización, así como del proceso productivo de la Planta. En el capítulo III se presentan los aspectos teóricos ó bases teóricas acerca de la metodología Seis Sigma y las herramientas empleadas para reducir la variabilidad del proceso. En el cuarto capítulo se describe el marco metodológico utilizado en el desarrollo del trabajo, incluyendo el tipo y diseño de la investigación. Posteriormente en el Capítulo V se describe la implantación de la metodología Seis Sigma en la línea de envases plásticos de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. En este capítulo se evidencia la mejora del nivel sigma en el proceso de envasado durante un período de seis meses.

La implementación de esta metodología en la línea de envases plásticos es el primer paso para la implantación de Seis Sigma en todos los procesos de la Planta y constituye una guía para la implementación y desarrollo de nuevos proyectos de mejora y para la formación del personal que lidere estos proyectos (Champions, Black Belts, Green Belts) logrando así productos y procesos que cumplan con los requerimientos exigidos por los clientes, manteniendo un nivel de calidad "Seis Sigma".

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La única alternativa para que las empresas puedan competir en el mercado global actual consiste en mejorar progresivamente la calidad de sus productos y procesos, para incrementar la satisfacción de los clientes, reducir costos e incrementar sus utilidades. En este sentido, se debe reconocer que un problema de calidad, puede consistir en un problema de variación, que se presenta de manera excesiva con respecto a una especificación. Un sistema que presente una variación reducida en sus procesos, es un sistema eficiente, capaz de cumplir con las metas que se establezca la organización.

Una de las metodologías estadísticas utilizada para reducir la variabilidad de los procesos, producir los resultados esperados, con el mínimo posible de defectos, bajos costos y máxima satisfacción del cliente, y que contrasta con la forma tradicional de asegurar la calidad, es la Metodología Seis Sigma. Esta metodología se inicia en los años 80's como una estrategia de negocios y de mejoramiento de la calidad, introducida por Motorola, y ha sido ampliamente difundida y adoptada por otras empresas de clase mundial, tales como Ford, Sony, Black & Decker, entre otras.

El enfoque de Seis Sigma parte de la premisa de que las pérdidas de un producto son directamente proporcionales a la variabilidad de las características de calidad del mismo. Por ello, la mejora de la calidad debe estar orientada a reducir la variabilidad. La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón ha venido implementando estándares de calidad orientados a mejorar continuamente sus procesos, pero el rango de variabilidad que presentan es muy amplio y no ha sido controlado del todo.



La planta viene manifestando gran variabilidad en el tiempo de operación de la línea de envases plásticos, ya que se presentan una serie de paradas en las distintas fases del proceso, que interrumpen el normal funcionamiento de la línea y no permiten incrementar su rendimiento y eficiencia, así como incumplir algunas veces con la producción programada. Entre estas paradas se encuentran las que son motivadas por fallas en el desplazamiento de los envases y en el empacado de los mismos; en el primer caso existen envases vacíos que caen en el distribuidor que los lleva a la máquina llenadora, y envases que se trancan en el sistema divisor. En el segundo caso el plástico que envuelve a los paquetes muchas veces no los cubre y se acumula, por lo cual debe detenerse el proceso.

De lo expuesto anteriormente surgen las siguiente interrogantes: ¿Cuál es el nivel sigma del proceso? ¿La implantación de la metodología Seis Sigma permitirá la mejora de la variabilidad del proceso de la línea de envases plásticos de la Planta Envasadora de Lubricantes?.

Estas interrogantes surgen porque aún se desconoce el nivel sigma del proceso, y si éste se comporta dentro del rango de tres sigma se producen casi 67000 defectos por millón de oportunidades (DPMO), que en comparación con los procesos de seis sigma, resulta muy deficiente ya que éste establece un máximo de hasta 3,4 defectos por millón.

El nivel de calidad que se obtiene con la metodología Seis Sigma se aproxima al ideal del “cero defectos” y puede ser aplicado no solo a procesos industriales de manufactura, sino también en procesos transaccionales y comerciales de cualquier tipo.



JUSTIFICACION

Las exigencias cada vez mayores por parte de los clientes en cuanto a garantías en el control de los procesos y calidad de los productos envasados y distribuidos han propiciado en la Gerencia de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón, la búsqueda de estándares de calidad cada vez más exigentes, que permitan obtener el mejoramiento continuo de sus procesos con miras a incrementar su reconocimiento y aceptación en los mercados nacionales e internacionales.

Es por esto, que la Planta continuamente está mejorando sus estándares de calidad y aplica las técnicas necesarias para garantizar la satisfacción de sus clientes. Sin embargo, los procesos que se desarrollan en la Planta, pueden tender a comportarse dentro del rango de tres sigma, lo cual equivale a un nivel de calidad de 93,32%. La implantación de la metodología Seis Sigma le permitirá a la empresa mejorar la capacidad de los procesos, fabricar mejores productos sin necesidad de continuos ajustes y correcciones; disminuir la variabilidad de los procesos y alcanzar un nivel de calidad del 99,9997% que tendrá entre sus efectos, la reducción de los costos y el incremento de la eficiencia y competitividad de la Organización.

Otro aspecto importante de mencionar es que la empresa fabricante de automóviles FORD, constituye uno de los principales clientes de la Planta, teniendo establecido dicha organización, para sus proveedores, el cumplimiento de una serie de lineamientos referidos a la Norma de Calidad QS-9000, que la empresa de automóviles mantiene para sus procesos de producción. El cumplimiento de estas exigencias se ve recompensado por la entrega de un premio denominado Q1, y para la revalidación del mismo en el año 2002, la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón, deberá reducir la variabilidad de sus procesos, lo cual podrá obtenerse mediante la implantación de la metodología Seis Sigma.



OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo General

Implantar la Metodología Seis Sigma en el proceso de envasado de lubricantes de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón.

Objetivos Específicos

- Identificar el subproceso de envasado de lubricantes que presenta el mayor potencial de mejora de su capacidad.
- Determinar las variables críticas del subproceso identificado que inciden en su nivel sigma de capacidad.
- Definir un sistema de medida válido y confiable para la determinación de la capacidad del proceso.
- Implementar, mediante el uso de métodos estadísticos, las mejoras requeridas para optimizar el proceso.
- Evaluar los resultados y las mejoras obtenidas mediante la implementación de la metodología Seis Sigma.



ALCANCE

El estudio de la implantación de la metodología Seis Sigma se enfocó en el proceso de envasado, ya que éste presenta gran variabilidad, en especial el llenado de los envases plásticos, debido a que se presentan una serie de paradas en las distintas fases del proceso. Por lo que, se determinaron las variables críticas del subproceso que inciden en el nivel sigma de capacidad, se definió un sistema de medida válido y confiable para la determinación de dicha capacidad, se implementó mejoras para optimizar el proceso y se evaluó resultados obtenidos mediante la implementación de la metodología Seis Sigma.

CAPÍTULO II

PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA



II. DESCRIPCIÓN DE LA ORGANIZACIÓN

II.1. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA

La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón es una unidad de manufactura puesta en operación en el año 1982 bajo la exfilial MARAVEN de PDVSA. Actualmente es propiedad de DELTAVEN, y operada por la Gerencia de Suministro Cardón del Centro de Refinación Paraguaná. Fue diseñada para preparar, envasar y despachar una amplia variedad de aceites y bases lubricantes, en botellas plásticas, pailas, tambores y cisternas, a fin de abastecer tanto el mercado nacional como el internacional. La instalación es una planta de mezcla por lotes, en la cual los componentes principales son bombeados simultáneamente a los distintos cabezales de mezcla, homogenizándose la misma en tanques especiales. Otros componentes en cantidades menores son suministrados en tambores, para ser añadidos a las mezclas. Una vez completado este proceso, la mezcla se almacena y luego pasa a las líneas de llenado.

La sección de mezclas de la planta está concebida para producir 200.000 ton/año (5.500 b/d en un turno de labor), distribuidos en 4 grupos o familias de aceites básicos y 56 aditivos. Esta sección está diseñada bajo el concepto de medición simultánea de aceites lubricantes. La sección de envasado ha sido diseñada para producir 240.000 ton/año (5.550 b/d en un turno de labor). Es de considerar



que la demanda actual, en un mercado abierto, está cubierta por la anterior premisa de diseño. La planta cuenta, además, con facilidades de laboratorio para el Control y Aseguramiento de la Calidad de los insumos terminados y un sistema computarizado de información y control de la producción.

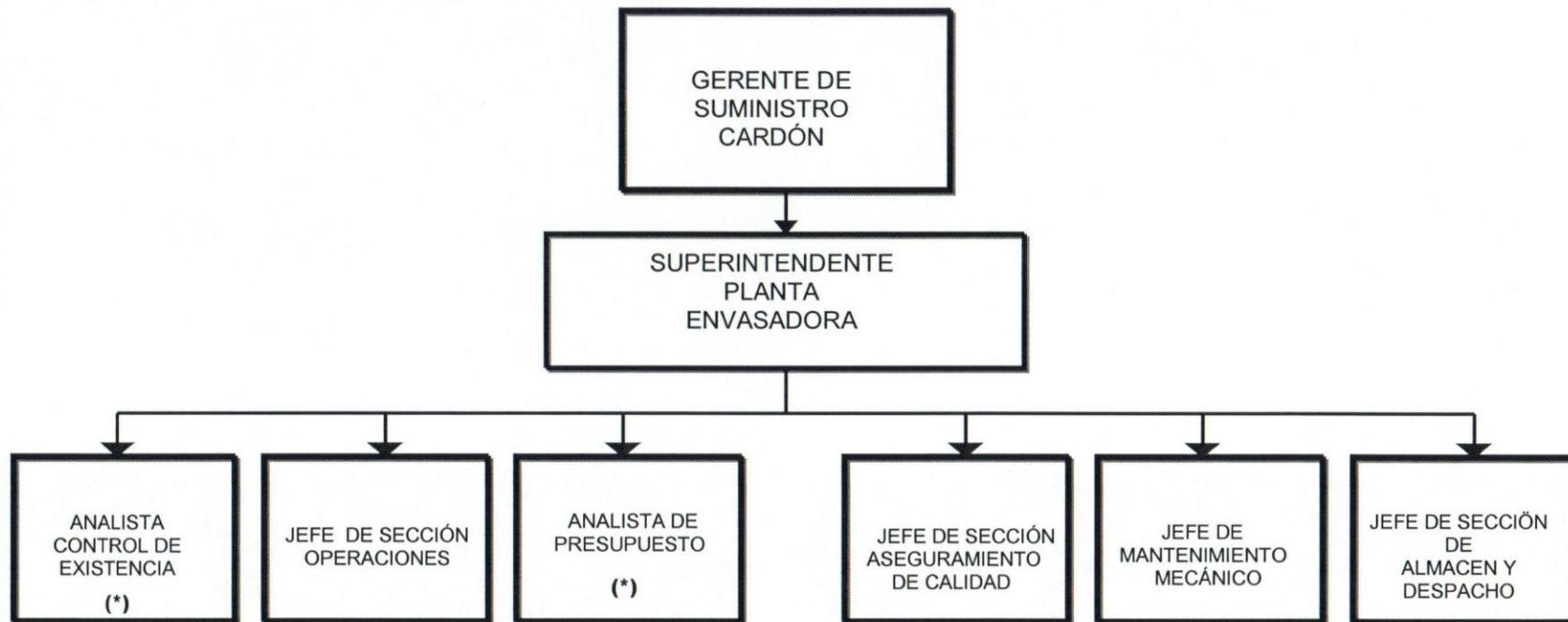
La planta de mezclado y envasado de lubricantes está ubicada en el extremo noroeste de la Refinería de Cardón fuera del área industrial.

II.2. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA

La Planta de Mezcla y Envasado Cardón está conformada por una Gerencia de Suministro, que coordina y supervisa las actividades de la Superintendencia de La Envasadora, ésta a su vez coordina, supervisa y controla las actividades realizadas por las Secciones de Almacén y Despacho, Mantenimiento, Aseguramiento de la Calidad, Operaciones y Control de Existencia. La figura N° 1 muestra la Estructura Organizacional de cargos de la Planta.



FIGURA N° 1. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



(* UN SOLO

FUENTE: CENTRO DE REFINACIÓN PARAGUANÁ – CARDÓN

(Año 2002)



II.3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS DE MEZCLA Y ENVASADO DE LUBRICANTES

La Planta comprende, desde un punto de vista operacional y funcional, las siguientes secciones:

- Recibo y almacenamiento de aceites básicos.
- Recibo y almacenamiento de aditivos.
- Sección de Mezcla.
- Estación de mangueras.
- Despacho a granel (llenado de cisternas)
- Sección de Envasado.

Las secciones de recibo y almacenamiento de aceites básicos y aditivos comprende las instalaciones necesarias para manejar dichos insumos, que son las materias primas para preparar los aceites lubricantes.

La sección de mezcla comprende todas las instalaciones para transferir los aceites básicos y aditivos para la preparación de las mezclas y las facilidades para el almacenamiento de los lubricantes terminados. Las instalaciones de la sección de mezcla están agrupadas en tres sub secciones: Mezcla MAXI, Mezcla MIDI y Mezcla Especial.



La estación de mangueras sirve de enlace entre la sección de mezcla y las facilidades de despacho y envasado de lubricante.

La sección de despacho a granel comprende un cargadero con cuatro líneas de llenado de cisternas con todas las facilidades requeridas para el llenado de las mismas y el control de las cantidades despachadas.

La sección de envasado comprende todas las máquinas y accesorios necesarios para un envasado rápido y eficiente de lubricantes en envases plásticos (0.946 lts), pailas (19 lts) y tambores (208 lts).

II.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA LÍNEA DE ENVASES PLÁSTICOS

El proceso de la Línea de Envases Plásticos se divide en cuatro fases:

- Despaletizado
- Llenado
- Empacado
- Paletizado

Fase I Despaletizado

El montacarguista trae desde el almacén las paletas que contienen los envases vacíos. Las coloca en la máquina Despaletizadora, la cual mediante un elevador hace llegar los envases al sistema succionador que retira el cartón que



separa cada camada de envases, luego por medio de un brazo automático se acercan los envases a la guía que los conduce a los canales del distribuidor para posteriormente ser llenados. Este distribuidor consta de cuatro canales a la salida de la Despaletizadora hasta un sistema de cuatro compuertas, el cual va sacando de 19 envases por compuerta, ya que existe un solo canal de envases desde este sistema hasta la entrada de la máquina Llenadora.

Fase II Llenado

Los envases vacíos entran a la máquina llenadora por medio de un tornillo sin fin que posiciona los envases con la estrella que tiene las cavidades del tamaño de los envases y los dirige a la estación de llenado. El producto (aceite) llega a la máquina por medio de tuberías que están conectadas a los diferentes tanques. La máquina Llenadora consta de un contenedor que distribuye el producto a 56 válvulas que llenan los envases. Posteriormente los envases pasan la máquina Tapadora, la cual permite tapar 14 envases. Al salir de esta máquina los envases pasan al Sistema Divisor, el cual separa los envases en cuatro canales, de seis envases para cada canal.



Fase III Empacado

Los cuatro canales conducen los envases hasta la máquina empacadora, pero en este trayecto los envases pasan por un sistema que posee dos tornillos sin fin en dos de los canales, estos tornillos colocan los envases en la posición contraria a la de los otros canales, ya que esta es la posición adecuada de los envases para ser empacados. La cinta transportadora conduce los envases al Baumer. Esta máquina cubre los envases con plástico, el cual se adhiere posteriormente a los envases al pasar por el horno. Cada paquete contiene 12 envases, posteriormente los paquetes son trasladados a la máquina Paletizadora mediante un sistema de rodillos.

Fase IV Paletizado

En la máquina Paletizadora se colocan los empaques en una paleta que luego será trasladada en un montacarga al almacén de productos terminados. En cada paleta se colocan 60 empaques, 12 empaques por camada. La paleta sube mediante un elevador automático y un brazo que funciona de igual manera va colocando los empaques en la posición correspondiente en la paleta. Al colocarse los doce empaques, el sistema hace bajar la paleta y se volverá a



subir al estar ubicados nuevamente los siguientes doce empaques.

Los productos que se envasan en esta línea se clasifican en dos categorías, aceites utilizados para los motores: de automóviles, enfriados por agua (Ej. Lanchas) y enfriados por aire (Ej. Motos) y aceites utilizados para transmisiones: automáticas y manuales y diferenciales. A continuación se mencionan estos productos:

Aceites para Motor:

- De automóviles: Extra Monogrado SAE 50
 Extra Multigrado SAE 20W-50
 Supra SJ
 Supra SH
 Supra premium SL

- Enfriados Fuera de Borda TC-WII
por agua: Fuera de Borda TC-w3

- Enfriados: Dos tiempos
por aire:



Aceites para Transmisiones:

- Manuales Translub EP SAE 85 W – 140

y diferenciales: Translub EP SAE

- Automáticas Transfluido D II

Transfluido D III

CAPÍTULO III

MARCO TEÓRICO



III. MARCO TEORICO

La letra griega Sigma, asociada a la desviación típica o estándar, se utiliza en estadística para representar la dispersión de datos en una población o en una muestra.

En la Gestión de Calidad, Sigma representa una medida de la capacidad de elaborar productos o servicios conformes con los requisitos o especificaciones aplicables, pero Seis Sigma es algo más.

Desde una filosofía de gestión, orientada a la perfección (ausencia de fallos) o, lo que es lo mismo, a la eliminación sistemática de todas las causas de ineficacia e ineficiencia de las organizaciones, un objetivo a alcanzar, una medida del rendimiento, etcétera, el término Seis Sigma es, hoy en día, mucho más amplio que el utilizado tradicionalmente en el Control de Calidad.

El término Seis Sigma ha llegado a tener un significado prácticamente idéntico al de Gestión de la Calidad Total para algunas empresas, mientras que otras lo consideran como "Gestión de la Calidad Total Avanzada" debido a sus características y, sobre todo, a los resultados que se consiguen. A continuación se presenta como ha sido definida Seis Sigma por diferentes autores.



III.1 SEIS SIGMA. Definiciones

III.1.1 Según Barba, Boix, Cuatrecasas

La iniciativa Seis Sigma está destinada a mejorar la calidad de los productos y servicios, mediante el uso de técnicas estadísticas, considerando además Seis Sigma no sólo como una iniciativa estratégica, sino como el centro de sus esfuerzos internos de mejora en búsqueda de la excelencia empresarial y como consecuencia de una mayor competitividad; de ese modo Seis Sigma llega a ser la forma en que opera la empresa.

III.1.2 Según Lean-6sigma.com

Seis Sigma se define como "Un Programa que ayuda a eliminar, casi por completo, los defectos de cada uno de los productos, procesos, transacciones o servicios", técnicamente se define como no más de 3.4 defectos o errores por cada millón de oportunidades u ocurrencias en cualquier proceso, producto o servicio.

Es una Metodología Estructurada que incrementa la Calidad a través de la mejora continua de los procesos involucrados



en la producción de un bien o de un servicio, tomando en cuenta todos los aspectos importantes de un negocio: administrativo, servicio de entrega, diseño, producción, y satisfacción del cliente. Utilizando el **ciclo MAIC** y **los diez** pasos como metodología de la solución de problemas

Es una de las formas más populares de medir el desempeño en la manufactura y servicios, y también es una práctica utilizada por las grandes compañías o corporaciones.

Es una filosofía en la manera de hacer negocios (de cualquier producto o servicio) englobado en las metodologías de la PREVENCIÓN DEL ERROR en vez de la DETECCIÓN, a través del uso de herramientas estadísticas que pueden variar desde una gráfica de Pareto hasta el Diseño de Experimentos DOE.

Es una metodología Lógica y/o disciplina de pasos que ofrecen herramientas probadas para la solución de problemas.

- Es un parámetro basado en la desviación estándar.



- Es la visión de menos variación y/o defectos en lo que hacemos.
- Es un parámetro de comparación común entre compañías iguales o diferentes.
- Es una filosofía de hacer la cosas de una manera fácil, y procesos robustos para reducir las fallas.

III.1.3 Según Seis-Sigma.com

Seis sigma es una filosofía de trabajo y una estrategia de negocios, la cual se basa en la satisfacción del cliente, es un manejo eficiente de los datos y metodologías y diseños robustos, que eliminar la variabilidad en los procesos y alcanzar un nivel de defectos menor o igual a 3,4 por millón. Adicionalmente, otros efectos obtenidos son: reducción de los tiempos de ciclo, reducción de los costos, alta satisfacción de los clientes y más importante aún, efectos dramáticos en el desempeño de la organización.

III.1.4 Según 1er Simposio Metodología Seis Sigma

Es una metodología estructurada que incrementa la Calidad a través de la mejora continua de los procesos involucrados en la producción de un bien o de un servicio, tomando en cuenta todos los aspectos importantes de un negocio:



administrativo, servicio de entrega, diseño, producción, y satisfacción del cliente.

III.1.5 Según Seissigma.com

El concepto está basado en la utilización de la estadística tal y como han establecido numerosos gurus de la gestión empresarial. Basado en los conceptos de Shewhart, Deming, Juran y Taguchi y desarrollado por Mikel Harry: " A corto plazo aporta soluciones rápidas a problemas sencillos o repetitivos; a largo plazo aporta una metodología de diagnóstico, diseño robusto, establecimientos de tolerancias, al tiempo que aporta un medio sencillo de comunicación y establecimiento de metas. Aporta herramientas de mejora: diseño de experimentos, análisis de regresión, tolerancias, diseño robusto y otros métodos sistemáticos para reducir la varianza.

III.2 HISTORIA DE SEIS SIGMA

A principios de los años ochenta, las empresas aún medían su calidad en porcentajes (el número de defectos detectados en cien piezas). Sin embargo, en muchas industrias el nivel de defectos había mejorado tanto como para permitir contabilizarlo ya no en porcentajes, sino en defectos por millón (dpm) de piezas.



En 1985, el Dr. Mikel Harry, ingeniero y estadístico en la División Electrónica del gobierno de Motorola Inc., en Phoenix, Arizona (E.E.U.U), publicó un artículo en el que describía la relación entre la fiabilidad de un producto y el nivel de reparación que tenía ese producto durante su proceso de fabricación. Por eso, junto con otros ingenieros de Motorola, diseñó una iniciativa de mejora de calidad basada en eliminar las causas de los problemas antes de que fuese necesario identificar y reparar los defectos, mediante el uso de métodos estadísticos. Curiosamente, fue la División de Comunicaciones de Motorola, dirigida por G. Fisher, la que lanzó un programa de Calidad Total con el nombre de Six Sigma® (Seis Sigma).

Motorola iba a aplicar esta metodología a procesos distintos de los de fabricación, en ámbitos administrativos y financieros. De modo que en enero de 1987 el entonces presidente de Motorola, Bob Galvin, se atrevió a anunciar el objetivo que se convertiría en el más famoso de los programas de calidad en la industria norteamericana:

"Lograr un nivel de calidad Seis Sigma en nuestros productos y servicios equivalente a sólo 3,4 defectos por millón para el año 1992."



Para Motorola, la iniciativa Seis Sigma representaba un objetivo sin precedentes porque representaba lograr en tan sólo cinco años reducir unas 10.000 veces la tasa de defectos existente entonces en la mayoría de productos y servicios de la empresa, evaluada en unos 35.000 defectos por millón. Por supuesto que Motorola no logró el nivel 6 Sigma en 1992 en todos sus productos o servicios. Algunos lo lograron, otros no, pero la compañía logró un nivel promedio de unos 150 dpm.

Durante los años noventa varias corporaciones multinacionales han aplicado esta iniciativa de calidad de un modo riguroso y disciplinado con un éxito notable, reduciendo sus costos de calidad de un modo tan drástico que han compensado los costos elevados de la formación inicial. Algunas de ellas han sido Sony Corp., General Electric, Allied Signal, Bombardier Aerospace, Raytheon, Texas Instruments, Kodak, Whirlpool, Johnson & Johnson, Black & Decker, Federal Express, entre otras.

III.3 CALIDAD TRADICIONAL vs. SEIS SIGMA

Qué hace diferente a Seis Sigma de la Calidad Tradicional?. No están soportadas prácticamente por las mismas herramientas y métodos conocidos por los practicantes de la Calidad Total , TQM,



etc. ?. Las diferencias quizá residen en la forma de aplicar estas herramientas y su integración con los propósitos y objetivos de la organización, como un todo. La integración y participación de todos los niveles y funciones dentro de la organización es factor clave, respaldado por un sólido compromiso por parte de la alta Gerencia y una actitud proactiva, organizada y sistemática en busca de la satisfacción tanto de las necesidades y objetivos de los clientes, como de las necesidades y objetivos de la propia organización.

En el Cuadro N° 1, se resumen algunas de las diferencias más notables entre la forma tradicional de enfocar la calidad en las organizaciones y la forma de enfocarla a través de la estrategia Seis Sigma.

Cuadro N° 1

Calidad Tradicional vs. Calidad Seis Sigma

| CALIDAD TRADICIONAL | SEIS SIGMA |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Está centralizada. Su estructura es rígida y de enfoque reactivo. | Está descentralizada en una estructura constituida para la detección y solución de los problemas. Su enfoque es proactivo. |
| Generalmente no hay una aplicación estructurada de las herramientas de mejora. | Se hace uso estructurado de las herramientas de mejora y de las técnicas estadísticas para la solución de los problemas. |

...../.....



Cuadro N° 1 (Cont...)

Calidad Tradicional vs. Calidad Seis Sigma

| CALIDAD TRADICIONAL | SEIS SIGMA |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| No se tiene soporte en la aplicación de las herramientas de mejora. Generalmente su uso es localizado y aislado. | Se provee toda una estructura de apoyo y capacitación al personal, para el empleo de las herramientas de mejora. |
| La toma de decisiones se efectúa sobre la base de presentimientos y datos vagos. | La toma de decisiones se basa en datos precisos y objetivos: "Sólo en Dios creo, los demás traigan datos". |
| Se aplican remedios provisionales o parches. Sólo se corrige en vez de prevenir. | Se va a la causa raíz para implementar soluciones sólidas y efectivas y así prevenir la recurrencia de los problemas. |
| No se establecen planes estructurados de formación y capacitación para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas. | Se establecen planes de entrenamiento estructurados para la aplicación de las técnicas estadísticas requeridas. |
| Se enfoca solamente en la inspección para la detección de los defectos (variables clave de salida del proceso). Post- Mortem. | Se enfoca hacia el control de las variables clave de entrada al proceso, las cuales inducen las salidas o productos deseados del proceso |

Fuente: Seis Sigma. Una Iniciativa de Calidad Total. Gestión 2000.com (Año 2000)

III.4 FILOSOFIA

La filosofía de Seis Sigma está fundamentada en la visión de la calidad como una herramienta para el logro de la productividad con lo que se obtienen altos niveles de rentabilidad y por ende competitividad.



Esta concepción se considera enfocada al proceso ya que orienta al sistema hacia el control de la variabilidad, al cumplimiento de las especificaciones, hacia optimización de procesos y sus actividades, hacia la productividad y la eficiencia.

Ofrecer mejores productos o servicios, de una manera Más Rápida y a Más Bajo Costo, mediante la reducción de la variación de los procesos.

III.5 OBJETIVOS DE SEIS SIGMA

- Lograr la excelencia en Competitividad a través de la mejora continua de los procesos.
- Reducir la variación de cualquier proceso.
- Incrementar el margen de ganancia.
- Capacitar al personal en la Prevención del Error.
- Mejorar hasta acercarse a una condición de cero defectos en las siguientes áreas:
 - Diseño de productos
 - Producción y manufactura
 - Control de Calidad
 - Procesos de Despacho
 - Servicio de Información al Cliente
 - Servicio de Atención al Cliente



A su vez la metodología Seis Sigma hace un análisis de la Estructura Organizacional de la Empresa de los procesos de toma de decisión y jerarquiza las prioridades.

III.6 METODOLOGIA SEIS SIGMA

1. **Definir**, mediante la identificación y selección de los proyectos de mejora los que garantice mayor impacto.
2. **Medir**, corresponde a la medición de las características claves de los productos, así como los parámetros de procesos.
3. **Analizar**, determinar las causas claves y los procesos determinantes.
4. **Mejorar**, cambiar los procesos y optimizar su evaluación.
5. **Controlar**, medición continua y evaluación permanente del comportamiento.

Seis Sigma es una metodología rigurosa que utiliza herramientas y métodos estadísticos, para **Definir** los problemas y situaciones a mejorar, **Medir** para obtener la información y los datos, **Analizar** la información recolectada, **Incorporar** y emprender mejoras a los procesos y finalmente, **Controlar** o rediseñar los procesos o productos existentes, con la finalidad de alcanzar etapas óptimas, lo que a su vez genera un ciclo de mejora continua.



La metodología formal de aplicación de Seis Sigma, en general, sigue este esquema: **DMAIC**; sin embargo, algunos practicantes prefieren incorporar otras etapas adicionales, tales como: **Reconocer** la situación o problema, **Estandarizar** los nuevos procesos en toda la organización, y finalmente, **Integrar** los cambios o soluciones a toda la organización.

Los elementos clave que soportan la filosofía Seis Sigma y que aseguran una adecuada aplicación de las herramienta, son las siguientes:

- Identificación de los elementos **Críticos para la Calidad (CTQ)**, de los clientes **Externos**.
- Identificación de los elementos **Críticos para la Calidad (CTQ)**, de los clientes **Internos**.
- Realización de los análisis de los modos y efectos de las fallas (**AMEF**).
- Utilización del **Diseño de Experimentos (DOE)**, para la identificación de las variables críticas.
- Hacer **Benchmarking** permanente y establecer los objetivos a alcanzar, sin ambigüedades.



III.7 HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN SEIS SIGMA

Dentro del arsenal de herramientas utilizadas para soportar Seis Sigma, se encuentran casi todas las conocidas en el mundo de la Calidad tradicional, TQM, etc. Se pueden mencionar entre otras:

- **Captura de Defectos**

Ayuda a identificar las "oportunidades" y provee una guía donde la mejora continua es redituable.

- **CTQ: Característica Crítica del Cliente**

Una CTQ es una Característica de un Producto o Servicio, la cual satisface un Requerimiento Crítico del cliente o un Requerimiento del Proceso del Cliente.

Las CTQ's son los elementos básicos que se usarán en la dirección de la medición del proceso mejora y control.

Es crítico asegurarse de que los CTQ's seleccionadas representan exactamente lo que es importante para el cliente

- Entregas a tiempo
- No defectos
- Area de trabajo segura
- Productos sin daño



- Embarcar a tiempo
- Cuarto de hotel limpio
- Pagos a tiempo

- **Mapas de Procesos**
 - Provee visibilidad a las X's y Y's de como el proceso está en realidad
 - Provee puntos de lanzamientos para AMEF, MSE y Diseño de Experimentos

- **Mapas de Pensamiento:**

El mapa de pensamiento es una representación gráfica de todas las decisiones tomadas por un individuo para solucionar un problema y/o desarrollar un proyecto. Incluye preguntas y respuestas sobre la planeación.

 - Es una representación gráfica de los pensamientos del proceso.
 - Es una estrategia desarrollada en papel para registrar la estrategia.
 - Es la documentación de los pensamientos y conocimientos del proceso obtenidos o necesarios para solucionar el problema.



- Es un mapa para entender la estrategia y planeación de un proyecto.

- **Análisis de Modos de Efectos y Fallas (AMEF)**
 - Identifica aquellas fallas con el número de prioridad de riesgo (NPR) mayor basado en el valor de severidad, probabilidad de ocurrencia y detección
 - Provee una base para el mejoramiento del proceso a largo plazo.

- **Evaluación del Sistema de Medición (MSE)**
 - Provee una rápida evaluación de cualquier sistema de medición con la comparación de la variación del sistema de medición y la variación del producto

- CIP, Procesos de Mejora Continua.
- Diseño/Rediseño de Procesos.
- Análisis de Varianza, ANOVA.
- Cuadro de Mando Integral, BSC.
- La Voz del Cliente, VOC.
- Pensamiento Creativo.
- Diseño de Experimentos, DOE.
- Gerencia de los Procesos.



- Control Estadístico de Procesos, SPC.

III.8 IMPLEMENTACION DE SEIS SIGMA

Esta filosofía promueve la utilización de herramientas y métodos estadísticos de manera sistemática y organizada, para el logro de mejoras dramáticas y medibles por su impacto financiero. El ingrediente secreto que hace que funcione, reside en la infraestructura que se establece en la organización. Esta infraestructura, es la que motiva y produce una cultura "**Seis Sigma**" que junto con un "**Proceso de Pensamiento**" en toda la organización, genera un estilo de "**Gerencia Basada en Conocimientos**".

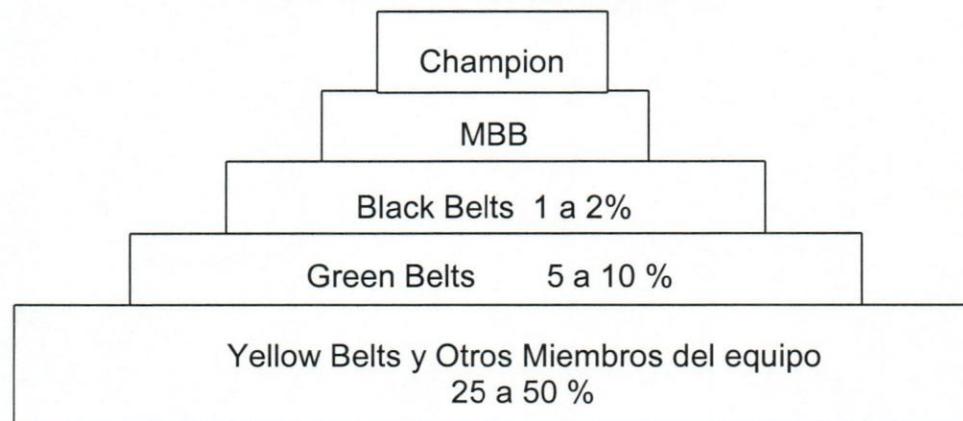
El soporte y compromiso por parte de la Alta Gerencia es vital y fundamental, para lo cual se entrenan y definen los **Maestros** (también conocidos como **Champions**), quienes son los dueños de los proyectos críticos para la organización. Para desarrollar estos proyectos se escogen y preparan **Expertos** (conocidos como: **Master Black Belt, Black Belt, Green Belt**), quienes se convierten en agentes de cambio para impulsar y desarrollar estos proyectos, en conjunto con los equipos de trabajo seleccionados para los mismos.



- **Yellow Belt (Cinta Amarilla):** Son personas con el conocimiento limitado de las herramientas técnicas de Sigma, y participa como miembro del equipo formado.
- **Green Belt (Cinta Verde):** Es una persona con el conocimiento de la metodología y de las habilidades del Seis Sigma el cual participa en un equipo de proyectos.
- **Champion (Campeón):** Es la persona mayor dentro de la compañía, ejemplo Director de Manejo. El papel del campeón es derivar estrategias de negocios, utilizar y dar dirección a los equipos de proyectos proporcionando todo el apoyo necesario.
- **Black Belt (Cinta Negra):** Es la persona que da el arranque al proyecto y es el responsable de la disposición y del manejo de la gerencia del proyecto y de conducir al equipo a conseguir los resultados deseados.

Figura N° 2

ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL



Fuente: Seis Sigma. Una Iniciativa de Calidad Total. Gestión 2000.com (Año 2000)



El objetivo global es a largo plazo, pero las organizaciones se ven obligadas a presentar resultados a corto plazo también, mientras trabajan a largo plazo, Seis Sigma permite cumplir simultáneamente con ambos objetivos a la vez.

Mejora de Procesos

Medir es necesario pero no suficiente, a la larga, para estimular a las personas a que realicen cambios. El análisis de los defectos por millón y de sus correspondientes valores sigma dará una orientación acerca de cuales son los procesos que tienen mayores potenciales de mejora; una vez que se detecte donde están los potenciales de mejora se debe poner en práctica los instrumentos y capacidades para mejorar estos procesos.

Mejora de Productos

Seis Sigma permite establecer una sistemática mejora continua de productos; pero con Seis Sigma se puede ir mucho más allá, pues es un apoyo excelente para el diseño robusto de productos y para una dinámica de simplificación de productos.

Los ingenieros de diseño, para desarrollar sus productos robustos y simplificados, necesitan conocer la capacidad de los procesos, con



ello pueden reducir los costes de fabricación al tiempo que diseñan productos con menor variabilidad en su proceso de fabricación.

III.9 BENEFICIOS DE SEIS SIGMA

En estos tiempos la tecnología está al alcance de todos, el liderazgo en competitividad está orientado a exceder las expectativas del cliente y eficiencia de las compañías. Seis Sigma es una inversión en capital intelectual de las compañías. La creatividad, el aprendizaje permanente y el aumento de competencias que supone el proceso Seis Sigma es un beneficio adicional para las empresas.

Desde el punto de vista tangible éstos son algunos de los beneficios:

- ✓ Reducción de costos sobre la base de proyectos de mejora.
- ✓ Seis sigma reduce la variación en los procesos.
- ✓ Seis sigma se permite el lujo de un entendiendo bueno de requisitos del cliente.
- ✓ Seis sigma mejora entrega y actuación de calidad.
- ✓ Seis sigma proporciona información que permite manipular las variables críticas de entrada del proceso para lograr los requerimientos del cliente.
- ✓ Seis sigma desarrolla procesos y productos robustos.



- ✓ Seis sigma maneja las mejoras rápidamente con los recursos interiores.
- ✓ Mayor conocimiento de los procesos.
- ✓ Incrementa la satisfacción del cliente.
- ✓ Tener la metodología de solución de problemas para cualquier tipo de problemas.

III.10 MEDICIÓN DE SEIS SIGMA

La calidad es cuantificable, y debe de cuantificarse. Para medir la calidad hay que expresar la calidad en cifras y actuar en función de los valores medidos, estos dos principios tan simples dan lugar a una metodología de mejora continua de la calidad.

Esto es cierto para la fabricación de productos, para la prestación de servicios y para el diseño de nuevos productos.

Para establecer una sistemática Seis Sigma es necesario que se establezcan ciertos parámetros de medida cuyo conjunto aportara el valor sigma de los procesos, productos, proveedores, talleres, departamentos etc. Es de gran utilidad expresar estos valores en una gráfica en función del tiempo.



A continuación se detallará como se calculan los valores sigma a partir de las medidas de defectos por millón. Antes de iniciar la sistemática de medida debe informarse a todos los empleados de la sistemática y los planes y metas. Es especialmente importante para los dueños de procesos.

¿Cómo cuantificar la calidad en cifras?:

Cada uno de los parámetros que se vayan a medir puede implicar una o varias oportunidades, por ello se expresaran los defectos por millón de oportunidades de la forma:

$$DPMO = [S \text{ defectos} / S \text{ oportunidades}] \times 1.000.000$$

Defecto en el sentido amplio de probabilidad de defecto.

Cuando se contabilizan varios dpmo se puede calcular un dpmo global y este dpmo se puede convertir en valor sigma.



III.11 INTERROGANTES ACERCA DE SEIS SIGMA

III.11.1 Qué se requiere para implantar Seis Sigma?

Primero que nada reconocer la necesidad de emprender un cambio organizacional importante, que apoyado por la estrategia Seis Sigma produzca los cambios requeridos que garanticen la permanencia en el tiempo de la organización. En segundo lugar, el apoyo y soporte decidido de la alta Gerencia y Directiva de la organización, que promueva, incentive y guíe en el desarrollo de cada una de las etapas de esta estrategia, además del compromiso incondicional para asegurar el éxito.

III.11.2 Cuánto tiempo toma implantar Seis Sigma?

Depende del tipo de organización y del nivel al cual se dirija la iniciativa. Generalmente un proceso de este tipo puede tomar en promedio unos tres a cinco años, pero si se inicia en una división de negocios en particular y se enfoca adecuadamente, en unos seis a nueve meses se puede comenzar a experimentar los primeros resultados, una vez completadas las primeras fases de medición y análisis.



III.11.3 Cuánto cuesta implantar Seis Sigma?

Depende de la organización y del nivel al cual quiere aplicar. Lo más importante es, una vez tomada la decisión, ir con esta estrategia, asignar un presupuesto exclusivo para la iniciativa y tomar en cuenta lo siguiente: costo directo de los individuos dedicados 100% a Seis Sigma; costo indirecto por el tiempo utilizado por los ejecutivos, gerentes, miembros de equipo y otros dedicados parcialmente a estas actividades; costo de entrenamiento y consultoría y finalmente los costos de implementación de la de las mejoras y nuevas soluciones a aplicar. La experiencia indica que, en promedio, cada proyecto Seis Sigma puede generar retornos o ahorros entre 150.000 a 175.000 dólares, con muchos casos en donde se alcanzan 230.000 dólares por proyecto.

III.11.4 Cuántos expertos se deben entrenar?

No existe una regla genérica al respecto, pero la experiencia de algunas organizacionales exitosas con los principales roles, es la siguiente: un Champion por unidad de negocios o sitio de manufactura; un Master Black Belt por cada 30 black belt o por cada 1.000 empleados; un Black Belt por cada 100 empleados para industrias y uno



por cada 50 empleados para comercio y finalmente, un Green Belt por cada 20 empleados.

III.11.5 Cuánto entrenamiento deben recibir?

Existen variantes de acuerdo al tipo y tamaño de la organización, pero en promedio el entrenamiento requerido para los principales roles, es el siguiente: de 24 a 40 horas para los Champions, de 240 a 400 horas para los Master Black Belt; de 160 a 240 horas para los Black Belt; y finalmente, de 48 a 120 horas para los Green Belts.

III.11.6 Quienes pueden ser entrenados?

Por lo general, cada rol requiere de un conjunto de habilidades, destrezas y experiencias adecuadas al tipo de actividad y responsabilidad a manejar: Alta Gerencia y Ejecutivos familiarizados con las herramientas estadísticas, como Champions; Gerentes o Jefes con grados técnicos y dominio de las herramientas estadísticas básicas y avanzadas, como Master Black Belt; Ingenieros, técnicos o personal con cinco o más años de experiencia, con dominio de las herramientas estadísticas básicas, como Black Belt; y finalmente, personal técnico o de soporte del área



involucrada, con conocimientos básicos de las herramientas estadísticas, como Green Belts.

III.11.6 Cómo se puede definir Seis Sigma, en forma sencilla?

Seis Sigma se puede definir como soportada por tres grandes columnas: Enfoque en el Cliente, para asegurar que todas las salidas (del proceso) satisfagan los requerimientos y expectativas del cliente; basada en Datos, para poder identificar las entradas (al proceso), los procesos y áreas de mejora; y finalmente, se apoya en una Metodología Robusta y Sistemática, para poder definir, medir, analizar, mejorar y controlar los procesos y así maximizar la productividad del negocio, al tiempo de satisfacer las expectativas del cliente.

III.12 HERRAMIENTAS DE MEJORA DE PROCESO

Los equipos de proyectos de Seis Sigma usarán herramientas de mejora en función de la complejidad del proceso o producto. Entre éstas se destacan por su utilidad el AMEF (Análisis del Modo de Efectos y Fallas), el CEP (Control Estadístico de Procesos) y el DDE (Diseño de Experimentos).



III.12.1 Análisis del Modo de Fallos y Efectos (AMEF)

El análisis del Modo de Efectos y Fallos es una metodología que permite analizar la calidad, seguridad y/o fiabilidad del funcionamiento de un sistema, tratando de identificar los fallos potenciales que presenta su diseño, y por tanto tratando de prevenir problemas futuros de calidad. Se aplica por medio del estudio sistemático de los fallos (que se denominarán Modos de Fallo) y sus causas, partiendo de sus efectos. El estudio tendrá como objetivo la corrección de los diseños para evitar la aparición de los fallos, estableciendo en lo necesario un plan de control dimensional, como resultado del estudio de los fallos y su corrección, en lo que sea necesario para evitar la aparición de los mencionados fallos.

El AMEF se trata de una herramienta de predicción y prevención. La aplicación de este método se enmarca dentro del proceso de diseño de nuevos productos, para los que se aplicará con el fin de validar los diseños desde el punto de vista funcional. También es aplicable a la mejora de productos ya existentes, y por otro lado, de ahí que sea realmente una herramienta poderosa. En el primer caso, se



habla de AMEF de diseño, mientras que en el segundo caso se trata de AMEF de proceso.

El AMEF, propiamente dicho, se utilizó por primera vez en Estados Unidos, en la década de los sesenta, en la industria aeroespacial militar, en la cual se estableció una especificación (norma MIL-STD-16291); ya en la siguiente década se extendió a las empresas automovilísticas, de las cuales Ford fue pionera en utilizar este método que pronto sería utilizado por el resto de la industria del automóvil.

Esta técnica es un método de análisis de fiabilidad cualitativo dirigido a identificar los modos de fallo cuyas consecuencias afectan en forma significativa al funcionamiento del producto en una aplicación determinada. Este método es muy recomendado para su uso durante las revisiones de diseño del producto y del proceso de producción que efectúa el equipo de proyecto Seis Sigma.

El análisis debe efectuarse durante el diseño del producto y durante el diseño del proceso productivo identificando mediante dos documentos separados los potenciales modos de fallo, tanto del producto como del proceso productivo. Se



necesita conocer la estructura del producto para relacionar todos los modos de fallo de sus componentes (efecto por el que se observa un fallo en el sistema) y las posibles causas del fallo.

Tipos de AMEF

Se pueden establecer dos tipos de AMEF, dependiendo de la actividad sobre la que se realiza. Básicamente, el proceso de realización es el mismo. A continuación se describen los diferentes tipos de AMEF.

➤ **AMEF de Diseño**

El AMEF de diseño está orientado hacia el producto o servicio nuevo, cuando varíen las condiciones medioambientales o simplemente cuando se quiera realizar un rediseño de los mismos para su optimización.

En el AMEF de diseño es posible detectar un problema de fabricación que no tenga nada que ver con el diseño, sino con fases siguientes como la producción. Dado que a continuación del AMEF de diseño esta encadenado y situado el AMEF de proceso, toda la información relativa a problemas de producción detectados en el AMEF de



diseño será de gran utilidad e incluida en el posterior AMEF de proceso. En particular, esos problemas serán considerados como modos de fallo en el AMEF de proceso. De igual forma, en el AMEF de proceso se pueden detectar fallos de diseño que no son de responsabilidad y que se comunicarán de forma rápida al responsable del departamento de diseño, para que se incluyan en el AMEF de diseño.

➤ **AMEF de proceso**

El AMEF de proceso es una consecución del AMEF de diseño, pero aplicado a la búsqueda de fallos y causas en el siguiente paso, es decir, el proceso de fabricación. Su objetivo es analizar las características del producto en relación al proceso de fabricación o de montaje, para lograr que las expectativas del cliente estén aseguradas. Se debe realizar antes que comience el proceso en sí.

En definitiva y de la misma forma que el AMEF de diseño se centraba en el producto o servicio, el AMEF de proceso se centra en la fabricación del producto o realización del servicio, y de forma análoga constituye un



esquema o resumen por escrito del pensamiento del diseñador del proceso.

La metodología es idéntica a la del AMEF de diseño, salvo en cuanto al objetivo del estudio, que será el proceso de fabricación. Es decir, los modos de fallo, las causas potenciales y los efectos potenciales de los fallos referentes al proceso se tratarán de la misma forma. De igual manera se realiza el cálculo del NPR, a partir de la probabilidad de ocurrencia, la probabilidad de detección y de la gravedad.

Para la elaboración del AMEF, es necesario conocer algunos términos y criterios utilizados en el formato empleado por esta herramienta:

Función del Proceso: Es una descripción del proceso u operación que está siendo analizada

Modo de Falla Potencial: Es la manera en la cual el proceso podría potencialmente fallar al no cumplir los requerimientos del proceso y/o diseño.



Efecto(s) de la falla potencial: Son los efectos de los modos de fallas en los clientes. Los clientes pueden ser la próxima operación, operaciones o estaciones posteriores, comerciantes y/o propietarios de vehículos.

Clasificación: Se utiliza para identificar cualquier característica especial del proceso/producto

Causa(s) / Mecanismo(s) potenciales de falla: Son las causas de falla concebible asignable a cada modo de falla potencial.

Severidad (Sev): Es la estimación de la gravedad del efecto para el cliente o el usuario final.

Cuadro N° 2

Criterio de Evaluación Severidad

| Efecto | Valor |
|------------------------------------------------------|-------------|
| Menor – Sin efecto real | 1 |
| Bajo – Ligera anomalía poco percibida por el cliente | 2 3 |
| Moderado – Insatisfacción ligera en el cliente | 4 5 6 |
| Alto – Producción inutilizable | 7 8 |
| Crítico – Afecta la seguridad del cliente | 9 10 |

Fuente: Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. Manual de Tecnología de Productos (Año 2002)



Ocurrencia (Ocurr): Es la frecuencia con que la falla podría presentarse, como consecuencia de una causa específica.

Cuadro N° 3
Criterio de Evaluación Ocurrencia

| Tipo de Ocurrencia | Rango | Frecuencia relativa |
|-------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------|
| Remota Cpk \geq 1.67 | 1 | 1 en 1.000.000 ($+5\sigma$) |
| Muy baja – Proceso bajo control estadístico Cpk \geq 1.33 | 2 | 1 en 20.000 ($+4\sigma$) |
| Baja – Pocas veces Cpk \geq 1 | 3 | 1 en 4.000 ($+3,5\sigma$) |
| Moderada – Ocasional Cpk $<$ 1 | 4 | 1 en 1.000 |
| | 5 | 1 en 400 |
| | 6 | 1 en 80 ($+3\sigma$) |
| Alta – Proceso repetidamente fuera de control estadístico | 7 | 1 en 40 |
| | 8 | 1 en 20 |
| Muy alta – La ocurrencia es inevitable | 9 | 1 en 6 |
| | 10 | 1 en 2 |

Fuente: Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. Manual de Tecnología de Productos (Año 2002)

Controles Actuales: Son descripciones de los controles que evitan que ocurran modos de falla o detectan los modos de falla que deberían ocurrir.

Detección (Detec): Es un valor para clasificar la probabilidad de encontrar la falla antes de que la parte llegue al siguiente cliente.

Cuadro N° 4**Criterio de Evaluación Detección**

| Probabilidad | Detección |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Muy alta – Los controles detectaran casi seguramente la falla | 1 2 |
| Alta – Los controles tienen buena oportunidad de detectar la existencia de la falla | 3 4 |
| Moderada – Los controles pueden detectar la falla | 4 5 6 |
| Baja – Los controles no parecen detectar la existencia de la falla | 7 8 |
| Muy Baja – Los controles probablemente no detecten la existencia de la falla | 9 |
| Absoluta certeza de no detección – Los controles no pueden detectar la falla | 10 |

Fuente: Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. Manual de Tecnología de Productos (Año 2002)

Número de Prioridad de Riesgo (NPR): Es el producto de las clasificaciones de severidad (S), ocurrencia (O) y detección (D)

$$\text{NPR} = \text{S} \times \text{O} \times \text{D}$$

Acciones recomendadas: Son las acciones que se deben llevar a cabo para reducir el grado de severidad, ocurrencia y/o detección.



III.12.2 Control Estadístico de Procesos (CEP)

El Control Estadístico de Procesos constituye una herramienta esencial para el seguimiento de las diversas fases de un proceso mediante el tratamiento estadístico de los datos recopilados, con el objeto de reducir la variabilidad y controlar y mejorar dicho proceso.

El CEP permitirá abordar y resolver los dos problemas clave que se presentan en la implantación de la metodología Seis Sigma: la mejora y el control de la calidad obtenida.

Para ello se hará uso de la herramienta basada en el control estadístico de la variabilidad: los gráficos de control, que tratan de representar la variabilidad de las características de calidad dentro de los límites correspondientes; junto a esta herramienta se utilizarán conjuntamente las denominadas herramientas de análisis de causas de defectos. Los dos tipos de herramientas citados se utilizan de forma que unas conducen a las otras de forma recurrente: los gráficos de control denunciarán los problemas derivados de un exceso de variabilidad; por medio de las herramientas de análisis de causas de defectos se identificarán éstas, se eliminarán o



reducirán y de nuevo se procederá a preparar un gráfico de control para ver si ha mejorado, y si no vuelta a empezar.

El CEP comienza con la adecuada recopilación de los datos de forma ordenada y crítica, de los datos que realmente sean útiles y fiables para el óptimo conocimiento del proceso, que posteriormente permita adoptar las medidas necesarias para su mejora. Una vez recopilados los datos necesarios comienza el análisis e interpretación de los mismos.

El objetivo perseguido por el CEP es supervisar la correcta implantación de la calidad desde el origen, reduciendo la variabilidad en dichos procesos. La ventaja más apreciable de este aumento del nivel de calidad es la reducción de costes derivados del producto final, así como los producidos por el reprocesado de los mismos.

III.12.3 Diseño de Experimentos (DDE)

La herramienta menos conocida por lo general pero la más efectiva de la iniciativa Seis Sigma es el Diseño de Experimentos (DDE) o usando sus siglas en inglés son DOE (Design of Experiments). Conocer el DOE puede resultar



una ventaja competitiva para las empresas que quieren minimizar la variabilidad de sus productos y procesos.

El DOE aporta una metodología para reducir la variabilidad propia de las características de calidad de los productos, y la que originan los procesos sobre los productos. Constituye un recurso de gran utilidad en la gestión diaria de los procesos que permite aumentar la capacidad de las características dentro de las tolerancias impuestas. Su misión es obtener procesos capaces y productos con características capaces.

El DOE se emplea en las fases de diseño y planificación de productos, servicios y procesos de fabricación. No obstante, también se utiliza para la mejora de procesos, productos y servicios ya desarrollados. Con el DOE se entra en la etapa del diseño o mejora de productos y procesos con el objetivo de reducir la variabilidad en la respuesta que interesa. Para ello se identifican primero las variables o factores que afectan a esa respuesta y después se obtiene un modelo de esa respuesta y de su desviación típica en función de las variables significativas.



El DOE pretende el cambio sistemático de los factores a la entrada que se cree que influyen en la respuesta del proceso. Midiendo la salida del proceso se puede ser capaz de determinar que factor afecta la respuesta y con qué intensidad.

El DOE permite lograr dos objetivos:

- **Detección:** Identificar que factores de entre todos los técnicamente posibles son las fuentes principales de variabilidad en las características elegidas que garantizan la calidad de las prestaciones del producto o proceso.
- **Modelado:** Una vez identificados esos factores, determinar a qué valores deben ajustarse para que las características deseadas logren las especificaciones deseadas con la mínima variabilidad (o desviación estándar) mediante el modelado de la respuesta en función de los factores identificados.

El DOE trata de reducir la variabilidad (desviación respecto a un valor objetivo) de la(s) respuesta(s) de interés que caracteriza(n) los procesos y productos, frente a variaciones de variables o causas a las que denomina "ruido".

Dependiendo de su origen estas causas se denominan "ruido interno" o "externo".

Figura N° 3
Tipos de Ruido



Fuente: Seis Sigma. Una Iniciativa de Calidad Total. Gestión 2000.com (Año 2000)

El principal beneficio de la reducción de la variabilidad es la obtención de productos y servicios más robustos, insensibles y resistentes al denominado "ruido", variables tanto internas como externas. En este sentido, Taguchi hace especial incidencia en obtener la robustez de los productos mediante la minimización de los efectos de esas causas, es decir, haciendo insensible la respuesta de interés a las variaciones de las variables "ruido".



III.12.3.1 Métodos de Taguchi

Los métodos de Taguchi son un enfoque alternativo del DOE y se basan en diseños factoriales completos o fraccionales. Estos métodos fueron desarrollados en el Japón en los años 50.

Los métodos de Taguchi se basan en el empleo de la “función de pérdida” y en la utilización de unas matrices de diseño ortogonales para llevar a cabo los experimentos, así como el posterior diagnóstico mediante el análisis de las medias. Una característica de los métodos de Taguchi es que el análisis dará como resultado dos tipos de combinaciones óptimas:

- Combinación óptima técnica: La que ofrece mejores resultados desde el punto de vista técnico.
- Combinación óptima económica: aquella que, asumiendo una pequeña pérdida o merma en los resultados, origina menor coste económico que la técnica.



Entre ambas combinaciones se elige la que sea más conveniente, después de sopesar los diversos intereses u objetivos.

Otra aportación del Dr. Taguchi a la búsqueda de la mejora de productos o procesos, es el Diseño Robusto. Que es el diseño inmune o insensible a los factores que puedan afectar las prestaciones del producto o proceso. Para lo cual Taguchi propone un plan de cinco etapas:

1. Selección del Sistema: Es una fase en la que se generan nuevas ideas y nuevos métodos para disponer del mayor número de alternativas de sistemas a usar en el producto que puedan desempeñar las funciones deseadas con objeto de su mejora o rediseño.

2. Diseño de Parámetros (Diseño Robusto): Es la etapa más importante en desarrollar un producto reduciendo su sensibilidad frente a variaciones en factores externos que puedan



alterar las características de calidad que interesan.

3. **Diseño de Tolerancias:** Reducir las tolerancias de los componentes o piezas que integran un producto es un buen sistema para reducir la variabilidad de la repuesta deseada.
4. **Especificación de Tolerancias:** Una vez que el equipo de proyecto Seis Sigma minimiza los efectos de las variaciones en los parámetros mediante el diseño de experimentos, deberá fijar las especificaciones de las tolerancias de los componentes o piezas a mecanizar.
5. **Gestión de la Calidad:** El equipo del proyecto Seis Sigma deberá verificar que el diseño es realmente robusto con un plan de gestión de calidad interno - en producción - y externo, logrando información directa de los clientes.
6. **Control Estadístico de Experimentos:** Con el objeto de determinar sí los procesos de



fabricación están controlados, el equipo de proyecto Seis Sigma deberá determinar en su plan de gestión de calidad que características o parámetros se quieren controlar en producción diariamente porque si estos varían mucho pueden afectar las prestaciones del producto.

Estas seis etapas del sistema de Taguchi pueden aplicarse tanto para controlar el producto, buscando un diseño de calidad, como para controlar el proceso productivo e incluso las operaciones administrativas relacionadas con los procesos de diseño y producción.

A su vez, el proceso de experimentación consta de una serie de etapas descritas a continuación:

1. Establecimiento de objetivos principales:

Se conocen los objetivos que se persiguen con la realización de los experimentos.



2. Planificación de los experimentos: Se analizan los factores del proceso o producto que influyen de manera determinante y se evalúan los niveles para dichos factores, así como el número de ensayos, la metodología a utilizar y se construye el arreglo ortogonal (matrices ortogonales) apropiado. Las matrices ortogonales empleadas por Taguchi básicamente son diseños fraccionales de resolución III y por tanto no son las más adecuadas para estudiar el efecto de las interacciones ya que generalmente el método las considera como ruido.

3. Realización de Ensayos: Los cuales se llevan a cabo de manera arbitraria o aleatoria, para obtener mayor objetividad y precisión.

4. Análisis y diagnóstico de los resultados de los ensayos: Se elaboran los gráficos y tablas necesarias para facilitar el análisis. Este análisis se lleva a cabo mediante el “análisis de las medias” que tiene como



objetivo la selección de dos combinaciones óptimas: una técnica denominada **campeón de papel** y otra económica llamada **campeón económico**, con un menor coste que la anterior aunque ligeramente menos efectiva. Estas combinaciones se basan tomando en cuenta la Función de Pérdida que establece Taguchi y que constituye una característica de pérdida más progresiva y menos brusca y que evalúa la pérdida ocasionada a la sociedad causada por las desviaciones que presentan la característica del producto respecto a los valores objetivos.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO



IV MARCO METODOLÓGICO

IV.1 Tipo de Investigación

La estrategia que se siguió en el desarrollo de este trabajo de grado para recabar los datos y la información requeridos fue una combinación de la investigación Documental en conjunto con la de Campo.

La investigación documental constó de toda aquella información obtenida de fuente bibliográfica, libros, revistas, periódicos, folletos, documentos, bases de datos electrónicas y, en general, todo material impreso. La información obtenida en Internet también fue considerada parte de la investigación documental.

Por su parte la investigación de campo se realizó en el lugar de los hechos (Planta de Mezclado y Envasado de Lubricantes Cardón, ubicada dentro del área industrial del Centro de Refinación Paraguaná, Punto Fijo, Edo. Falcón) en donde se recogió directamente, de fuentes vivas, la información, basándose en experiencias, opiniones y datos.

Ambos tipos de investigación fueron utilizados a lo largo de todo el desarrollo del proyecto.



La investigación documental se utilizó para recopilar los basamentos teóricos necesarios para la implementación de la Metodología Seis Sigma en el proceso de envasado de lubricantes.

Por su parte la Investigación de Campo se realizó por medio de la observación directa. Este tipo de observación consistió en recolectar información objetiva donde los datos observados se van registrando en el momento. Este tipo de Investigación se aplicó con la finalidad de mejorar el nivel sigma del proceso de envasado de lubricantes.

IV.2 Diseño de Investigación

El diseño utilizado en este trabajo de grado fue del tipo **EXPLICATIVO**. Los estudios explicativos sirven para conocer las causas de los hechos, relacionándolas con los efectos que las producen.

En este caso, el desarrollo del trabajo de grado se realizó siguiendo los pasos exigidos por la Metodología Seis Sigma descritos en el Capítulo V.

Al culminar el proyecto se conocerá la mejora del nivel sigma en el proceso de envasado de lubricantes.



IV.3 Población y Muestra

Para la implementación de la metodología Seis Sigma se tomó como población los tiempos de paradas que se presentaron en el proceso de envasado de la línea de envases plásticos desde el mes de Febrero 2002 al mes de Septiembre 2002.

Para la muestra, en el cálculo del nivel sigma, se recolectaron los tiempos de parada de la línea de envases plásticos obtenidos durante el mes de febrero en el primer turno de trabajo.

En el Capítulo V “Aplicación de la Metodología Seis Sigma” se detallan las muestras utilizadas en cada herramienta estadística.

IV.4 Instrumento de Recolección

El instrumento de recolección utilizado para documentar los tiempos de parada, está representado por una hoja de datos descrita en la Tabla N° 1 del Capítulo V. En esta hoja se reflejaron los tiempos de parada en minutos por día de la máquina llenadora, relacionando estos tiempos con la causa que originaba dicha parada. Al igual que los tiempos de parada, los datos recolectados para la aplicación de las herramientas estadísticas fueron tomados a través de hoja de datos descritas en el Capítulo V de este trabajo.



IV.5 Organización y análisis de la información

La organización de la información se realizó mediante tablas, cuadros, figuras y gráficos que muestran la información recolectada. Los datos recopilados se procesaron estadísticamente mediante el uso de herramientas estadísticas descriptivas, luego de esto se realizó el análisis para proponer mejoras en el nivel sigma del proceso de envasado., permitiendo caracterizar, a la vez que sintetizar los resultados obtenidos.

CAPÍTULO V

IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA



V IMPLANTACIÓN DE LA METODOLOGÍA SEIS SIGMA

La notable variabilidad que presenta el proceso de Envasado de Lubricantes en envases plásticos de la Planta, así como las exigencias por parte de clientes y la necesidad de adoptar nuevas estrategias que aseguren la calidad a bajo costo y procesos que garanticen buenos resultados la primera vez, constituyen razones fundamentales para la implantación de la metodología Seis Sigma.

El objetivo del nivel de calidad, medido en sigmas, es medir y determinar la calidad de los productos y de los procesos, para centrar los esfuerzos y recursos de mejora.

La metodología de implantación de Seis Sigma en general siguió el esquema **DMAMC** (Definir, Medir, Analizar, Mejorar, Controlar). Esta metodología es utilizada cuando un proceso o producto no satisface los requerimientos del cliente o tiene un pobre desempeño.

V.1 CICLO DMAMC

V.1.1 DEFINIR: El Proyecto de Mejora y Equipo de Trabajo

En la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón actualmente se manejan mecanismos que permiten determinar el rendimiento y eficiencia de las líneas de envasado, uno de



estos controles lo constituye el registro de los tiempos de paradas que se efectúan diariamente en las líneas.

El rendimiento de la línea de Envases Plásticos es muy variable, ya que se presentan una serie de paradas que no permiten cumplir con la programación que se establece día a día, lo cual ha traído como consecuencia, la disminución en la eficiencia de la línea y por ende de la Planta.

La Dirección de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón mantiene como lineamiento el mejoramiento continuo de sus procesos y productos, por ello decide utilizar la iniciativa Seis Sigma para reducir la problemática que generan los tiempos de parada.

Una vez adoptada la decisión de utilizar Seis Sigma como herramienta para el mejoramiento de los procesos de la Planta, se seleccionó, como establece la metodología, el proyecto de mejora que, alineado con las prioridades de la empresa, produzca resultados significativos. Este proyecto se define a continuación:



V.1.1.1 **Proyecto de Mejora**

De acuerdo con los datos históricos de los tiempos de parada en las líneas de envasado, así como la observación directa realizada al proceso permitió establecer que la línea de envases plásticos presentaba una serie de deficiencias, entre las cuales se resaltaban los tiempos de las paradas del proceso.

Proyecto de Mejora: "Disminución de tiempos de parada en la Línea de Envases Plásticos".

El objetivo que se persigue con la implantación de Seis Sigma es la disminución de las paradas originadas en la línea hasta eliminar completamente esta fuente de variabilidad. Con la reducción de las paradas en el proceso, se espera aumentar los niveles de producción, lo cual permitirá mejorar la productividad de la línea.

Objetivo Previsto:

Con la implantación de Seis Sigma se quiere lograr reducir los tiempos de parada en la Línea de



Envases Plásticos. El objetivo establecido es disminuir por lo menos en un 50% el tiempo de parada, que en este caso representa un efecto significativo en el mejoramiento del proceso.

El proyecto designado es una implantación práctica de la metodología, y es el inicio de una futura implementación a nivel de toda la Planta para corregir la variabilidad que presentan actualmente los procesos. El paso siguiente consistió en la selección de los directivos y empleados profesionales con capacidad y responsabilidad, en sus áreas o funciones, que van a ser formados para liderar y desarrollar proyectos de mejora. Muchos de estos empleados tendrán que dedicar una parte importante de su tiempo a los proyectos, si se pretenden resultados significativos. La formación de personal tiene dos vertientes, una enfocada a los directivos que van a definir, concretar, monitorear y apoyar los proyectos de mejora, denominados Champions y otra, más intensiva a los facilitadores de los equipos de proyecto conocidos como Black Belts, los cuales contarán en su equipo de trabajo,



con los Green Belt, de los cuales también se hizo referencia en el marco teórico.

En el caso de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón, aún no existen, tal como lo establece la metodología, las personas capacitadas para la implementación de Seis Sigma; sin embargo se manejan las herramientas estadísticas básicas, el control y la medición de la capacidad de los procesos por parte de la Sección de Aseguramiento de la Calidad, así como se cuenta con el deseo por poseer los conocimientos básicos para la implantación de la metodología.

V.1.1.2 Equipo Seis Sigma

Como se mencionó anteriormente no existe en la Planta personal formado en la metodología, es por esto, que se hizo una recomendación de las personas que pudieran estar al frente de la implantación de la metodología Seis Sigma y que serían los responsables de seleccionar y solucionar los proyectos de mejora. A continuación se



menciona el personal que integró inicialmente el equipo de trabajo Seis Sigma:

Champion: Superintendente de la Planta

Black Belt: Jefes de Sección

Green Belt: Ing. de Aseguramiento de
Calidad, Supervisores

Colaboradores: Auditores, Asesores, Tesistas,
Operadores, Mecánicos,
Instrumentistas, Electricistas

Este personal pudo llevar a cabo el desarrollo de proyectos de mejora en las líneas de producción ya que estaba directamente relacionado con el proceso y contaba con la experiencia y conocimiento de las diferentes operaciones y actividades de la Planta. Para lograr el cumplimiento del proyecto de mejora, mediante la implantación de Seis Sigma se designó como equipo de trabajo el siguiente:

Cuadro N° 5**Cronograma de Actividades**

| Actividad | En. | Feb. | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Ag. | Sept. |
|-------------------------|-----|------|------|------|------|------|------|-----|-------|
| Definición del Proyecto | ■ | ■ | | | | | | | |
| Formación del Equipo | | ■ | | | | | | | |
| Medición de datos | | ■ | ■ | | | | | | |
| Análisis y Mejoramiento | | | | ■ | ■ | | | | |
| Control y seguimiento | | | | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

V.1.1.3 Cálculo del Nivel Sigma Actual del Proceso

Para el cálculo del nivel sigma actual se consideraron los tiempos de paradas que se presentaban en el proceso de envasado y que corresponden a las diferentes fases del proceso.

Como el objetivo era reducir los tiempos de parada, se consideraron estos tiempos para determinar los defectos por millón de oportunidades (DPMO), que se producen en el proceso de envasado.



Son considerados como defectos por millón de oportunidades (DPMO) del proceso, los paquetes de envases que se dejen de producir en los tiempos que se pierden en las paradas.

Los tiempos de parada de la línea de envases plásticos obtenidos mediante observaciones directas realizadas en la línea durante el mes de febrero en el primer turno de trabajo, se presentan en la Tabla N° 1:

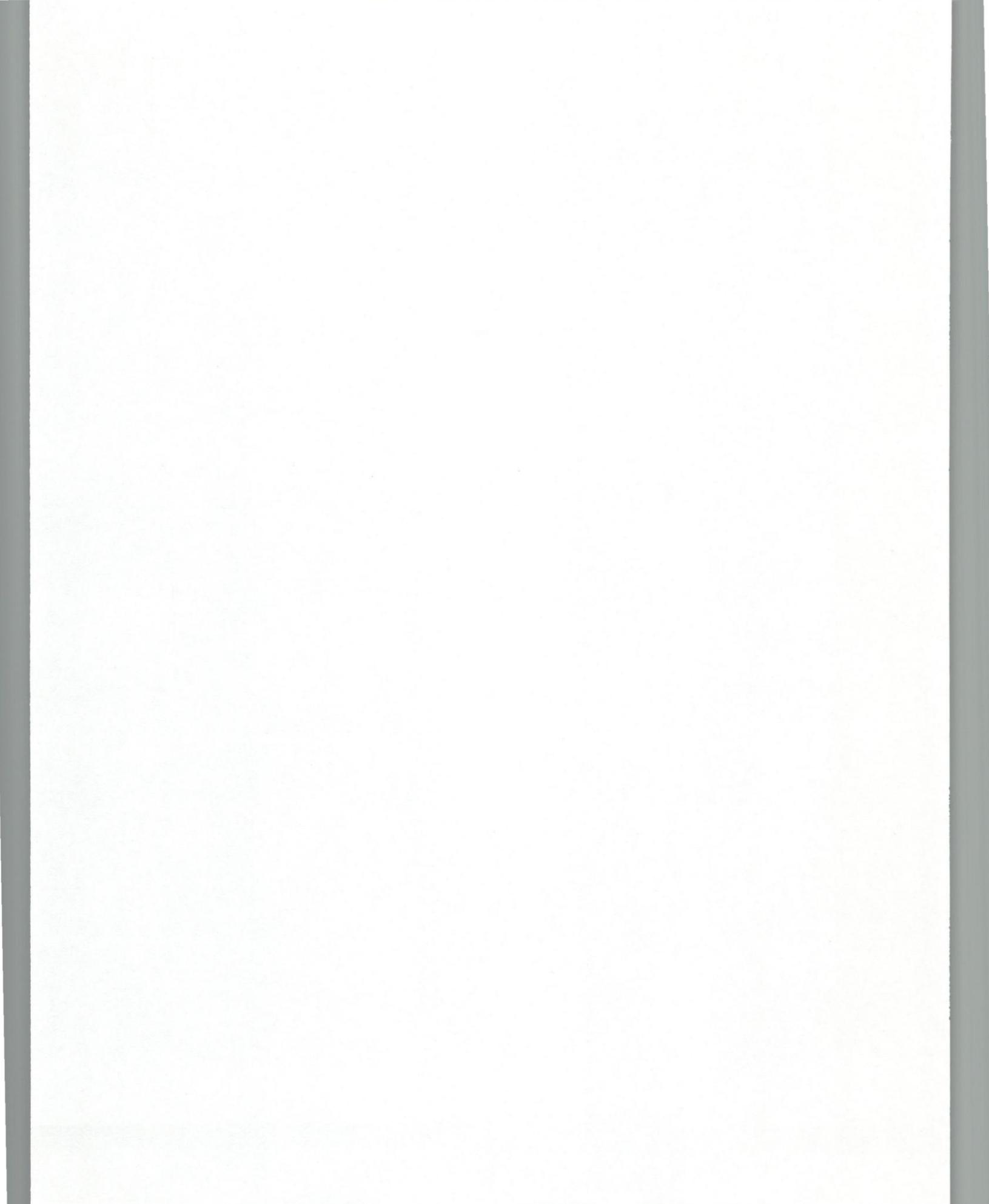




Tabla N° 1
Tiempos de Parada
Línea de Plásticos Febrero 2002

| Descripción/ Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | TOTAL |
|--------------------------------------------|-----------|---|---|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----|----|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|----|----|------------|-----------|-----------|------------|-------------|
| Despaletizado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Perdida de Señal de fotocelda Despalet | 20 | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | 15 | 20 | | | | | 8 | | 67 |
| Sensor de la Despaletizadora | | | | | | | | | | | | | | 12 | 10 | | | | | | | | 20 | | | | | | 20 |
| Arreglando envases en guía Despalet. | | | | 20 | | | | | | | | | | | 10 | | | | 32 | | | | 3 | | | | 9 | | 86 |
| Llenado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Envases caídos/trancados en distribuido | 2 | | | 2 | 2 | | | 5 | | | | 1 | 1 | 2 | 4 | | | 1 | 7 | 5 | 7 | 2 | | | 2 | 2 | 9 | 2 | 56 |
| Disminución del Nivel de Tanque | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | 2 | | | | | | | 2 | 9 | | | 18 |
| Falla del sensor metalico tornillo sin fin | | | | | | | | | | | | | | 20 | 10 | | | | | | | | | | 16 | | | | 46 |
| Perdida del tiempo tornillo sin fin | | | | | | 7 | 20 | | | | 5 | | | | | | | 20 | 30 | | 61 | | | | 2 | 7 | 7 | 1 | 160 |
| Ajustando Torque | | | | | | | 17 | 10 | | | | 28 | 5 | | | | | | | 5 | | | | | | 9 | | | 74 |
| Tapas obstruidas en Tolva | | | | 1 | | 1 | | 3 | | | 2 | 1 | 4 | 1 | | | | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | | | 3 | | 1 | 1 | 26 |
| Tapas defectuosas | | | | | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 34 | | | | 51 |
| Falla de impresión Video Jet | | | | | | | | 8 | | | | | | 30 | | | | 5 | | | 3 | | | | 2 | 5 | 10 | 5 | 68 |
| Envases trancados en sistema divisor | | | | 8 | 5 | 5 | 2 | 3 | | | 7 | 2 | 8 | 6 | 5 | | | 5 | 12 | 6 | 5 | 10 | | | 3 | 5 | 5 | 2 | 104 |
| Empacado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Falla en la cadena del pulmón | | | | | | | | | | | | | 17 | | | | | 3 | | | | | 4 | | | 2 | | 2 | 28 |
| Perdida de secuencia pase de cartones | | | | | | | | 13 | | | | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | 17 |
| Acumulación de Plastico en paquetes | | | | 35 | 10 | | 8 | | | | | 5 | 5 | 6 | | | | | | 4 | 5 | | 4 | | | | 15 | 88 | 185 |
| Paletizado | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Paleta defect. DTV | | | | 15 | | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 45 |
| Perdida de secuencia Paletizadora | | | | 10 | 5 | 20 | | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | | 40 | | | | 90 |
| Perdida de señal Fotocelda | | | | | | | | | | | | | 3 | | | | | | | | 9 | | | | | | 5 | | 17 |
| Rodillos impregnados de aceite Palet. | | | | | | | | | | | | | 17 | | | | | | | | | | | | | 12 | | | 29 |
| TOTAL DE TIEMPO PERDIDO | 22 | | | 96 | 43 | 63 | 47 | 57 | | | 14 | 37 | 60 | 77 | 33 | | | 37 | 87 | 23 | 101 | 65 | | | 106 | 49 | 69 | 101 | 1187 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Así, del estudio realizado para el mes de Febrero en la línea de envases plásticos se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla N° 2
Tiempo perdido por fase del proceso

| Fase del Proceso | Tiempo de parada (min) | % Tiempo perdido |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| Despaletizado | 173 | 14.57 |
| Llenado | 603 | 50.80 |
| Empacado | 230 | 19.38 |
| Paletizado | 181 | 15.25 |
| Tiempo total perdido | 1.187 | 100 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Para un turno de trabajo se establece como cantidad mínima de producción: 5500 paquetes (paq)

Por lo tanto, para el periodo de estudio (20 días) que se tomaron como 20 turnos de trabajo, la producción mínima programada debería ser:

$$5500 \text{ paq/ turno} * 20 \text{ turnos} = 110.000 \text{ paquetes (unidades totales)}$$



Cada turno de trabajo tiene un tiempo de operación de 7 horas lo que equivale a 420 min/ turno, por lo tanto el tiempo de operación del estudio es:

$$420 \text{ min /turno} * 20 \text{ turnos} = 8.400 \text{ min}$$

En la Tabla N° 3 se muestra los paquetes que dejaron de obtenerse debido a las paradas del proceso y que fueron considerados como unidades defectuosas para el cálculo de los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO). Estas unidades se determinaron tomando en cuenta los paquetes dejados de envasar en el tiempo perdido en cada fase, si para 8400 min debían producirse 110.000 paquetes:

Tabla N° 3
Unidades Defectuosas por fase del proceso

| Fase del Proceso | Unidades Defectuosas |
|-------------------------|-----------------------------|
| Despaletizado | 2.265 |
| Llenado | 7.897 |
| Empacado | 3.012 |
| Paletizado | 2.730 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Los DPMO para cada fase se determinaron de la siguiente manera:

$$\text{DPMO} = \frac{\text{Unid. Defectuosas} * \text{N}^\circ \text{ de Oportunidades} * 1000000}{\text{Unid. Totales}}$$

En este caso el N° de Oportunidades es igual a 1 debido a que se tomó como defecto el no envasado de paquetes en los tiempos de parada.

En la Tabla N° 4 pueden observarse los DPMO determinados para cada fase del proceso:

Tabla N° 4
Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

| Fase | DMPO |
|---------------|---------------------------------------------------|
| Despaletizado | 2265 paq/ 110000 paq * 1* 1000000 = 20590.9 DPMO |
| Llenado | 7896 paq/ 110000 paq * 1* 1000000 = 71781.8 DPMO |
| Empacado | 3012 paq / 110000 paq * 1* 1000000 = 27381.8 DPMO |
| Paletizado | 2370 paq/ 110000 paq * 1 * 1000000 = 21545.4 DPMO |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Para determinar el Nivel Sigma de cada fase del proceso, se consideró el desplazamiento natural de 1.5σ del valor objetivo y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Nivel Sigma} = 0,8406 + \sqrt{29,37 - 2,22 \text{ Ln (DPMO)}}$$

El nivel sigma de cada fase del proceso de envasado se presenta en la Tabla N° 5:

Tabla N° 5
Nivel Sigma del Proceso

| Fase del Proceso | DPMO | Nivel Sigma |
|------------------|---------|-------------|
| Despaletizado | 20590,9 | 3,55 |
| Llenado | 71781,8 | 2,97 |
| Empacado | 27381,8 | 3,43 |
| Paletizado | 21545,4 | 3,53 |
| Proceso | | 3,37 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

El Nivel Sigma del Proceso de la línea de Envases Plásticos se estableció promediando el nivel sigma de las cuatro fases del proceso, por lo tanto, el nivel sigma del proceso es igual a 3.37, lo cual



representa un nivel de calidad del 85,86% y un costo de calidad entre 25 y 40% sobre las ventas de acuerdo con la información de la Tabla N° 6, donde se establece la cantidad de defectos por millón de oportunidades, el nivel de calidad del proceso y el costo de calidad sobre las ventas para un determinado nivel sigma.

Tabla N° 6
Costo de la Calidad

| Nivel Calidad | DPMO | Nivel Sigma | Costo Calidad |
|----------------------|-------------|--------------------|----------------------|
| 30,9% | 690.000 | 1,0 | NA |
| 69,2% | 308.000 | 2,0 | NA |
| 93,3% | 66.807 | 3,0 | 25-40% |
| 99,4% | 6.210 | 4,0 | 15-25% |
| 99,98% | 320 | 5,0 | 5-15% |
| 99,9997% | 3,4 | 6,0 | < 1% |

Fuente: Seis-Sigma.com (Año 2002)



Una vez establecido el proyecto de mejora: “Disminución del tiempo de parada por fallas en la Línea de Envases Plásticos” y determinado el nivel sigma, se definió como el alcance del proyecto: Aumentar el nivel sigma en un 10% para los próximos meses, es decir elevar el nivel sigma de 3,37 a 3,71 al reducir en un 50% los tiempos de parada.

V.1.2. MEDIR

Esta fase consistió en la caracterización del proceso de envasado, analizando su funcionamiento actual y determinando los requisitos claves de los clientes de dicho proceso. En esta fase se identificaron y seleccionaron las variables que afectan el proceso de envasado. Posteriormente se llevo a cabo la búsqueda de un método que permitiera cuantificarlas y medirlas de forma precisa.

Los tiempos de parada que se presentan en las cuatro fases del proceso, son originados por factores de tipo operacional, mecánico, de instrumentos o por insumos.



Entre los tiempos de parada que corresponden a la fase de Despaletizado, se encuentran el ajuste de la guía para la salida de envases al distribuidor y la pérdida de secuencia o señal de funcionamiento de la máquina.

En la fase de llenado se presentan los tiempos originados por la caída de envases en el distribuidor, la pérdida de secuencia del tornillo sin fin en la máquina llenadora, la acumulación de envases que se trancan en el sistema divisor (canales) a la salida de la llenadora. Estos tiempos son muy representativos en el proceso ya que detienen instantáneamente el funcionamiento de la máquina y demoran las actividades anteriores y posteriores al llenado de envases.

En la fase de empaquetado se presentan paradas ocasionadas por la acumulación del plástico que envuelve a los envases y la pérdida de secuencia en el pase de cartones que sirven de base a los paquetes, entre otras. En el Paletizado la falla más representativa es la originada por el uso de paletas defectuosas para los paquetes, las cuales alteran la secuencia o señal de funcionamiento de la máquina.



En el caso del defecto de proceso (tiempos de parada) resultan afectados clientes de tipo interno, ya que al presentarse una parada, la fase anterior y la siguiente a la fase donde ocurre la parada, no pueden continuar realizando sus operaciones, por ejemplo, si la parada ocurre en la fase de llenado, si el distribuidor de envases vacíos se encuentra lleno, no pueden sacarse más envases, y en el baumer si éste no cuenta con envases para envolver, también detiene su operación. Sin embargo este defecto puede originar el incumplimiento en entrega a clientes externos, o bajos niveles de inventario.

Al presentarse una falla inmediatamente se ve afectado el funcionamiento de las máquinas ya que éstas, cuando detectan alguna anomalía, detienen el proceso. Las variables que se presentaron en el estudio, se clasificaron de la siguiente manera:

- a. Formulación: Viscosidad del producto, densidad, color, crepitación.



- b. Operacional: Velocidad de llenado, presión de llenado, temperatura de producto, filtrado de producto, llenado simultáneo de cisternas u otra línea de envasado.
- c. Insumos: Tipo de proveedor, especificaciones del envase, molde de los envases, especificaciones de tapas, plástico ó cartón.
- d. Programación: Cambio de producto
- e. Condiciones de equipos: mantenimiento, vida útil, repuestos.

Las variables de formulación corresponden a las características del producto a envasarse, y como se mencionó en el capítulo II, en la planta se envasan diferentes tipos de productos, por lo cual varían algunas de sus propiedades. El laboratorio emite los resultados correspondientes a la formulación, así como la aprobación o rechazo del producto. La viscosidad es la resistencia que tiene el producto a fluir y existen varios rangos de viscosidad para los productos. La densidad del producto se establece mediante la conversión de la densidad a 15°C que indica el análisis del laboratorio a una densidad de 25 °C establecida en la tabla de conversión contenida en el Manual de Operaciones de la Planta.



En la fase de Llenado se controlan las variables de tipo operacional, por ejemplo la presión y velocidad con que serán llenados los envases: la presión determina la descarga de producto a los envases que tendrán las válvulas de llenado y se ajusta siguiendo la receta (especificaciones para el producto) que está establecida en el panel de control de la máquina, la velocidad indica la cantidad de envases que se llenaran por minuto, así como regula el desplazamiento de los envases en el transportador hacia el baumer, es ajustada en el panel de control de la máquina.

La temperatura del producto está determinada por la temperatura que tiene el producto en el tanque y puede aumentarse a los productos de mayor viscosidad mediante el indicador de temperatura ubicado en el tanque.

Los filtros son utilizados para la refinación (filtrado) de productos, es decir, estos dispositivos son los que garantizan mayor calidad y pureza del producto, entre los productos envasados con este dispositivo se encuentran: Extra Multigrado, la serie Supra(SL, SH, SJ),etc.



El llenado simultáneo de cisternas u otra línea de envasado se lleva a cabo cuando en la línea de envases plásticos se envasa algún producto que también es requerido ó está establecido en la programación de otra línea de envasado (tambores y pailas) ó se necesite llenar un camión cisterna.

En cuanto a los insumos, la Planta cuenta con dos proveedores para los envases y las tapas: envases Maggie Paul y envases Domínguez. Las especificaciones de los envases varían relativamente para los proveedores, los envases Maggie Paul fabrican los envases destinados a envasar los productos Extra Monogrado y Extra Multigrado, en sus respectivas versiones, y los envases Domínguez fabrican los envases para el resto de los productos, incluyendo los productos Supra cuyos envases son de color gris.

La programación de envasado, está sujeta al inventario de productos terminados, diariamente, se entrega a operaciones el programa de envasado, el cual puede contemplar ó no cambios de producto.



En la Tabla N° 7 se puede observar como debe medirse el proceso y las características claves que deben obtenerse.

Tabla N° 7

Sistema de Medición del proceso de la Línea de Envases Plásticos

| Variables de Entrada | Proceso | Características claves |
|------------------------------|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Formulación: | | |
| Viscosidad | Fase II | - Dentro del rango de Especificación |
| Densidad | | - Establecida en Tabla de conversión |
| Insumos: | | |
| Molde de Envase | Fase I,II | - Ajuste correcto en la guía de envases - Recorrido adecuado en el transportador - Entrada correcta a la Llenadora - Recorrido apropiado por el sistema divisor. |
| Especificaciones de Tapas | Fase II | - Torque adecuado de tapadora - Sellado correcto - Apariencia de envases |
| Especificaciones de plástico | Fase III | - Envoltura centrada y completa - Pase adecuado de Plástico |



Tabla N° 7

Sistema de Medición del proceso de la Línea de Envases Plásticos

| Variables de Entrada | (Cont...) Proceso | Características claves |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Operacionales: Viscosidad del Producto Presión de llenado Filtrado de producto Llenado simultáneo | Fase II | <ul style="list-style-type: none">- Tiempo de llenado- Apariencia de envase- Peso de Envases- Producción- Velocidad de llenado- Envases rechazados |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Éstas son las variables que se consideraron más importantes para el estudio, ya que además de los efectos mencionados anteriormente, su variación origina paradas en el proceso.

Los datos obtenidos en el sistema de medida permitieron determinar la relación que existe entre el efecto, en este caso el tiempo de parada, y las variables de entrada del proceso. Los datos correspondientes al nombre del producto, el lote al que pertenece (el n° de lote permite conocer la viscosidad del producto en el sistema computarizado COSME, que es utilizado por PDVSA para el control y seguimiento de las



mezclas), el tanque que contiene el producto, el proveedor de los envases y las tapas y la velocidad y presión de llenado, se registran diariamente en el formato LOF-015C "Seguimiento a Medibles" contenido en el Manual de Operaciones.

En este mismo formato se registra la producción y el número de rechazos obtenidos por turno.

De acuerdo al nombre del producto se reconoce si es filtrado ó no, el llenado simultáneo es registrado por el supervisor de operaciones y envía el informe de manera electrónica al resto de las áreas.

El sistema de medición manejado por el equipo Seis Sigma para la implantación de la metodología se basó en los resultados obtenidos mediante el uso de las herramientas estadísticas sugeridas por Seis Sigma para reducir la variabilidad que presenta el proceso, tales como:

- Diagramas de Pareto
- Diagrama Causa - Efecto (Ishikawa)
- AMEF



- Control Estadístico de Procesos

V.1.2.1 Diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto fue utilizado para representar y determinar la fase del proceso que presenta mayor tiempo de parada. Este diagrama permitió determinar el impacto, influencia o efecto que tienen las variables seleccionadas en el rendimiento de las fases del proceso de la línea de envases plásticos. Representa en forma decreciente el tiempo perdido en las fases del proceso.

Las actividades ó fallas que se presentan en el proceso se clasificaron junto con la sección de Aseguramiento de Calidad de la Planta, en diferentes áreas: eléctricos, instrumentos, insumos, mecánicos y programación. El porcentaje de tiempo perdido correspondiente a estas fallas se presenta en la Tabla N° 8



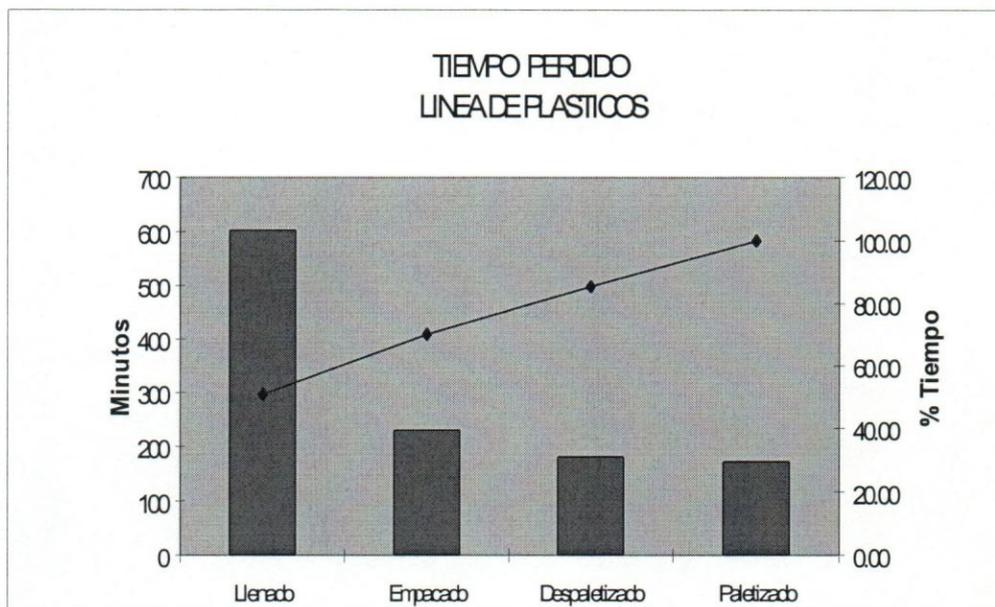
Tabla N° 8
Tiempo perdido por Área
Mes de Febrero

| Área | Tiempo Perdido (min.) | % de tiempo |
|--------------|-----------------------|-------------|
| Eléctricos | 28 | 1.21 |
| Instrumentos | 466 | 20.26 |
| Insumos | 293 | 12.74 |
| Mecánicos | 499 | 21.69 |
| Operaciones | 880 | 38.26 |
| Programación | 134 | 5.83 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

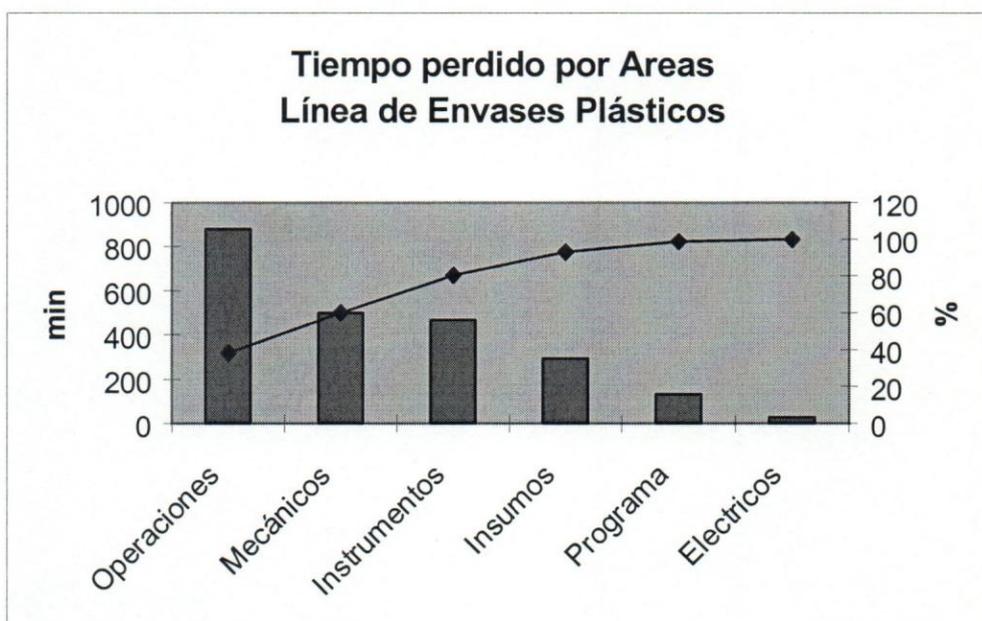
Los diagramas de Pareto del tiempo perdido en las fases del proceso expuesto en la Tabla N° 2 y según las actividades ó fallas del proceso clasificadas anteriormente en la Tabla N° 8 (operaciones, mecánicas, programación, etc.) de la línea de envases plásticos se presentan a continuación:

Gráfico N° 1



Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 2



Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Como puede observarse en el Gráfico N° 1, las fases donde se producen mayor número de paradas son la fase de Llenado y la de Empacado, con un porcentaje de tiempo perdido superior al 70%.

Las actividades ó fallas correspondientes al área de operaciones, mecánicas y de instrumentos provocaron el 80,21% del tiempo de parada en la línea. Estos tiempos están reflejados en la Tabla N° 1, y pueden resaltarse las paradas que se producen cuando los cuando se pierde la secuencia del tornillo sin fin (entrada de envases a la llenadora), el cambio de producto, los envases trancados en el sistema divisor y cuando se acumula el plástico en el baumer.

V.1.2.2 Diagrama Causa - Efecto (Ishikawa)

Mediante el diagrama Causa Efecto se representaron los elementos (causas) que contribuyen a la disminución del tiempo de operación de la línea de envases plásticos (efecto). Esto constituyó una herramienta efectiva para el

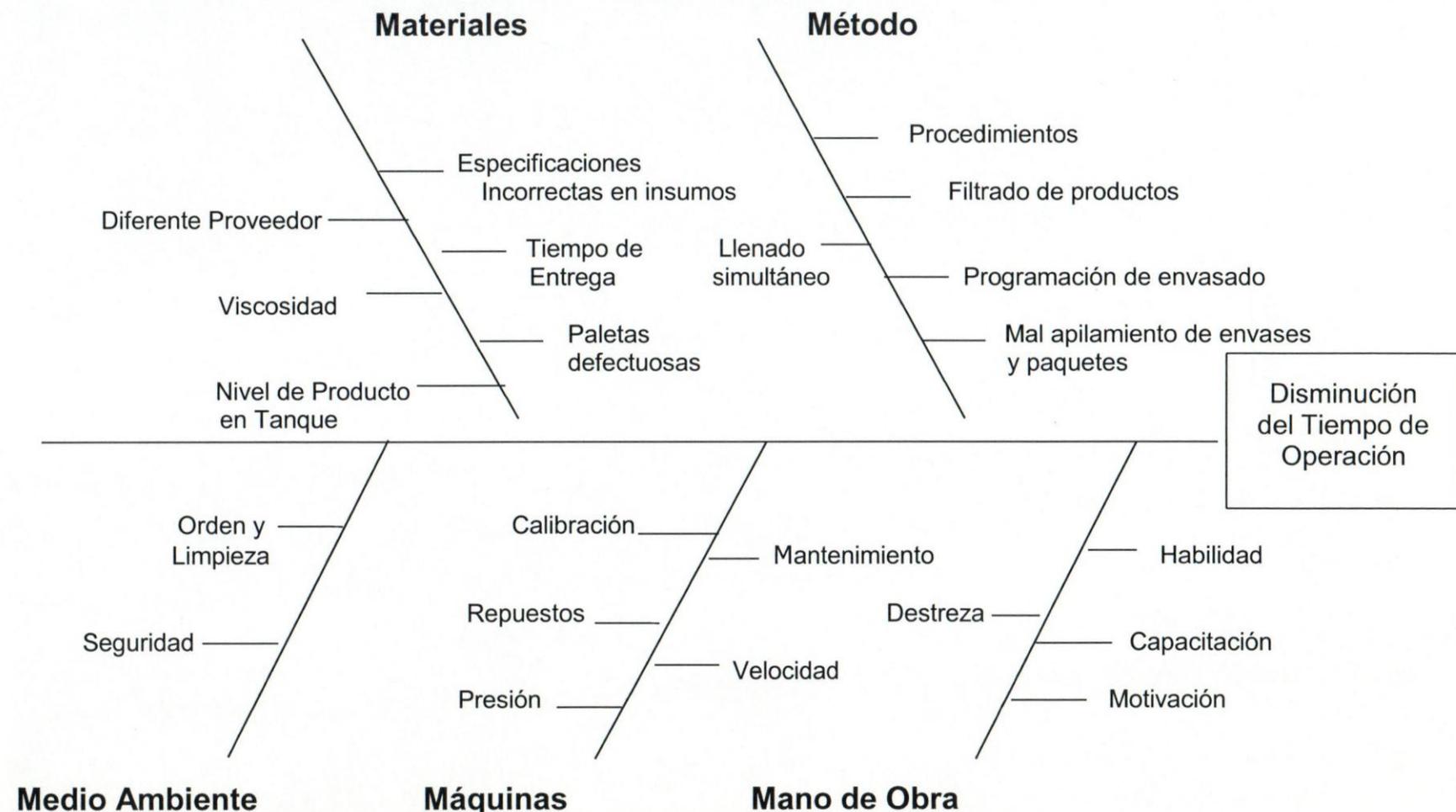


estudio del proceso, y para desarrollar un plan de recolección de datos.

El uso del Diagrama de Causa y Efecto hizo posible reunir todas las opiniones e ideas que tienen las personas vinculadas al proceso de envasado con respecto a las causas que originan los tiempos de parada de la línea. A continuación se presenta el diagrama Causa - Efecto que permite visualizar los elementos que contribuyen a la generación de paradas en el proceso de envasado:



Figura N° 4
DIAGRAMA CAUSA – EFECTO
TIEMPOS DE PARADA LINEA DE ENVASES PLASTICOS



Medio Ambiente
Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Máquinas

Mano de Obra



V.1.2.3 Control Estadístico de Procesos

El control estadístico constituyó una herramienta esencial para el seguimiento de las diversas fases del proceso. Los datos recopilados se manejaron estadísticamente con el fin de reducir la variabilidad y controlar y mejorar el proceso. Esta herramienta fue utilizada para determinar la probabilidad de que el tiempo de operación de las máquinas o del proceso sean aceptables, es decir, se encuentren dentro de los límites de tolerancia.

Para realizar el estudio estadístico de los datos se utilizaron los gráficos de control, los cuales representan la variabilidad del proceso en cuanto al tiempo de producción diario, que constituye la característica de calidad establecida para el seguimiento a través de los gráficos de control. De acuerdo a la característica de calidad establecida, se distinguen tres tipos de gráficos de control: por variables, por atributos y por número de defectos, el tiempo de operación representa una característica medible y cuantitativa, por lo cual los gráficos de control empleados son del tipo variable.



Existen diferentes gráficos de control por variables, en este caso, se utilizó el gráfico de medias - rangos. A continuación en la Tabla N° 9, se muestran los gráficos de control del proceso, utilizando como característica de calidad, el tiempo de operación de la línea en el turno de trabajo que se realizó el estudio:

Tabla N° 9
Gráficos de Control
Tiempo de Operación
Línea de Envases Plásticos

| N° de Subgrupo | Observaciones | | | | Media | Rango |
|----------------|---------------|-----|-----|-----|--------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | X | R |
| 1 | 217 | 299 | 330 | 362 | 302 | 145 |
| 2 | 297 | 309 | 327 | 273 | 301.50 | 54 |
| 3 | 315 | 326 | 368 | 313 | 330.50 | 55 |
| 4 | 345 | 321 | 367 | 316 | 337.25 | 51 |
| 5 | 299 | 370 | 229 | 324 | 306 | 141 |
| 6 | 222 | 271 | 330 | 217 | 260 | 113 |
| 7 | 259 | 278 | 327 | 345 | 302 | 86 |
| 8 | 283 | 275 | 330 | 273 | 290 | 57 |
| 9 | 330 | 309 | 330 | 303 | 318 | 27 |
| 10 | 316 | 290 | 264 | 295 | 291 | 56 |

Xm **303.85**

Rm **78.50**

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

a) Límites de Control para el gráfico de medias:

- Límite Central: LC: 303.85

- Límite de Control Superior: LCS: 361.08

- Límite de Control Inferior: LCI: 246.62



b) Límites de Control para el gráfico de rangos:

- Límite Central: LC: 78.50
- Límite de Control Superior: LCS: 174.90
- Límite de Control Inferior: LCI: 0

Los límites para los gráficos se calcularon mediante las fórmulas

Gráfico de Medias

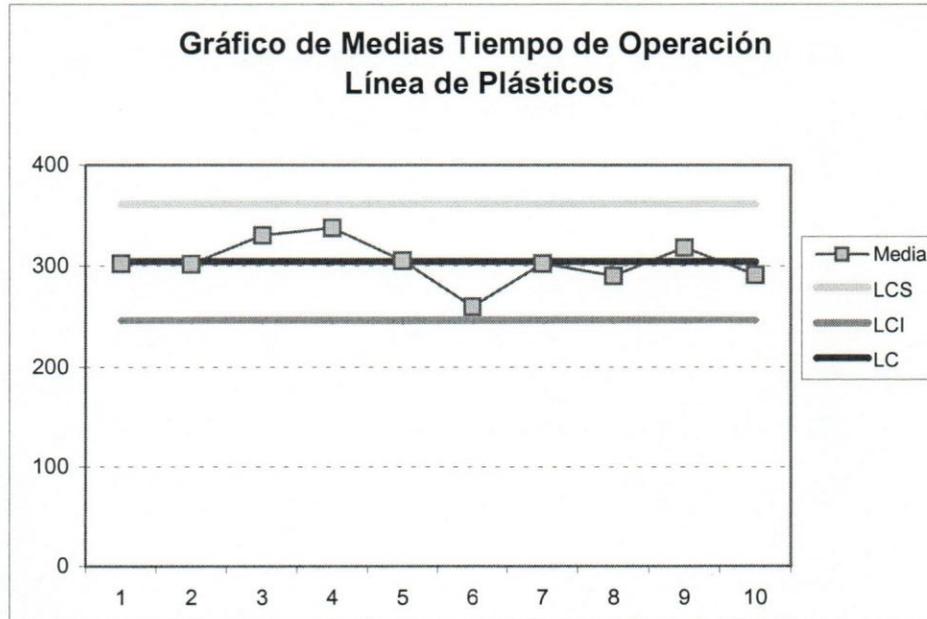
- Límite central: $LC = X_m$
- Límite de control superior: $LCS = X_m + A_2 * R_m$
- Límite de control inferior: $LCI = X_m - A_2 * R_m$

Gráfico de Rangos:

- Límite central: $LC = R_m$
- Límite de control superior: $LCS = D_4 * R_m$
- Límite de control inferior: $LCI = D_3 * R_m$

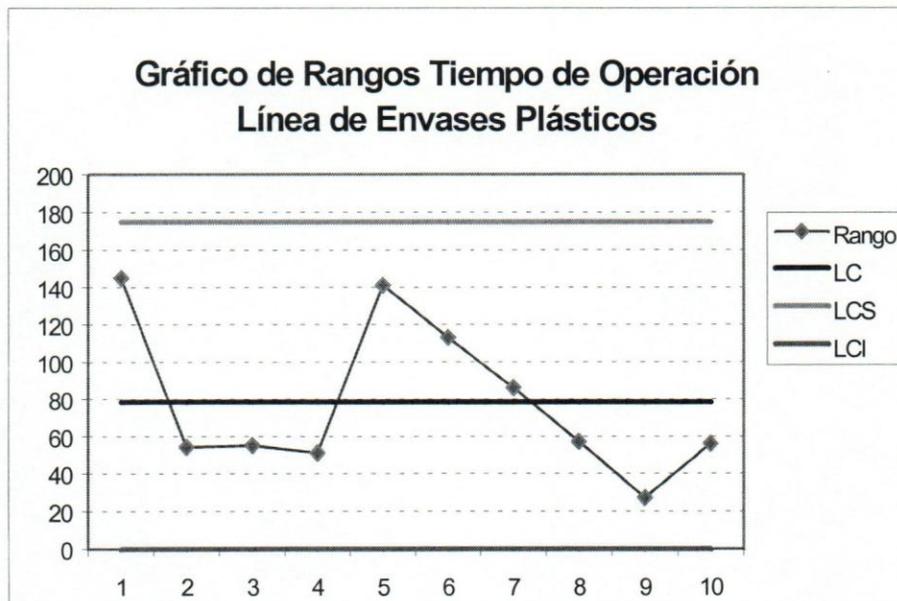
Los valores A_2 , D_3 , D_4 son tomados de la Tabla A (Anexo N° 1) para $n = 4$

Gráfico N° 3



Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 4



Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



En los gráficos anteriores, puede observarse que todos los puntos se encuentran dentro de los límites de control, por lo cual se determinó que de acuerdo a la característica de calidad seleccionada, el proceso se encuentra bajo control estadístico.

V.1.2.3.1 Capacidad del Proceso

Mediante la capacidad del proceso se trató de medir la frecuencia con que el proceso cumple con las especificaciones, y por tanto si la variabilidad de la característica se encuentra entre los límites de tolerancia establecidos. El cálculo de la capacidad se realizó una vez que se determinó que el proceso estaba en estado de control.

Para asegurar que el 99.7 por ciento de los tiempos de operación serán aceptables, se estableció que el intervalo definido por los límites de tolerancia (LTS-LTI) sea $\geq 6\sigma$. Los límites de tolerancia establecidos por turno de



trabajo para el cálculo de los índices de capacidad son:

Límite de Tolerancia Superior (LTS): 420 min

Límite de Tolerancia Inferior (LTI): 210 min

El LTS fue definido en base a las 8hrs (480min) de trabajo menos los tiempos de descanso para comer y cambiarse: 1 hora (60min), por lo tanto:

$$\text{LTS} = 480\text{min} - 60\text{min} = 420 \text{ min}$$

Para el LTI se estableció en previo acuerdo con la Dirección de la Planta, tomando en cuenta paradas por fallas imprevistas, inventario, lluvia o algún otro evento que interrumpa el funcionamiento de la línea, que debe ser del 50% del tiempo máximo de operación, es decir:

$$\text{LTI} = 420 * 0.5 = 210 \text{ min}$$



▪ **Indices de Capacidad**

Una vez determinado que el proceso se encuentra bajo control, se realizaron los cálculos de los índices de capacidad. Se establecieron dos índices de capacidad:

1. Índice de Capacidad Potencial

(Cp): Este índice evalúa cuantas veces se encuentra el intervalo 6 sigma dentro del intervalo de tolerancias (TS-TI). Corresponde al índice de capacidad a corto plazo.

Se expresa de la siguiente manera:

$$Cp = \frac{TS - TI}{6 \cdot s}$$

Para calcular el índice de capacidad potencial de la línea de envases plásticos, se determinó la desviación estándar de la población, mediante las siguientes fórmulas:

$$s = Rm / d_2$$

$$6.s = 6 \cdot Rm / d_2$$



* R_m = Rango promedio de los subgrupos

El valor d_2 se obtiene de la Tabla A para $n=4$ (ver Anexo N° 1)

$$s = 78.50 / 2.059 = 38.12$$

Entonces:

$$C_p = \frac{420\text{min} - 210\text{min}}{6 (38.12 \text{ min})} = 0.92$$

2. Índice de Capacidad Real (Cpk):

Para este índice se tiene en cuenta de que en la vida real no coincide con el valor central óptimo. Este índice calcula cuántas veces cabe realmente la distribución descentrada en el intervalo de tolerancia (TS-TI), se expresa de la siguiente manera:

$$C_{pk} = \text{Mínimo} \left[\frac{TS - X_m}{3 \cdot s}, \frac{X_m - TI}{3 \cdot s} \right]$$



$$TS - X_m / 3 * s = 420 - 303.85 / 3 * 38.12 = 1.01$$

$$X_m - TI / 3 * s = 303.85 - 210 / 3 * 38.12 = 0.82$$

Por lo tanto, el Cpk del proceso es igual a 0.82

Se tiene un proceso de calidad Seis Sigma cuando el Cpk = 1.5 y el Cp = 2,0 y el valor medio está descentrado del valor objetivo en 1,5 σ .

Ya que el proceso no cumple a cabalidad con estas disposiciones, se tienen que aplicar las medidas correctivas necesarias para minimizar la dispersión y de esta manera disminuir la desviación típica para aumentar los índices de capacidad.



V.1.2.4 Análisis Modal de Efectos y Fallos (AMEF)

Esta técnica es un método de análisis de fiabilidad cualitativo dirigido a identificar los modos de fallo cuyas consecuencias afectan de forma significativa al funcionamiento de la línea de envases plásticos. La metodología AMEF contribuyó a la investigación de los puntos de riesgo que tiene el proceso de envasado, para reducirlos a un mínimo, mediante la implementación de las acciones apropiadas. Para el desarrollo de cualquier AMEF, son necesarios la coordinación y el entendimiento de todos los departamentos afectados.

En la línea de envasado de plásticos no se ha desarrollado hasta el momento la metodología AMEF, por lo cual se hizo necesario la participación de los departamentos involucrados en el proceso (Calidad, Mecánica, Instrumentación, Operaciones) para su elaboración.

Los AMEF'S fueron elaborados utilizando como modelo el formato TPF-11 "AMEF de Proceso"



empleado por la Sección de Aseguramiento de Calidad para el proceso de mezclas, y se desarrollaron siguiendo los lineamientos establecidos en el instructivo TPI-11 "Elaboración de AMEF" del Manual de Tecnología de Productos.

En los AMEF del proceso, se establecieron los elementos en que el sistema falla con respecto a las especificaciones dadas. Así como las causas de los fallos y los controles previstos para evitar que ocurran los fallos. El formato de AMEF utilizado para desarrollar los AMEF del proceso de la línea de envases plásticos se muestra a continuación:



ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA POTENCIAL DEL PROCESO (AMEF DE PROCESO)

AMEF Número: _____

Página N°: _____ de _____

Preparado por: _____

Item: _____ Responsabilidad del Proceso: _____

Producto (Nombre/Código): _____ Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): _____

Grupo de Preparación: _____

Fecha del AMEF (Rev.): _____

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencia | Efecto(s) de la Falla Potencia | Sev | Causas | Causas/Mecanismo(s) de Falla Potenciales | Ocurrencia | Controles Actuales | Detección | N.P.R. | Acciones Recomendada | Responsable y Fecha Meta de Terminación | Resultados de Acciones | | | | | | |
|---------------------|------------------------|--------------------------------|-----|--------|------------------------------------------|------------|--------------------|-----------|--------|----------------------|-----------------------------------------|------------------------|-----|-----|-----|--------|--|--|
| | | | | | | | | | | | | Acciones tomadas | SEV | OCU | DET | N.P.R. | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

TPF-11

Revisión del formato: N°: 1

Fecha de Revisión: Septiembre 1995

De acuerdo a los criterios de los aspectos: severidad, ocurrencia y detección, que fueron explicados en el capítulo III, se evaluaron las fallas del proceso de la línea de envases plásticos y se elaboraron, para este proceso, los AMEF'S que permitieron analizar el funcionamiento de la línea, los cuales se presentan a continuación:

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto (s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas / Mecanismo(s) de Falla Potencial | O c c u r | Controles de Proceso Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Recepción de Insumos | <ul style="list-style-type: none"> - Insumos fuera de especificación (envases, cover, cartón separador, paletas) | <ul style="list-style-type: none"> - Dificultad para ajustar envases en guía - Caída de envases en barredora de envases - Dificultad para levantar cover y/o cartón separador - Dificultad para entrar en elevador - Pérdida de secuencia ó señal de la Despaletizadora | 5 | | <ul style="list-style-type: none"> - Dimensiones incorrectas - Mal ajuste de guía - Envases deformados - Defecto en banda transportadora - Superficie rugosa y/o material pesado | 5 | <ul style="list-style-type: none"> - Inspección de material de empaque, según instructivo LAI-078C - Prueba de funcionabilidad de envases - Verificación vs. Muestra patrón - Mantenimiento preventivo de instrumentos | 4 | 100 | <ul style="list-style-type: none"> - Seguimiento de la inspección de insumos - Revisión previa del ajuste de acuerdo a tipo de envases - Aumento del tamaño de la muestra en LAF-076C - Seguimiento al cumplimiento del Mantenimiento preventivo - Seguimiento de la inspección de insumos |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potenciales | O c u r r | Controles de Proceso Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Despaletizado De Insumos | - Envases caídos / trancados en distribuidor | - Paralización de la llenadora - Acumulación de envases | 5 | | - Paleta defectuosa - Superficie del envase - Condiciones de la cadena transportadora | 5 | - Pruebas de funcionabilidad | 5 | 125 | - Seguimiento de la inspección de insumos - Seguimiento de la inspección de insumos - Mantenimiento/ limpieza de la cadena transportadora |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potenciales | O c c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Llenado y Tapado de Envases | - Demora en el llenado de envases | - Baja producción - Baja eficiencia de la llenadora | 4 | | - Baja presión en la línea de llenado - Baja velocidad de la llenadora - Bajo nivel en el tanque - Filtrado de producto | 5 | - Ajuste de Presión de llenado | 5 | 100 | - Incorporación al proceso de bombas con mayor presión de descarga - Implantación de puesta a punto - Incorporación de elementos filtrantes con mayor flujo de salida |
| | - Llenado incompleto del envase | - Envases rechazados - Baja producción - Aumento de costos de producción | 6 | | - Viscosidad de producto - Baja Presión de llenado - Velocidad de la llenadora | 5 | - Ajuste de Presión de llenado - Aumento de Temperatura | 4 | 120 | - Incorporación al proceso de bombas con mayor presión de descarga - Implantación de puesta a punto |
| | | | S | C | | O | | D | N. | |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto (s) de la Falla Potencia | e v | l a s | Causas / Mecanismo(s) de falla potencial | c u r r | Controles Actuales | e t e c | P. R. | Acciones Recomendadas |
|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Llenado y Tapado de Envases | - Derrame de aceite sobre envases | - Aumento de mermas - Envases manchados - Envases rechazados - Parada para limpieza de llenadora | 6 | | - Baja temperatura de producto - Envases perforados o con rebaba interna - Falta de Repuestos - Envases obstruidos o perforados - Deformación en el pico de envase - Descalibración de la pesa - Ausencia de Liner | 5 | - Cambio de válvulas - Limpieza a estación de llenado - Inspección visual | 5 | 150 | - Ajuste de temperatura de llenado - Seguimiento de la inspección de insumos - Identificación de repuestos faltantes - Seguimiento de la inspección de insumos - Mantenimiento / limpieza frecuente de la máquina - Inspección |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto (s) de la Falla Potencia | S e v | C l a s | Causas / Mecanismo(s) de falla potencial | O c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|-----------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Llenado y Tapado de Envases | - Tapas obstruidas en Tolva | - Parada de la llenadora | 2 | | - Desprendimiento del conjunto de liners | 3 | - Inspección - Porcentaje de rechazo de envases por desprendimiento de liners | 4 | 24 | - Implantación de puesta a punto - Incremento de inspección en la recepción de insumos - Incluir la tolva de tapas dentro del plan de limpieza |
| | - Defectos en el tapado de envases | - No se asegura la calidad del producto - Reclamos de clientes - Reproceso | 5 | | - Ajuste de torque - Desalineación de mandriles y estrellas guías de botellas - Variabilidad de Medida de los | 5 | - Inspección los procesos de envasado y despacho | 5 | 125 | - Implantación de puesta a punto - Incremento de inspección en el proceso de envasado |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo (s) de falla potencial | O c u r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|-----------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|----------------------------|-----------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Llenado y tapado de envases | - Acumulación de envases en sistema divisor | - Mala imagen/ presentaciones del producto - Desigualdad en la cantidad de envases en canales | 5 | | - Envases y tapas - Defectos en selladora de tapas - Vida útil de cilindros - Piezas no originales - Desplazamiento de cilindros - Condiciones del transportador - Estabilidad del envase | 4 | - Pruebas de funcionalidad | 6 | 120 | - Incremento de inspección en la recepción de insumos - Mantenimiento / limpieza frecuente de la máquina - Seguimiento del Mantenimiento Preventivo de la máquina - Incremento de inspección en la recepción de insumos |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencia | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C i a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potencial | O c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Empacado de Envases | - Insumos fuera de especificación (cartón 12x1, bobina de plástico) | - Dificultad en la absorción de cartones - Aglomeración y obstrucción de cartones - Paralización de proceso - Pérdida de señal | 5 | | - Cartones en malas condiciones - Variación de dimensiones de bobina - Deformación de corel | 4 | - Inspección en recepción de insumos | 5 | 100 | - Aumento del tamaño de la muestra en LAF-078C - Incremento de inspección en la recepción de insumos - Incremento de la inspección de insumos |
| | - Acumulación de plástico en Baumer | - Paralización del proceso - Paquetes sin envolver o mal Envueltos | 5 | | - Falta de Mantenimiento - Falta de repuestos - Piezas no originales | 5 | - Inspección visual | 6 | 150 | - Mayor seguimiento a fallas reportadas que generen tiempos perdidos - Cambio de piezas gastadas |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potencial | O c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|---------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Empacado de envases | - Desincronización de la cadena de tiempos | - Caída de varillas - Reproceso - Envases aplastados o prensados - Reproceso - Pérdida de secuencia de la máquina | 3 | | - Plástico mal templado - Falla en el corte del plástico - Envases adelantados - Desgaste de piezas (cojinetes) - Falta de limpieza | 3 | - Inspección visual | 4 | 36 | - Implantación de puesta a punto - Cumplimiento del programa de mantenimiento preventivo - Seguimiento del Mantenimiento Preventivo de la Máquina - Cambio de piezas - Limpieza frecuente de la máquina |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002

Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potencial | O c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|---------------------|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Empacado de Envases | Rodillos envueltos de plástico | <ul style="list-style-type: none"> - Paquetes rotos en parte inferior - Paralización del proceso - Pérdida de secuencia | 5 | | <ul style="list-style-type: none"> - Desgaste de rodillos | 3 | <ul style="list-style-type: none"> - Limpieza de rodillos - Control de temperatura del baumer - Inspección visual | 4 | 60 | <ul style="list-style-type: none"> - Cambio de rodillos - Mantenimiento frecuente del sistema - Implantación de puesta a punto |
| | Paquetes mal envueltos | <ul style="list-style-type: none"> - Envases caídos - Reproceso | 6 | | <ul style="list-style-type: none"> - Desajuste de la temperatura del baumer - Posición del plástico | 4 | <ul style="list-style-type: none"> - Control de temperatura del baumer - Inspección visual | 4 | 96 | <ul style="list-style-type: none"> - Implantar planilla de seguimiento a la temperatura del baumer - Implantación de puesta a punto |

**ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA
POTENCIAL DEL PROCESO
(AMEF DE PROCESO)**

AMEF Número: _____
Página N°: de 10
Preparado por: _____

Item: _____
Responsabilidad del Proceso
Willian Guzmán
Producto (Nombre/Código):
Línea de Envases Plásticos
Fecha Clave: _____

Fecha del AMEF (Orig): Abril 2002
Fecha del AMEF (Rev): Mayo 2002

Grupo de Preparación: Willian Guzmán, Carlos Barrientos, Victor Medina, Mario Alvarado, Maria Lara, Mayda Alvarez

| Función del Proceso | Modo de Falla Potencial | Efecto(s) de la Falla Potencial | S e v | C l a s | Causas/ Mecanismo(s) de Falla Potencial | O c u r r | Controles Actuales | D e t e c | N. P. R. | Acciones Recomendadas |
|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Paletizado de paquetes | Pérdida de señal de la paletizadora | - Descontrol en la secuencia - Incorrecta posición de paquetes | 5 | | - Paletas defectuosas - Posición incorrecta de paleta | 4 | - Selección de paletas | 5 | 100 | - Creación de instructivo para el chequeo de paletas - Reparación de paletas defectuosas |
| | Rodillos impregnados de aceite | - Paquetes manchados - Perdida de secuencia en conformación de paletas - Demora en el empacado de los envases | 5 | | - Derrame de aceite proveniente de paquete | 4 | - Inspección visual de rodillos | 5 | 100 | - Establecer frecuencia de limpieza de rodillos |



Al realizar los AMEF'S se observó que existe gran cantidad de fallas en la línea de envasado de plásticos, las cuales son responsables de los tiempos de parada que se producen en la línea. Es por ello que se hace necesario llevar a cabo las acciones requeridas y recomendadas para mitigar la ocurrencia de estas fallas, para incrementar el rendimiento y la producción de la línea.

En este proyecto no se consideró el número de prioridad de riesgo (NPR) que resulta de la implantación de las acciones recomendadas, ya que muchas requieren cambio de piezas que no se tienen en inventario, su llegada demora cierto tiempo y además resultan costosas para la Planta.

Las herramientas descritas anteriormente: Pareto, AMEF, etc, fueron las utilizadas por el equipo Seis Sigma para reducir la variabilidad de la línea de envases plásticos mediante la implantación de Seis Sigma.

V.1.3 ANALIZAR

En la tercera fase, Análisis, del método de mejora para Seis Sigma: DMAMC, se analizaron los datos obtenidos sobre el funcionamiento del proceso. En algunos casos se trató de datos históricos, procedentes de los registros habituales de la organización y, en otros, fue necesaria una recolección específica de los datos, que la organización no utiliza normalmente.

El objetivo que se persiguió en esta fase fue observar la relación que tienen las variables consideradas en el estudio y los tiempos de paradas que presenta el proceso de la línea de envases plásticos.

Actualmente se llevan registros que relacionan los tiempos de parada, con los insumos, la parte mecánica, de instrumentación y operaciones. Sin embargo, no son suficientes para determinar la solución apropiada de esta falla.

En la fase Medir del ciclo DMAMC, se pudo observar que el desempeño actual del proceso no cumple con los



requerimientos de producción diaria. Además se pudo conocer que los índices de capacidad (real y potencial) no se encuentran dentro de los objetivos establecidos para tres (3) sigma, ya que para estos procesos, los índices deben ser: $C_p > 1$ y $C_{pk} \geq 1.33$, con lo cual se asegura una variabilidad mínima.

El proceso a pesar de moverse en intervalos de tres sigma aún no corresponde con la capacidad que tienen estos procesos, ya que los índices no satisfacen con el centrado, y no se podrán cumplir las especificaciones a pesar de los esfuerzos para que el proceso sea capaz de lograrlo.

El equipo Seis Sigma, mediante observación directa, analizó los datos actuales referentes al comportamiento de las variables señaladas como variables de entrada, ya que en la Planta no se manejaban registros históricos referentes a la relación de estas variables, por lo tanto se utilizaron herramientas gráficas y estadísticas como gráficos de barras, pruebas de dispersión, regresión y correlación, para conocer como influyen las variables de entrada sobre la de salida.



Es importante señalar que como pudo observarse en los AMEF'S del proceso realizados en la Fase Medir, existen una serie de fallas que interfieren en el desarrollo y desempeño del proceso, por lo cual el equipo seis sigma sugirió que se lleven a cabo las acciones recomendadas en los AMEF'S con el fin de que no interfiriesen en el análisis de las variables. Entre las acciones se resaltaron las siguientes:

- Mantenimiento frecuente a las máquinas y al sistema transportador.
- Reemplazo de piezas desgastadas o no originales (cilindros, cadenas, correas, sensores, válvulas, rodillos, etc)
- Uso de Paletas en buenas condiciones, tanto por los proveedores como por la Planta.
- Mayor inspección y exigencia en la calidad de los insumos (envases, tapas, plástico, cartones).
- Utilización de bombas con mayor capacidad de descarga para los productos que presenten frecuentes caídas de presión (Dos tiempos,)
- Mejor planificación en la programación de envasado, ya que se presentan ocasiones que se envasan en un



mismo turno, productos con características muy diferentes y los cambios requieren mucho tiempo, lo cual influye en el cumplimiento de la programación. Aunado a esto, debe solventarse la limitante operacional, que se presenta al envasar el mismo producto en diferentes líneas de envasado (pailas y tambores) ó se llene algún cisterna.

A continuación se presentan las especificaciones para las variables principales que fueron analizadas estadísticamente en el estudio realizado en la línea de envases plásticos de la Planta Envasadora de lubricantes Cardón:

- **Molde de Envase:**

La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón cuenta con dos proveedores de envases: envases Maggie Paul y Envases Domínguez y dos colores para sus envases: azul oscuro y gris. Los envases Maggie Paul son sólo de color azul y se utilizan para envasar los productos: Extra Monogrado y Extra Multigrado. Esta empresa utiliza cuatro moldes para sus envases: molde 1, molde 2, molde C, molde Z. Anteriormente, tenían un molde



denominado por la empresa Robocop, este envase ya no es utilizado, sin embargo se tomó en cuenta para el estudio de la variable, debido a que existían envases de este tipo en almacén y se utilizaron durante el periodo de estudio. Los envases Domínguez son de color azul y color gris y provienen de dos moldes: molde 1 y molde 2 para cada color respectivamente.

A continuación se presentan las especificaciones, establecidas en la planta, de los envases para cada proveedor:

Cuadro N° 6

Suplidor: Maggie Paul

Especificaciones Envase Azul (moldes 1 y 2)

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 108.95 | 108.11 | 0.84 |
| Profundidad, mm | 60.65 | 59.68 | 0.97 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 27.88 | 27.65 | 0.23 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 22.52 | 22.27 | 0.25 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 25.73 | 25.59 | 0.14 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | >10 | >0.50 |
| Envases caídos en transportador | 0 | 0.00 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 0 | 0.00 |
| Envases atacados en trigger | 3 | 0.15 |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

**Cuadro N° 7****Suplidor: Maggie Paul****Especificaciones Envase Azul (Molde C)**

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 108.5 | 107.51 | 0.99 |
| Profundidad, mm | 62.4 | 60.93 | 1.47 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 28.27 | 28 | 0.27 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 21.95 | 21.65 | 0.3 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 27.79 | 27.65 | 0.14 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | 17 | 0.81 |
| Envases caídos en transportador | 0 | 0.00 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 0 | 0.00 |
| Envases atacados en trigger | | |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

Cuadro N° 8**Suplidor: Maggie Paul****Especificaciones Envase Azul (Molde Z)**

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 108.1 | 107 | 1.1 |
| Profundidad, mm | 62.84 | 61.3 | 1.54 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 28.13 | 27.96 | 0.17 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 21.8 | 21.5 | 0.3 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 25.8 | 25.54 | 0.26 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | 13 | 0.77 |
| Envases caídos en transportador | 0 | 0.00 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 5 | 0.3 |
| Envases atacados en trigger | | |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

Cuadro N° 9**Suplidor: Domínguez****Especificaciones Envase Gris (molde 1)**

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 108.31 | 107.80 | 0.51 |
| Profundidad, mm | 61.48 | 61.25 | 0.23 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 27.85 | 27.45 | 0.40 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 21.38 | 21.21 | 0.17 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 25.55 | 25.33 | 0.22 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | < 80 | <0.83 |
| Envases caídos en transportador | 20 | 0.21 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 3 | 0.03 |
| Envases atacados en trigger | 15 | 0.16 |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

Cuadro N° 10**Suplidor: Domínguez****Especificaciones Envase Gris (molde 2)**

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 108.45 | 108.00 | 0.45 |
| Profundidad, mm | 62.29 | 60.85 | 1.44 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 27.92 | 27.73 | 0.19 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 21.92 | 21.52 | 0.40 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 25.66 | 25.39 | 0.27 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | <20 | <0.70 |
| Envases caídos en transportador | 5 | 0.18 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 2 | 0.07 |
| Envases atacados en trigger | 4 | 0.14 |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

Cuadro N° 11**Suplidor: Domínguez****Envase Azul: molde (molde 1 y 2)**

| Característica | Mayor | Menor | Variac. |
|---------------------------------|--------------|--------------|----------------|
| Ancho del cuerpo, mm | 109.55 | 108.34 | 1.21 |
| Profundidad, mm | 62.47 | 61.00 | 1.47 |
| Diámetro rompe precinto, mm | 28.35 | 28.10 | 0.25 |
| Diámetro interno del cuello, mm | 22.32 | 21.31 | 1.01 |
| Diámetro externo del cuello, mm | 25.87 | 25.53 | 0.34 |

| Parámetro de Aceptación | Cant. | % |
|-----------------------------------|--------------|----------|
| Envases caídos en despaletizadora | < 5 | > 0.63 |
| Envases caídos en transportador | 3 | 0.38 |
| Derrames durante el llenado | 0 | 0.00 |
| Envases con fuga por el cuerpo | 0 | 0.00 |
| Tapas con problemas de liner | 2 | 0.25 |
| Envases atacados en trigger | 1 | 0.13 |

Fuente: Manual de Tecnología de Productos (Año 2001)

- Viscosidad a 100°C:

Dependiendo del uso o función que tiene el producto, se requiere que estos sean más y/o menos viscosos. Por lo cual existen varios rangos de viscosidad para los diferentes productos que se envasan en la Planta. Cada vez que se vaya a envasar un producto, este primero es analizado en el laboratorio de la Planta, y será aceptado si se encuentra dentro del rango de especificaciones establecido. En la Tabla N° 10 se muestran los rangos de viscosidad para los productos

Tabla N°10

Rangos de Viscosidad productos Línea de Envases Plásticos

| Viscosidad (cts) | Producto |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 5 - 16 | Fuera de Borda, Dos Tiempos Extra Monogrado SAE 40, Extra Multigrado 20W-40, Translub EP 80W-90 Supra SJ 15W-40, Supra SL 15W-40 |
| 18 - 31 | Extra Monogrado SAE 50, Extra Multigrado SAE 20W-50, Supra Sintético MX, Supra Sintético SJ Translub EP 85W-140 |

Fuente: Panel de control de máquina Llenadora (Año 2002)

- Presión de llenado:

Debido a que en la planta se mezclan y envasan diferentes productos existen una serie de tanques destinados para cada producto. Cada tanque posee una bomba que permite enviar el producto desde el tanque hasta la máquina llenadora. Las capacidades de estas bombas difieren, por lo que existen bombas que permiten mayor descarga que otras.

De acuerdo a la presión de descarga que recibe la máquina, se ajusta la presión de llenado para el



envasado de los productos. La presión de llenado esta influida además por la viscosidad del producto, los productos más densos necesitan menos presión y viceversa.

Además de la viscosidad del producto, influyen en la presión, el uso de filtros para los productos de mayor calidad y el llenado simultáneo de cisternas, lo cual reduce la presión de descarga en la línea. En la máquina se tiene establecida una receta para cada producto, en esta receta se presentan condiciones a las cuales puede trabajar el producto.

Para la presión de llenado, está establecido un rango de presión y se indica además la presión de preajuste con la que puede comenzarse a trabajar. En la Tabla N° 11 se observa la presión de llenado en milibars (mb) para los productos:



Tabla N° 11

Presión de llenado Productos Línea de Envases Plásticos

| Producto | Presión Máxima (mb) | Presión Preajuste (mb) |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|
| Transfluido D-III | 200 | 60 |
| Transfluido D-II, Dos tiempos | 250 | 60 |
| Fuera de Borda TCW-II, TCW-3 | 250 | 160 |
| Supra Premium SL SAE 15W- 40, Supra SH SAE 15W-40, Supra SJ SAE 10W- 30 | 300 | 150 |
| Supra SJ 15W-40 | 400 | 150 |
| Extra Mutigrado SAE 20W-50 | 500 | 200 |
| Supra Mx Sintético SAE 20W-50 | 500 | 350 |
| Extra Monogrado SAE 50 | 750 | 250 |
| Translub EP SAE 85W-140 | 700 | 390 |

Fuente: Panel de control de máquina llenadora (Año 2002)



Como se mencionó anteriormente, los datos que permitieron relacionar las variables seleccionadas, se obtuvieron mediante observación directa al proceso. Las herramientas estadísticas utilizadas para el análisis de las variables fueron los siguientes:

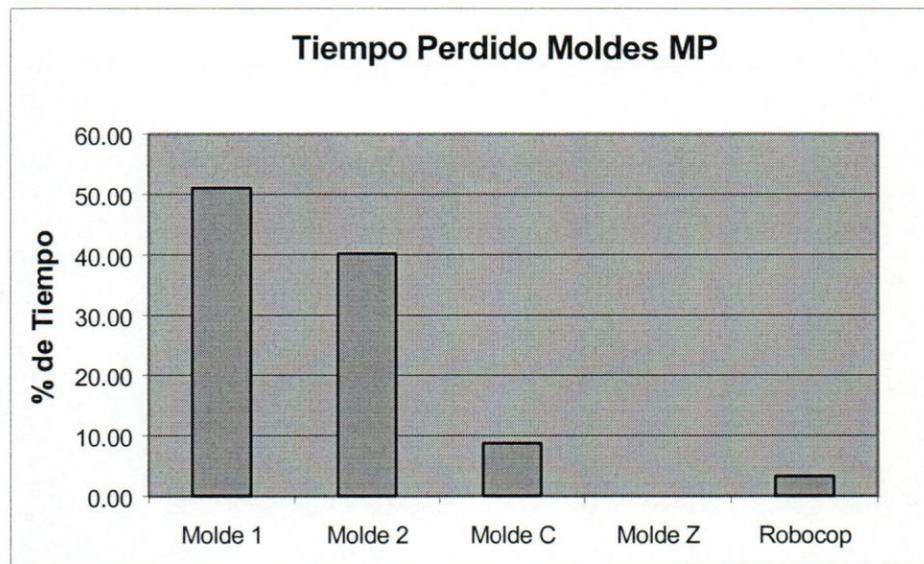
V.1.3.1 Gráfico de Barras:

La herramienta empleada para el análisis del tipo de molde fueron los gráficos de barras, ya que, uno de los proveedores envía las paletas de envases con diferentes moldes en una misma paleta, por lo cual no es muy exacto distinguir el molde que genera mayor tiempo de parada. Sin embargo, durante el estudio del tipo de molde se observó en cada parada motivada por esta variable, el proveedor y el molde al que pertenecía el envase. Las paradas del proceso que se tomaron en cuenta para el estudio del molde del envase, fueron las que se producen en el distribuidor de envases (envases caídos ó trancados), la perdida de secuencia en el tornillo sin fin a la entrada de la llenadora y la acumulación de envases en el sistema divisor. De estas



observaciones se obtuvieron las siguientes conclusiones:

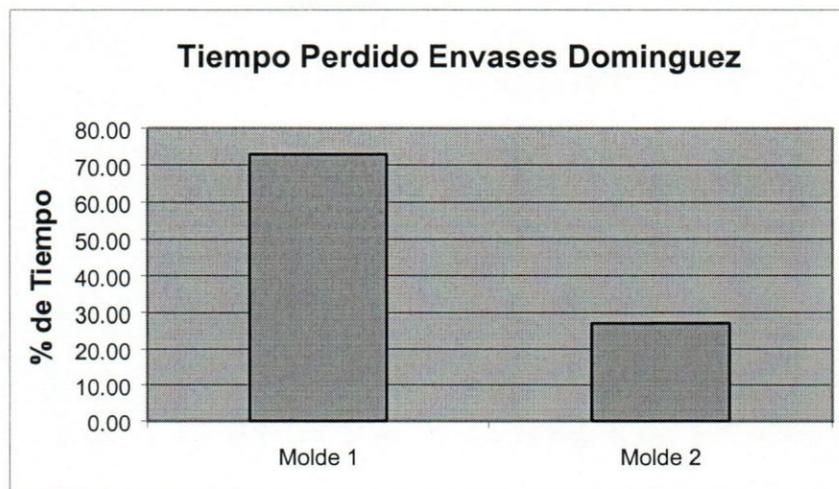
Gráfico N° 5



Proveedor: Maggie Paul:

| Molde 1 | Molde 2 | Molde C | Molde Z | Robocop | Total |
|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 51.09 | 40.22 | 8.7 | 0 | 3.26 | 100 |

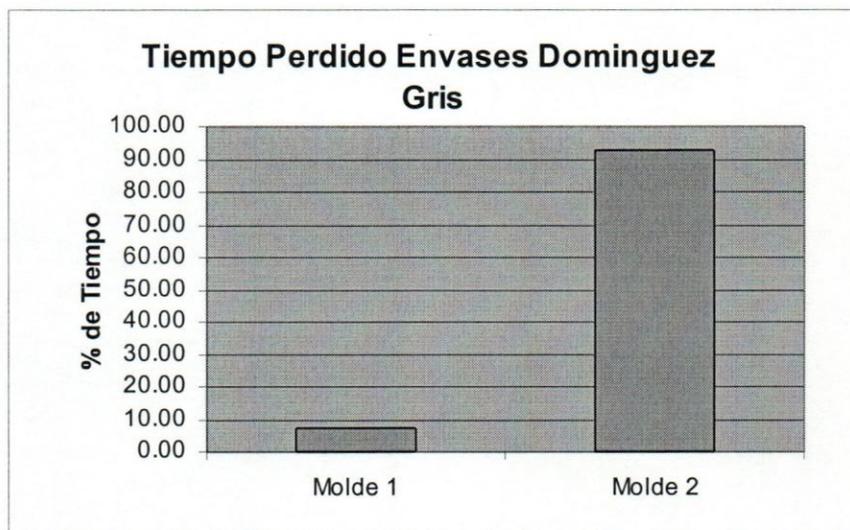
Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 6


Proveedor: Domínguez (color azul)

| Molde 1 | Molde 2 | Total |
|---------|---------|-------|
| 72.92 | 27.08 | 100 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

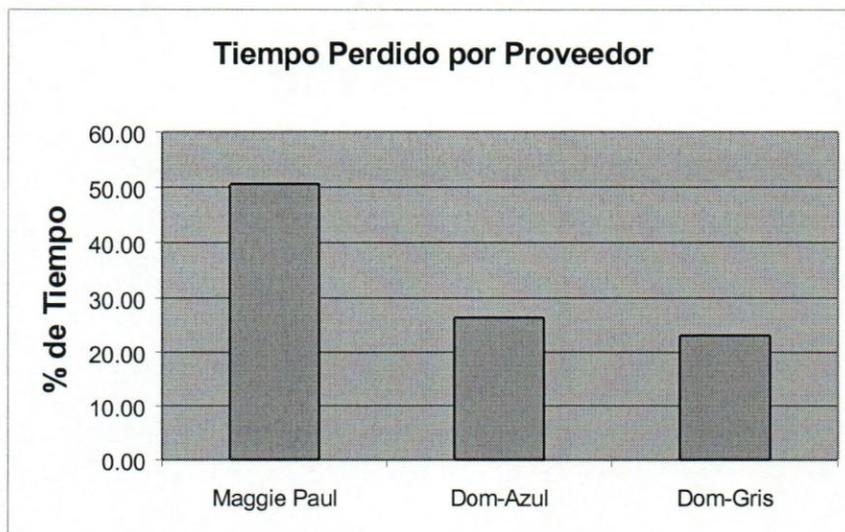
Gráfico N° 7


Proveedor: Domínguez (color gris)

| Molde 1 | Molde 2 | Total |
|---------|---------|-------|
| 7.14 | 92.86 | 100 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 8

**Tiempo Perdido por Proveedor**

| Maggie Paul | Domínguez Azul | Domínguez Gris |
|-------------|----------------|----------------|
| 50.55 | 26.37 | 23.08 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Las gráficas anteriores permitieron inferir que de los proveedores de envases de la planta, los envases Maggie Paul ocasionaron mayor porcentaje de paradas al proceso (50.55%). De estos envases se pudo conocer que el molde 1 (cavidades 1-6) provocó mayor número de paradas (51.09), y con el molde que se pierde menos tiempo es el molde C (8.7%). El molde robocop no fue tomado en cuenta, ya que dejó de ser utilizado en el proceso.



De los envases Domínguez, se pudo determinar que los envases color gris funcionan mucho mejor que los de color azul. Sin embargo, la diferencia de tiempo entre estos envases no es muy considerable (3.29%) .

El tiempo total perdido por ambos proveedores fue similar, por lo cual se pudo inferir que las condiciones de los cilindros (sistema divisor) y de la cadena transportadora pueden influir en el funcionamiento del proceso.

V.1.3.2 Análisis de Regresión y Correlación

Los análisis de regresión y correlación fueron seleccionados para estudiar las variables: viscosidad y presión de llenado. Estos análisis permitieron al equipo seis sigma estudiar la relación tienen estas variables entre sí y con otras fallas del proceso.



V.1.3.2.1. Análisis de Regresión: Viscosidad vs Presión de llenado

En las especificaciones de la variable viscosidad a 100°C se mencionó que existen productos de mayor viscosidad que otros, por lo cual se requiere que la presión de llenado sea diferente para cada producto. Los análisis de regresión y correlación permitieron establecer la relación o asociación existente entre estas dos variables. De las cuales se fijó como variable conocida X (independiente), la viscosidad a 100°C medida en centistokes (cts), ya que esta es calculada en el laboratorio y es manifestada al operador de la línea, y él posteriormente ajustará la presión (variable dependiente Y), medida en milibars (mb) apropiada para el producto.

Los análisis de regresión y correlación fueron elaborados en el paquete estadístico SPSS, que mantiene la planta,



y para los cuales se tomaron 15 muestras. Mediante el programa se obtuvo el diagrama de dispersión de los datos, el cual permitió observar la relación entre las variables y la ecuación de estimación que describe esta relación.

También se muestran los valores de los coeficientes a utilizarse en la ecuación de regresión, la cual es calculada posteriormente utilizando dichos coeficientes, el error típico de la estimación y la medida de correlación entre las variables.

A continuación se muestra en la Tabla N° 12 los datos referidos a la viscosidad fueron suministrados del sistema COSME y los de presión de llenado, del formato LOF-015C que se utilizaron para realizar el análisis. Los resultados obtenidos en el programa se presentan en el Anexo N° 2.

Tabla N° 12

Datos del Análisis Viscosidad vs Presión de llenado

| Viscosidad (cts) | Presión (mb) |
|------------------|--------------|
| 19.58 | 350 |
| 19.58 | 365 |
| 18.23 | 250 |
| 6.94 | 80 |
| 6.94 | 60 |
| 14.97 | 165 |
| 14.55 | 150 |
| 15.20 | 150 |
| 7.83 | 60 |
| 19.76 | 450 |
| 6.94 | 80 |
| 19.76 | 450 |
| 7.82 | 60 |
| 15.20 | 150 |
| 19.58 | 350 |

Fuente: Equipo Seis Sigma(Año 2002)

Los coeficientes b_0 y b_1 que indica el programa son los coeficientes conocidos como a y b de la ecuación de la recta: $Y = a + bX$.



Donde: $b_0 = a = -133.30$ = Intersección en Y

$b_1 = b = 24.2836$ = Pendiente de la línea

La ecuación quedó definida de la siguiente manera:

Presión = - 133,30 + 24.2836 Viscosidad a 100°C

El coeficiente de correlación obtenido $r = 0.903$ permite establecer que las variables están directamente relacionadas, es decir que la variable Y aumentará al hacerlo la variable X.

La confiabilidad de la ecuación es alta ya que el coeficiente de determinación $r^2 = 0.815$ indica que existe una fuerte correlación entre las variables y el 81.5% de la variación de la presión es explicado por la variación de la viscosidad a 100°C.

V.1.3.2.2 Análisis de Regresión Presión vs N° de Rechazos

Además del análisis de regresión realizado con la viscosidad a 100°C, se llevó a cabo otro análisis de regresión pero con el "N° de envases rechazados



por peso”, lo cual constituye una falla del proceso considerada en los AMEF’S de la fase II: Medir.

Como variable independiente se estableció la presión de llenado (X) y el número de rechazos por peso como dependiente (Y), este número de rechazos se obtiene en la máquina, ya que esta rechaza automáticamente los envases que se encuentren fuera de las especificaciones de llenado. Los datos para realizar el análisis fueron recolectados del Formato LOF-015C que es llenado por el operador de la línea de envases plásticos. Para realizar el análisis se tomaron 10 muestras cuyos datos se presentan en la Tabla N° 13 y la salida efectuada por el programa SPSS se muestran en el Anexo N°3.



Tabla N° 13

Datos del Análisis Presión de llenado vs N° de envases rechazados

| Presión (mb) | N° de Rechazos |
|--------------|----------------|
| 350 | 39 |
| 365 | 23 |
| 250 | 17 |
| 80 | 29 |
| 60 | 43 |
| 165 | 155 |
| 80 | 74 |
| 450 | 96 |
| 150 | 58 |
| 350 | 55 |

Fuente: Equipo Seis Sigma(Año 2002)

Los coeficientes y la ecuación obtenida fueron:

$$b_0 = a = 60.98$$

$$b_1 = b = -0.009$$

$$\text{N° de Rechazos por peso} = 60.98 - 0.009 \text{ Presión}$$

El análisis de regresión del número de rechazos muestra una relación lineal inversa en sus variables, es decir, a mayor presión, menor número de rechazos por peso. Esta relación no



presenta mayor grado de confiabilidad debido al bajo coeficiente de determinación $r^2 = 0.09\%$ lo que implica un coeficiente de correlación $r = -0,031$ muy cercano a cero que permite asegurar que no existe ningún tipo de correlación.

V.1.3.2.3 Análisis de Regresión Tiempo de parada vs Producción

En el estudio se realizó un análisis de regresión y correlación para expresar estadísticamente una petición de parte de la Gerencia de la Planta, en el cual se manifiesta la relación existente entre los tiempos de parada y la producción. Este análisis sirve de guía al momento de la programación de la producción diaria, la cual es casi constante, a diferencia de la producción obtenida en la línea. Se estableció como variable independiente (X), el tiempo de parada de la línea (minutos) y como dependiente de esta, la



producción diaria (envases) como variable Y. Los datos fueron recopilados del formato LOF-015C, cuya información es registrada diariamente, y se presentan en la Tabla N° 14. Los resultados obtenidos en el programa SPSS se muestran en el Anexo N° 4.

Tabla N° 14

Datos del Análisis Tiempo de parada vs Producción

| Tiempo de parada (min) | Producción (envases) |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 142 | 71630 |
| 93 | 91624 |
| 75 | 72017 |
| 137 | 52663 |
| 145 | 33630 |
| 111 | 58739 |
| 90 | 69494 |
| 111 | 48000 |
| 105 | 50364 |
| 94 | 57600 |
| 52 | 81600 |



Tabla N° 14 (Cont.)

Datos del Análisis Tiempo de parada vs Producción

| Tiempo de parada (min) | Producción (envases) |
|------------------------|----------------------|
| 107 | 44784 |
| 75 | 68160 |
| 99 | 72960 |
| 104 | 46080 |
| 121 | 78720 |
| 191 | 59520 |
| 96 | 85440 |
| 198 | 48144 |
| 79 | 48876 |

Fuente: Equipo Seis Sigma(Año 2002)

Los coeficientes y la ecuación obtenida fueron:

$$b_0 = a = 80832.7$$

$$b_1 = b = -169.26$$

$$\text{Producción} = 80832.7 - 169.26 \text{ Tiempo de Parada}$$

Al igual que el análisis anterior, se presenta una relación inversa entre las variables, a mayor tiempo de parada menor producción se obtendrá en la



línea. En este caso los coeficientes de correlación $r = -0.395$ y determinación $r^2 = 15.60\%$ permiten inferir que existe relación entre las dos variables aunque de manera opuesta y la variación en el tiempo de parada explica 15.60% de la variación de la producción.

V.1.3.2.4 Análisis de Regresión Presión vs Producción

Como se mencionó anteriormente en las especificaciones de la presión de llenado, esta variable se ve influenciada por el filtrado de productos ó cuando se realiza el llenado simultáneo de cisternas o en otra línea de envasado, ya que al realizarse alguna de estas actividades se presentan caídas de presión ó la presión no es suficiente para ajustar niveles de velocidad de llenado más altos, por lo que debe envasarse a baja velocidad y la producción es más



limitada. Por lo cual el equipo Seis Sigma decidió utilizar el análisis de regresión para determinar la relación existente entre la presión y la producción. Los datos del análisis se presentan en la Tabla N° 15 y la salida del programa SPSS se muestran en el Anexo N° 5

Tabla N° 15

Datos del Análisis Presión vs Producción

| Presión (Kg/cm³) | Producción (envases) |
|------------------------------------|-----------------------------|
| 0.86 | 33630 |
| 1.12 | 39000 |
| 1.35 | 56775 |
| 1.65 | 47629 |
| 1.77 | 56714 |
| 2.47 | 69494 |
| 3.5 | 57646 |
| 3.5 | 58739 |

Fuente: Equipo Seis Sigma(Año 2002)



Mediante este análisis se estableció que existe una relación directa entre las variables (a mayor presión, mayor producción) y se conoció que el coeficiente de relación (r) es igual a 0.673 y el coeficiente de determinación r^2 indicó que el 45.29% de la variación de la producción se debe a la variación de la presión de descarga.

V.1.3.3 Análisis de Varianza

El equipo Seis Sigma ha considerado que uno de los factores que influye en la presión de descarga y por ende en el desempeño de la línea, es el uso de filtros para algunos productos, lo cual constituye un requerimiento que permite distinguir la calidad de los productos que son sometidos a este proceso de filtrado. Cuando se envasan productos utilizando filtros, se reduce la presión a la cual debe llenarse el envase y no puede trabajarse a altas velocidades como es deseado por la Gerencia. Este dispositivo no puede ser eliminado sin embargo pueden sustituirse las bombas que proporcionan el caudal,



por otras que den mayor caudal ó los filtros pueden ser sustituidos por otros filtros de mayor capacidad.

El análisis de varianza permite comprobar entre un grupo de datos cual es el factor de mayor peso y comparar la media con un estadístico de prueba, para verificar igualdad estadística en los promedios. Por tal motivo se decidió usar el análisis de varianza (ANOVA) para comprobar si los valores promedios de paradas entre los productos envasados con filtro y sin filtro son estadísticamente iguales y verificar si realmente este dispositivo tiene relevancia en el estudio.

El análisis de varianza aplicado se realizó tomando diez muestras aleatorias de tres productos diferentes, envasados con filtro y sin filtro, con la finalidad de comprobar a través de una prueba de hipótesis que no existe diferencia significativa en los tiempos de parada entre ellos. Se tomaron muestras de los productos Transfluido DII (sin filtro) y Extra Multigrado y Supra SJ (con filtro). La prueba de hipótesis consistió en asegurar que los



promedios de los tiempos de Parada son estadísticamente iguales y obtener resultados que respalden los análisis de regresión y correlación.

Prueba de Hipótesis:

$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ → Hipótesis Nula

$H_1 = \mu_1, \mu_2 \text{ y } \mu_3 \text{ no son todas iguales}$ → Hipótesis alternativa

Nivel de significancia: 0.05

Para probar la hipótesis, se estableció que si el valor calculado de F excede el valor de la tabla de valores de F (tabulado) con 0.05 del área en el extremo derecho (Anexo N°6), se rechaza la hipótesis nula, de lo contrario se acepta. Para el análisis de varianza se utilizó el método tradicional, siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Determinación de la estimación de la varianza de la población a partir de la varianza entre las medias muestrales.



2. Determinación de una segunda estimación de la varianza de la población a partir de la varianza dentro de las muestras.
3. Comparación de las dos estimaciones, si tienen un valor aproximadamente igual, se acepta la hipótesis nula.

V.1.3.3.1 Cálculo de las estimaciones de varianza de la población

Estimación de la varianza de la población a partir de la varianza entre las medias muestrales

El cálculo de esta estimación se realizó siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Se determinaron las medias muestrales (ver Tabla N°16) de la producción obtenida (n° de envases) de los productos envasados con y sin filtro:



Tabla N° 16
Producción obtenida con y sin filtro (envases)

| | Transfluido DII | Extra Multigrado | Supra SJ |
|----------------|------------------------|-------------------------|-----------------|
| | 81600 | 68160 | 70860 |
| | 55896 | 69120 | 34679 |
| | 96000 | 84480 | 69570 |
| | 109440 | 83520 | 49450 |
| | 103750 | 40774 | 58817 |
| | 75986 | 61011 | 66522 |
| | 97787 | 56714 | 47629 |
| | 85180 | 56065 | 45547 |
| | 84742 | 51840 | 55840 |
| | 71418 | 68160 | 77867 |
| Total = | 861799 | 639844 | 576781 |
| \bar{x} = | 86179,9 | 63984,4 | 57678,1 |

Fuente: Equipo Seis Sigma(Año 2002)

2. Se determinó la media general de los datos,
mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Media general} = \bar{X} = \frac{\text{Total 1} + \text{Total 2} + \text{Total 3}}{N}$$

Donde:

Total 1 = Total de la Producción de Transfluido DII

Total 2 = Total de la Producción de Extra Multigrado

Total 3 = Total de la Producción de Supra SJ



N = Tamaño total de las muestras

$$X = (861799 + 639844 + 576781) / 30 = 69280,8$$

3. Se calculó la estimación mediante la siguiente fórmula:

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{\sum \eta_j (x_j - X)^2}{k - 1}$$

Donde : $\tilde{\sigma}^2$ = primera estimación de la varianza de la población basada entre las medias muestrales (varianza entre columnas)

η_j = tamaño de la muestra j-ésima

\bar{x}_j = la media muestral de la muestra j-ésima

X = la media general

K = el número de muestras

$$\tilde{\sigma}^2 = \frac{10 [(86179,9 - 69280,8)^2 + (63984,4 - 69280,8)^2 + (57678,1 - 69280,8)^2]}{3 - 1}$$
$$\tilde{\sigma}^2 = 2.241.270.406 \text{ (varianza entre columnas)}$$

Estimación de la varianza de la población a partir de la varianza dentro de las muestras

Para determinar esta estimación primero se calcularon las varianzas de las tres muestras:

$$\sum (x - \bar{x})^2$$



$$\text{Varianza muestral: } s^2 = \frac{\text{-----}}{n - 1}$$

$$s_1^2 = 2.343.886.529 / 9 = 260.431.836,6$$

$$s_2^2 = 1.673.580.784 / 9 = 185.953.420,4$$

$$s_3^2 = 1.650.469.957 / 9 = 183.385.550$$

Y la segunda estimación se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\tilde{\sigma}^2 = \sum (n_j - 1 / n_t - k) s_j^2$$

Donde:

$\tilde{\sigma}^2$ = segunda estimación de la varianza de la población basada en las variaciones dentro de las muestras (varianza dentro de columnas)

n_j = tamaño de la j-ésima muestra

s_j^2 = varianza muestral de la j-ésima muestra

k = número de muestras

$n_t = \sum n_j$ = tamaño total de la muestra

$$\begin{aligned} \tilde{\sigma}^2 = & (9 / 27)(260.431.836,6) + (9 / 27)(185.953.420,4) + \\ & (9 / 27)(183.385.550,8) \end{aligned}$$



$$\tilde{\sigma}^2 = 209.923.602,6 \text{ (varianza dentro de columnas)}$$

Una vez calculadas las estimaciones se comparan determinando su razón, denominada F, como sigue:

$$F = \frac{\text{Varianza entre columnas}}{\text{Varianza dentro de columnas}}$$

$$F = \frac{2.241.270.406}{209.923.602,6} = 10.68$$

A continuación se obtuvieron los grados de libertad (gl), tanto para el numerador de la razón F como para el denominador, los cuales determinaron el límite de la región de aceptación (F tabulado):

$$\text{Grados de libertad del numerador} = \text{Número de muestras} - 1 \Rightarrow \text{gl} = 3 - 1 = 2$$

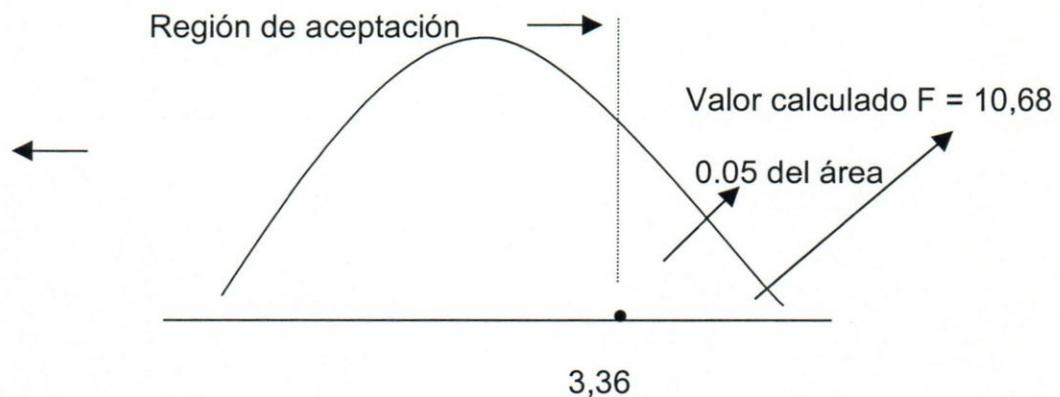
$$\text{Grados de libertad del denominador} = n_t - k \Rightarrow \text{gl} = 30 - 3 = 27$$

Obtenidos los grados de libertad para el denominador y el numerador de la razón f, se determinó el valor de F tabulado interpolando los valores de la Tabla del Anexo N° 6:

F tabulado = 3.36

Como $F_{\text{calculado}} = 10,68$ es mayor que $F_{\text{tabulado}} = 3,36$ entonces se rechaza H_0 como verdadera.

Figura N° 5
Curva para la Estimación de Varianza



- Fuente: Levin Richard. Estadística para Administradores (Año 1998)

Mediante el análisis de varianza se demostró que las medias muestrales difieren significativamente, por lo que se pudo inferir que las bombas utilizadas actualmente influyen en la productividad de la línea.

V.1.4 MEJORAR

En la fase de Mejora, el equipo trató de buscar la solución estadística al problema, determinando las relaciones causa – efecto, para identificar la combinación o situación de las



variables, que sea más adecuada para conseguir los valores óptimos de éstas. La eliminación u optimización de las variables que más influyen en la dispersión de las características del proceso a mejorar fue una de las tareas de esta fase.

Para ello, el equipo Seis Sigma identificó las diferentes alternativas para llevar a la práctica la solución. Se realizaron las pruebas necesarias, mediante el Diseño de Experimentos (DOE), para comprobar los resultados esperados antes de implantar definitivamente las acciones que permitan mejorar el rendimiento de la línea.

V.1.4.1 Diseño del Experimento

Mediante el DOE se trata de reducir la variabilidad de la (s) respuesta(s) de interés que caracteriza(n) el proceso, frente a las variaciones presentadas por las variables

En esta fase se utilizó uno de los enfoques del Diseño de Experimentos: el método de Taguchi, el cual está basado en el empleo de una función de



pérdida, la utilización de una matriz de diseño ortogonal para llevar a cabo los experimentos y el análisis de la combinación óptima según los objetivos buscados.

A través de los Análisis de Regresión y Correlación, se determinó la relación entre las variables de estudio, sin embargo, éstas herramientas no aportaron una explicación definitiva. El diseño de experimentos permite que las variables se interrelacionen entre sí pero de manera independiente.

V.1.4.1.1 Método de Taguchi

El método propuesto por Taguchi, consiste en establecer un arreglo matricial, bajo el cual se definen ciertos factores que influyen sobre una respuesta de calidad, y que son controlables, así como en el posterior diagnóstico mediante el “análisis de las medias”.



La metodología de Taguchi se presenta como una de las herramientas claves en la reducción de la variabilidad de las líneas de envasado de la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. El método ha sido aplicado en la línea de envases plásticos, la cual es la que presenta mayor variabilidad en su proceso.

La aplicación del DOE basado en el método de Taguchi, en la línea de envases plásticos se desarrolló siguiendo los pasos que se describen a continuación:

1. Establecimiento de Objetivos:

Una de las fuentes de variación que se han venido presentando en la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón y que no ha podido ser corregida, es el tiempo que se pierde en el proceso de la línea de envases plásticos. Este



problema viene a ser uno de los más importantes ya que ha provocado descontento en la Gerencia por el incumplimiento de la producción programada diariamente y el mantenimiento de bajos niveles de inventario.

Con la aplicación del método de Taguchi el equipo Seis Sigma estableció como objetivo principal la identificación de las combinaciones que ofrecen mejores resultados para la productividad de la línea de envases plásticos tanto desde el punto de vista técnico como económico. Las combinaciones óptimas se determinaron mediante las respuestas obtenidas en los experimentos. Las respuestas definidas por el equipo Seis Sigma fueron el tiempo de operación de la línea y la producción obtenida.



2. Planificación de los experimentos:

En esta etapa se analizaron los factores que influyen de manera determinante en el proceso, se evaluaron los niveles para dichos factores, se planificaron el número de ensayos, la metodología a utilizar y el tiempo de duración en el cual iban a ser realizados.

2.1 Factores y niveles seleccionados para los experimentos

Una vez establecida la respuesta, se identificaron las variables o factores que la afectan. En este caso, los factores fueron considerados tomando como referencia el diagrama causa efecto expuesto en la fase II: Mejorar. Los factores seleccionados fueron los siguientes:



- A. Proveedor del envase
- B. Llenado simultáneo
- C. Filtrado de producto
- D. Programación de envasado.

La selección de estos factores está basada en que los mismos forman parte fundamental del proceso de envasado, pero influyen en el tiempo de operación y productividad de la línea. Además se tomó en cuenta para dicha selección, la opinión de la Gerencia de la Planta y de la Sección de Aseguramiento de Calidad.

Los niveles de los factores, que son los valores que toman los factores en los experimentos, se establecieron de acuerdo a los valores en los cuales fluctúa normalmente el proceso



estableciéndose para cada factor dos niveles, (nivel1= nivel superior; nivel2 = nivel inferior).

Tomando en cuenta el tipo de factores señalados como importantes para llevar a cabo los experimentos, el equipo Seis Sigma decidió utilizar variables cualitativas (si ó no) para calificar los niveles.

Finalmente los factores con sus respectivos niveles quedaron definidos de la siguiente manera:

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------|
| 1. Proveedor del envase: | 1 = Domínguez y Cía. (Dom) 2 = Maggie Paul (MP) |
| 2. Llenado simultáneo | 1 = Sí 2 = No |
| 3. Filtrado de producto | 1 = Sí 2 = No |
| 4. Programación de envasado | 1 = Cambios de producto 2 = Sin cambios |



Los factores seleccionados para la definición total del arreglo ortogonal de Taguchi se presentan en la Tabla N° 17:

Tabla N° 17

Factores y Niveles seleccionados para el Experimento de Taguchi

| | Proveedor del envase | Llenado simultáneo | Filtrado de producto | Programación de envasado |
|----------------|-----------------------------|---------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| Nivel 1 | Domínguez | Sí | Sí | Cambio de producto |
| Nivel 2 | Maggie Paul | No | No | Sin cambio de producto |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

2.2 Número de ensayos y Arreglo Ortogonal Seleccionado

Una vez seleccionados los factores y niveles se construyó el arreglo ortogonal o conjunto matricial adecuado según el Método de Taguchi, en el cual los experimentos a efectuar se indicaron en las filas, y en las columnas se indicaron los factores ordenados y las respuestas.



Taguchi establece que fijado el número de niveles igual a 2 y el número de factores (f), se realizan los experimentos, cuyo número viene dado por 2^f , por lo tanto, para el número de factores seleccionados (4), la matriz de diseño quedó definida por 16 experimentos. En la Tabla N°. 18 se puede apreciar la matriz seleccionada:

Tabla N° 18
Matriz de Taguchi L₁₆(2⁴)

| # Exp | A | B | C | D |
|-------|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 1 | 1 | 2 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| 4 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| 5 | 1 | 2 | 1 | 1 |
| 6 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| 7 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| 8 | 1 | 2 | 2 | 1 |
| 9 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 10 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| 12 | 2 | 2 | 2 | 1 |
| 13 | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 14 | 2 | 1 | 1 | 2 |
| 15 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| 16 | 2 | 2 | 1 | 2 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Dónde:

A: Proveedor del envase

B: Llenado simultáneo

C: Filtrado de producto

D: Programación de envasado

La matriz utilizada para el estudio de las respuestas de calidad más óptimas, quedó definida por:

Tabla N° 19

Matriz de Taguchi L₁₆(2⁴) codificada

| # Exp | A | B | C | D |
|-------|-----|----|----|------------|
| 1 | Dom | Sí | Sí | Cambio |
| 2 | Dom | Sí | Sí | Sin Cambio |
| 3 | Dom | Sí | No | Sin Cambio |
| 4 | Dom | No | No | Sin Cambio |
| 5 | Dom | No | Sí | Cambio |
| 6 | Dom | Sí | No | Cambio |
| 7 | Dom | No | Sí | Sin Cambio |
| 8 | Dom | No | No | Cambio |
| 9 | MP | No | No | Sin Cambio |
| 10 | MP | Sí | Sí | Cambio |
| 11 | MP | No | Sí | Cambio |
| 12 | MP | No | No | Cambio |
| 13 | MP | Sí | No | Cambio |
| 14 | MP | Sí | Sí | Sin Cambio |
| 15 | MP | Sí | No | Sin Cambio |
| 16 | MP | No | Sí | Sin Cambio |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



El tiempo durante el cual se realizaron los experimentos fue un mes y se llevaron a cabo en el primer turno de trabajo, la metodología empleada para obtener la información, fue la observación directa del equipo Seis Sigma en la línea de envases plásticos.

3. Realización de ensayos:

La recolección de los datos se basó en el muestreo aleatorio, sin un orden establecido, con el objeto de evitar posibles efectos de memoria y obtener mayor precisión y objetividad.

Para cada prueba se tomó el tiempo que dejaba de operar el proceso en el turno de trabajo, luego se totalizaba el tiempo perdido, se restaba a los 420 minutos que debe operar la línea y se obtenía la respuesta “tiempo de operación” (R1), para la respuesta “producción” (R2) se anotaba la cantidad de botellas envasadas al finalizar el turno.



Los resultados obtenidos en los experimentos fueron anotados en la matriz $L_{16}(2^4)$. El arreglo ortogonal obtenido se muestra en la Tabla N° 20:

Tabla N° 20
Matriz $L_{16}(2^4)$ Recolección de datos

| # Exp | A | B | C | D | R1 | R2 |
|-------|-----|----|----|------------|-----|-------|
| 1 | Dom | Sí | Sí | Cambio | 275 | 70860 |
| 2 | Dom | Sí | Sí | Sin cambio | 330 | 47629 |
| 3 | Dom | Sí | No | Sin cambio | 250 | 61968 |
| 4 | Dom | No | No | Sin cambio | 330 | 56775 |
| 5 | Dom | No | Sí | Cambio | 234 | 66522 |
| 6 | Dom | Sí | No | Cambio | 270 | 61608 |
| 7 | Dom | No | Sí | Sin cambio | 330 | 69494 |
| 8 | Dom | No | No | Cambio | 275 | 33630 |
| 9 | MP | No | No | Sin Cambio | 278 | 71630 |
| 10 | MP | Sí | Sí | Cambio | 210 | 30420 |
| 11 | MP | No | Sí | Cambio | 283 | 52663 |
| 12 | MP | No | No | Cambio | 250 | 55548 |
| 13 | MP | Sí | No | Cambio | 270 | 60852 |
| 14 | MP | Sí | Sí | Sin Cambio | 260 | 57600 |
| 15 | MP | Sí | No | Sin Cambio | 270 | 59034 |
| 16 | MP | No | Sí | Sin Cambio | 291 | 57646 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



4. Análisis de resultados de los ensayos

El diagnóstico de los resultados de los experimentos se llevó a cabo mediante el “análisis de las medias”, el cual tuvo como objetivo determinar la combinación óptima de los factores utilizados en los experimentos. Esta combinación se determinó tomando en cuenta la función de pérdida recomendada por Taguchi, la cual se describe a continuación:

4.1 Función de pérdida

La función de pérdida utilizada por Taguchi, constituye una característica de pérdida más progresiva y menos brusca que permitió evaluar la pérdida ocasionada a la Planta causada por las desviaciones que presenta el tiempo de operación y la producción de la línea de envases plásticos.



Con el método de Taguchi lo importante es que las características seleccionadas "Tiempo de Operación" y "producción" se encuentren no solo entre las tolerancias establecidas, sino que esté lo más cerca posible del óptimo.

La función de pérdida es distinta dependiendo del tipo de característica que sea sometida a estudio. Se distinguen tres tipos de características:

1. **Nominal es mejor:** Existe un valor objetivo óptimo o nominal. La característica se devalúa a medida que se aleja de él, tanto por encima como por debajo.
2. **Menor es mejor:** Cuanto menor sea la característica, mejor.



3. **Mayor es mejor:** Cuanto mayor sea la característica, mejor.

De acuerdo con los tipos de características, el equipo Seis Sigma definió como función de pérdida para las características “tiempo de Operación” y “producción”, la función “**Mayor es Mejor**”, ya que mientras mayor tiempo opere la línea o lo que es lo mismo mientras menos tiempo se pierda, la línea puede ser más eficiente y al obtener mayor producción puede cumplirse la programación diaria y contar con adecuados niveles de inventario.

Una vez definida la función de pérdida se llevó a cabo el análisis de las medias que sigue a continuación:

4.2 Análisis de las Medias

Realizados los experimentos, se elaboró la tabla de respuestas (ver



Tabla N° 16) en la cual se promediaron los resultados obtenidos con cada nivel de los factores, es decir, para cada factor se promediaron los resultados obtenidos con el nivel 1 y los resultados obtenidos con el nivel 2. Mediante el análisis de las medias el equipo seis sigma seleccionó la combinación óptima entre la combinación técnica y la combinación económica. Los datos de la Tabla N° 16 fueron calculados de la siguiente manera:

Los experimentos realizados con el nivel 1 del factor A fueron: 1,2,3,4,5,6,7,8 y la media de estos experimentos para ambas respuestas fue:

$$R1 = \frac{275 + 330 + 250 + 330 + 234 + 270 + 330 + 275}{8} = 286.75 \text{ min}$$



$$R2 = \frac{70860 + 47629 + 61968 + 56775 + 66522 + 61608 + 69494 + 33630}{8} =$$

$$R2 = 58560.75 \text{ envases}$$

Para el nivel 2 se realizaron los experimentos:

9,10,11,12,13,14,15,16 y las medias de las respuestas seleccionadas son:

$$R1 = \frac{278 + 210 + 283 + 250 + 270 + 260 + 270 + 291}{8} = 264 \text{ min}$$

$$R1 = \frac{71630 + 30420 + 52663 + 55548 + 60852 + 57600 + 59034 + 57646}{8} =$$

$$R1 = 55674.12 \text{ envases}$$

Para el factor B las medias de los niveles 1 y 2 son:

Nivel 1: Experimentos realizados: 1,2,3,6,10,13,14,15

$$R1 = 266.87 \text{ min}$$

$$R2 = 56246.37 \text{ envases}$$

Nivel 2: Experimentos realizados: 4,5,7,8,9,11,12,16 y las medias son:

$$R1 = 283.87 \text{ min}$$

$$R2 = 57988.50 \text{ envases}$$



Los experimentos y las medias de los niveles para el factor C son:

Nivel 1: Experimentos: 1,2,5,7,10,11,14,16

R1 = 276.62 min

R2 = 56604.25 envases

Nivel 2: Experimentos: 3,4,6,8,9,12,13,15

R1 = 274.12 min

R2 = 57630.62 envases

Para el factor D los experimentos realizados con los niveles 1 y 2 son:

Nivel 1: Experimentos: 1,5,6,8,10,11,12,13

R1 = 258.37 min

R2 = 54012.87 envases

Nivel 2: Experimentos: 2,3,4,7,9,14,15,16

R1 = 292.37 min

R2 = 60222 envases

Obtenidas las medias para los niveles 1 y 2 de cada factor se procedió a llenar la Tabla N° 21 que se presenta a continuación:

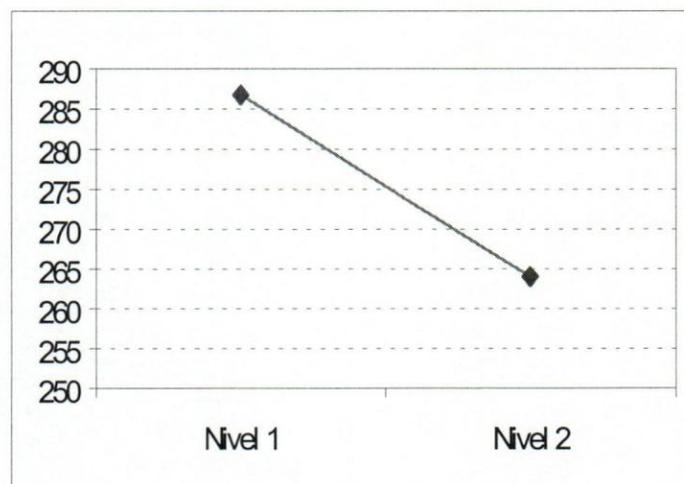
Tabla N° 21
Promedios de los niveles para cada factor

| Resp. | Nivel | A | B | C | D |
|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| R1 | 1 | 286.75 | 266.87 | 276.62 | 258.37 |
| | 2 | 264 | 283.87 | 274.12 | 292.37 |
| R2 | 1 | 58560.75 | 56246.37 | 56604.25 | 54012.87 |
| | 2 | 55674.12 | 57988.50 | 57630.62 | 60222 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Para seleccionar la combinación óptima, se representaron gráficamente las medias de los niveles:

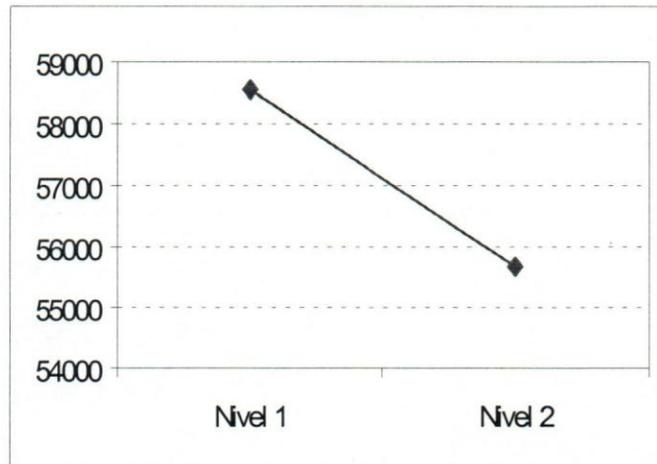
Gráfico N° 9
Medias de los Niveles
Factor A: Proveedor del envase



Respuesta 1 " Tiempo de Operación

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

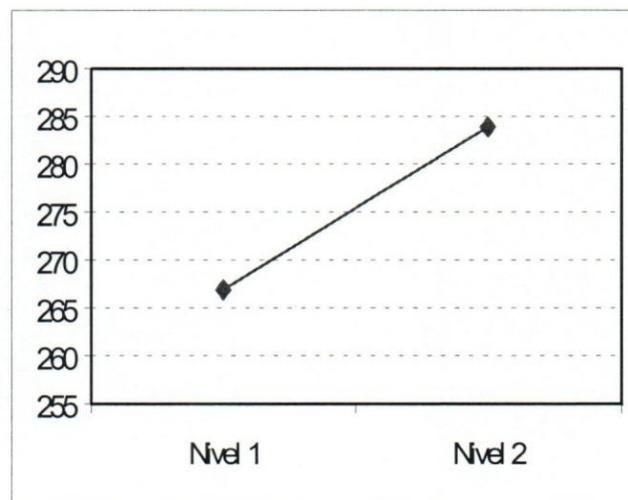
Gráfico N° 9 (Cont...)
Medias de los Niveles
Factor A: Proveedor del envase



Respuesta 2 "Producción"

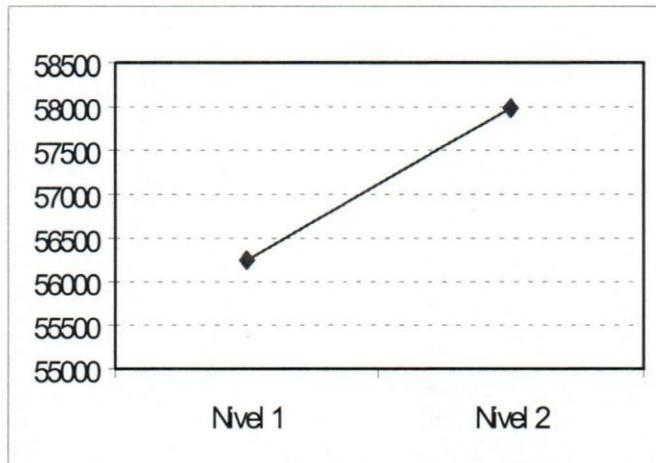
Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 10
Medias de los Niveles
Factor B: Llenado simultáneo



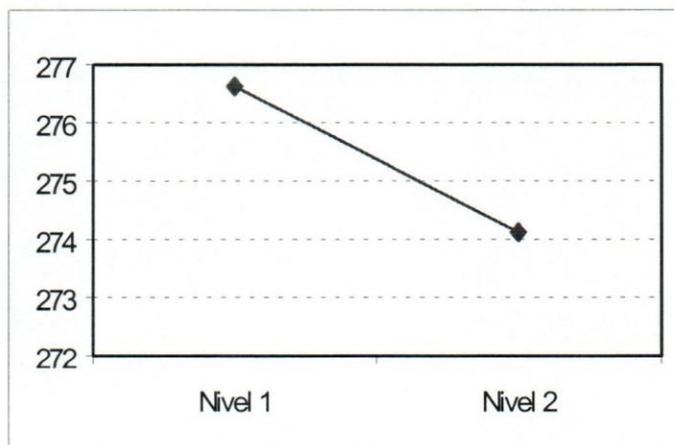
Respuesta 1 "Tiempo de Operación"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 10 (Cont...)**Medias de los Niveles****Factor B: Llenado simultáneo**

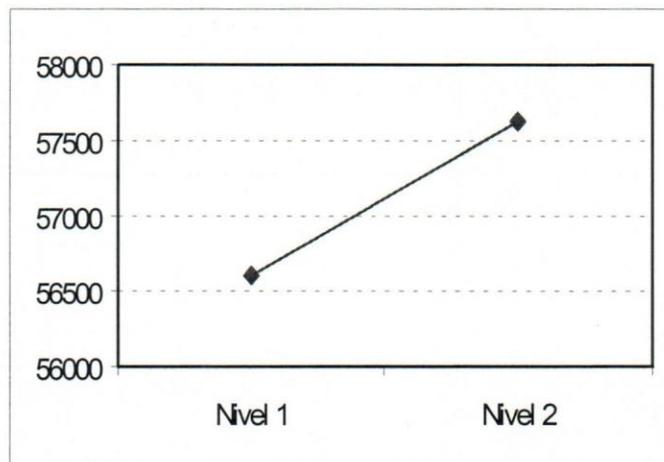
Respuesta 2 "Producción"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 11**Medias de los Niveles****Factor C: Filtrado de Producto**

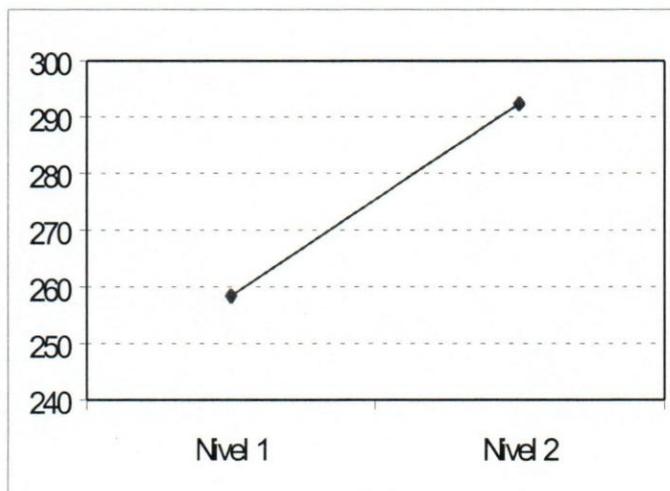
Respuesta 1 "Tiempo de Operación"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 11 (Cont...)**Medias de los Niveles****Factor C: Filtrado de Producto**

Respuesta 2 "Producción"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 12**Medias de los Niveles****Factor D: Programación de envasado**

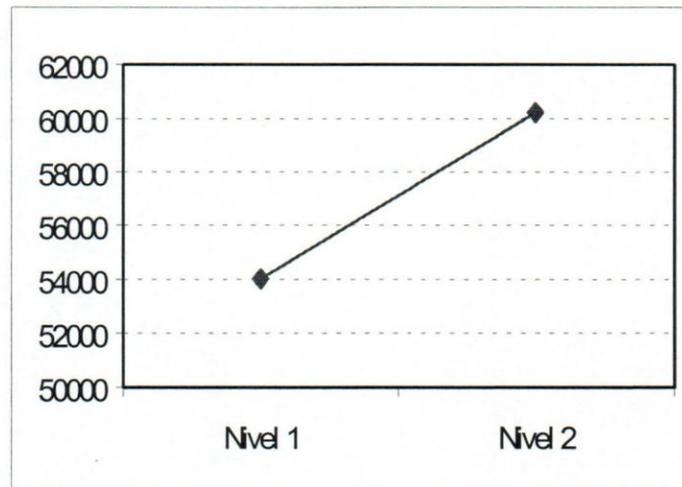
Respuesta 1 "Tiempo de Operación"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Gráfico N° 12 (Cont...)

Medias de los Niveles

Factor D: Programación de envasado



Respuesta 2 "Producción"

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

4.3 Combinación Óptima

La combinación óptima se determinó tomando en cuenta la función de pérdida "mayor es mejor", que en este caso se estableció de acuerdo a las respuestas señaladas anteriormente en el establecimiento



de objetivos: “tiempo de operación” y “producción”.

Para el factor A “ Proveedor del envase” las gráficas permitieron establecer que el proceso funciona mucho mejor con los envases Domínguez que con los envases Maggie Paul, ya que en los experimentos realizados tanto el tiempo de operación como la producción son mayores con estos envases.

Con el factor B “Llenado simultáneo” se pudo establecer que el tiempo de operación y la producción de la línea son mayores cuando no se lleva a cabo el llenado paralelo de un producto en la línea de envases plásticos y en otra línea de envasado ó en un camión cisterna.



En el caso del factor C “Filtrado de producto”, la respuesta tiempo de operación obtenida con el uso de filtro es mayor que la del nivel 2, sin embargo la producción es mayor cuando el producto envasado no requiere ser filtrado.

Esto reafirma lo expresado en el ANOVA realizado en la fase III “Analizar”, en el que se estableció que el uso de filtros, es decir, cuando el producto es filtrado, repercute en la productividad de la línea.

Para el factor D “Programación de envasado” los ensayos mostraron que las respuestas establecidas para los experimentos: tiempo de operación de la línea y la producción son mayores cuando el



programa diario de envasado no incluye cambios de producto.

De acuerdo a los resultados anteriores la combinación optima viene dada por : nivel 1 en el factor A (Envases Domínguez), nivel 2 del factor B (No hay llenado simultáneo), nivel 2 en el factor C (el producto no es filtrado) y nivel 2 del factor D (sin cambio de producto)

V.1.5 CONTROLAR

Una vez aplicadas las acciones consideradas en los AMEF'S del proceso de la fase Medir, para el mejoramiento del proceso, se estableció un sistema para controlar y asegurar la efectividad de las mejoras implantadas. Los cambios realizados fueron documentados con el fin de comparar de forma objetiva, la situación actual, anterior y/o posterior del proceso.



La implantación de Seis Sigma permitió establecer un sistema de control que incluye una serie de indicadores, ya implantados en la organización. Estos indicadores permiten visualizar la evolución del proyecto, además, pueden mostrar los puntos problemáticos del negocio.

Los indicadores establecidos para el control del proceso de la línea de envases plásticos, permitirán identificar las oportunidades de mejora, e identificar si la Planta está en vía de obtener o no sus objetivos.

Uno de los principales indicadores establecidos, lo constituye la **“Efectividad Total del Equipo (ETE)”**, el cual permitirá medir la habilidad de la llenadora de envases (equipo fundamental del proceso) para producir productos que cumplen con las exigencias de calidad sin afectar la tasa de ciclo. Este indicador se mide mediante tres indicadores: Disponibilidad, Eficiencia y Calidad.

$$\text{ETE} = \text{Disponibilidad} \times \text{Eficiencia} \times \text{Calidad}$$

La disponibilidad indica el porcentaje de tiempo que estuvo la maquina en operación.



$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Tiempo Neto Disponible}}$$

Donde:

Tiempo Neto Disponible: Tiempo planteado para que el equipo esté en operación.

Tiempo de Operación: Tiempo que el equipo opera en realidad.

El indicador de calidad identifica el porcentaje de productos aceptables obtenidos de la producción.

$$\text{Calidad} = \frac{\text{Total de Partes} - \text{Total Defectos}}{\text{Total de Partes}}$$

Donde:

Total Defectos: Número de partes rechazadas, retrabajadas o desperdiciadas.

La eficiencia indica la efectividad de la máquina al llenar los envases.

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Tiempo ideal de Ciclo} \times \text{Total de Partes}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

Donde:



Tiempo ideal de ciclo: Tiempo designado (seg/botella) de la llenadora

Total de partes: Total piezas elaboradas buenas o malas.

Otro indicador recomendado a la Planta es **“Producir según lo Programado”**, este indicador le permite conocer el rendimiento de la línea en cuanto a la programación que se establece diariamente.

$$\text{Rendimiento del Volumen} = \frac{\text{Número Real de unidades Producidas}}{\text{Número de unidades programadas}}$$

Otros indicadores sugeridos a la empresa por el equipo Seis Sigma, están relacionados con la medición de aspectos de seguridad, higiene y ambiente de la planta, así como de la salud y satisfacción de los empleados acerca de su trabajo y del ambiente laboral.

Además de estos indicadores, la Planta puede continuar utilizando los indicadores que venía manejando para evaluar su desempeño. Entre los cuales figuran los relacionados con costos: operacionales (personal, energía consumida,



amortizaciones de equipos), de materia prima (despilfarro, mermas), de comercialización, margen de beneficios, etc.

Luego de la implantación de las mejoras se estuvo controlando el cálculo de seis sigma durante los siete meses consecutivos obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla N° 22
Tiempo perdido por mes
Año 2002

| Mes | Tiempo de parada (min) |
|------------|-------------------------------|
| Marzo | 382 |
| Abril | 244 |
| Mayo | 234 |
| Junio | 210 |
| Julio | 191 |
| Agosto | 179 |
| Septiembre | 160 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)



Cada turno de trabajo tiene un tiempo de operación de 7 horas lo que equivale a 420 min/ turno, por lo tanto el tiempo de operación de cada mes es:

$$420 \text{ min /turno} * 20 \text{ turnos} = 8.400 \text{ min}$$

En la Tabla N°23 se muestra los paquetes que dejaron de obtenerse debido a las paradas del proceso y que fueron considerados como unidades defectuosas para el cálculo de los Defectos por Millón de Oportunidades (DPMO). Estas unidades se determinaron tomando en cuenta los paquetes dejados de envasar en el tiempo perdido en cada mes, si para 8400 min debían producirse 110.000 paquetes:

Tabla N° 23
Unidades Defectuosas por fase del proceso

| Mes | Unidades Defectuosas (paquetes) |
|------------|----------------------------------------|
| Marzo | 5002 |
| Abril | 3195 |
| Mayo | 3064 |
| Junio | 2750 |
| Julio | 2501 |
| Agosto | 2344 |
| Septiembre | 2095 |



Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

En la Tabla N° 24 pueden observarse los DPMO determinados para cada mes:

Tabla N° 24
Defectos por millón de oportunidades (DPMO)

| Mes | DMPO |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Marzo | $5002 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 45.472 \text{ DPMO}$ |
| Abril | $3195 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 29.045 \text{ DPMO}$ |
| Mayo | $3064 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 27.854 \text{ DPMO}$ |
| Junio | $2750 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 25.000 \text{ DPMO}$ |
| Julio | $2501 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 22.736 \text{ DPMO}$ |
| Agosto | $2344 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 21.309 \text{ DPMO}$ |
| Septiembre | $2095 \text{ paq} / 110000 \text{ paq} * 1 * 1000000 = 19.045 \text{ DPMO}$ |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

Para determinar el Nivel Sigma de cada mes del proceso, se consideró el desplazamiento natural de 1.5σ del valor objetivo y se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Nivel Sigma} = 0,8406 + \sqrt{29,37 - 2,22 \text{ Ln (DPMO)}}$$



El nivel sigma de cada fase del proceso de envasado se presenta en la Tabla N° 25:

Tabla N° 25
Nivel Sigma del Proceso

| Mes | DPMO | Nivel Sigma |
|------------|-------------|--------------------|
| Marzo | 114.882 | 3,20 |
| Abril | 104.164 | 3,40 |
| Mayo | 101.664 | 3,42 |
| Junio | 90.236 | 3,47 |
| Julio | 85.000 | 3,51 |
| Agosto | 72.027 | 3,53 |
| Septiembre | 63.809 | 3,58 |

Fuente: Equipo Seis Sigma (Año 2002)

El Nivel Sigma del Proceso de la línea de Envases Plásticos luego de las mejoras es igual a 3.58 (contra el anterior de 3.37), lo cual representa un nivel de calidad de aproximadamente 99.4% y un costo de calidad entre 15 y 25 %. Por lo tanto se



aumentó el nivel sigma con las mejoras implantadas.

CONCLUSIONES



CONCLUSIONES

1. De los procesos de manufactura realizados en la Planta Envasadora de Lubricantes Cardón, se detectó que el proceso con mayor potencial de mejora era el de la Línea de Envases Plásticos, el cual presentó gran variabilidad en los tiempos de operación que influye en el logro de la producción programada diariamente.
2. La Planta Envasadora de Lubricantes Cardón se encuentra, después de la implantación de la Metodología Seis Sigma, en un nivel de 3.58 sigma, lo cual representa un nivel de calidad aproximado de del 99,4%, con respecto al anterior que era de 3.37 sigma, lo cual equivale una mejora en la variabilidad del proceso de envasado.
3. Los diagramas de Pareto elaborados por el equipo Seis Sigma corroboraron que el tiempo de operación era el problema de mayor prioridad en la línea de envases plásticos, tal como lo establecieron en el proyecto de mejora. Este diagrama muestra que la fase del proceso en la que se perdía mayor tiempo es la fase de Llenado con un 50.80 %, en la cual las actividades operacionales con un 38.26% y las fallas de tipo de mecánico con un 21.69% consumían la mayoría del tiempo.



4. Mediante los gráficos de control (Media - Rango) utilizados para el control estadístico de los procesos, se determinó que el proceso de la línea de envases plásticos se encuentra bajo control, sin embargo, al calcular la capacidad del proceso se determinó que éste no cumplía con las especificaciones, ya que los valores de los índices de capacidad calculados ($C_p = 0.92$ y $C_{pk} = 0.82$) eran menores a 1 lo cual indicaba que el proceso no es capaz ($C_p < 1$) y no se tenían un proceso que cumple con las especificaciones ($C_{pk} < 1$).

5. Mediante el análisis de varianza (ANOVA) se determinó el efecto que tiene en la productividad de la línea de envases plásticos, las caídas de presión que genera el envasado de productos que requieren ser filtrados. Para este análisis se tomaron 10 muestras de tres productos diferentes, dos productos que son filtrados (Extra Multigrado y Supra SJ) y uno que no lo requiere (Transfluido DII). De acuerdo a la hipótesis establecida las medias para los productos difieren significativamente por lo cual se afecta la productividad de la línea al realizar el filtrado de productos.

6. En la línea de plásticos se llevaron a cabo algunas acciones para mejorar el proceso, de manera que los factores del estudio no estuviesen influenciados por causas de tipo mecánico, instrumental u operacional. Entre estas mejoras se encuentran:



- Reemplazo de Cuatro (4) válvulas de llenado
 - Reemplazo de Un (1) cono reductor de la llenadora
 - Sustitución de dos juegos de cilindros y selenoides en el sistema divisor
 - Reemplazo de Dos (2) válvulas de vacío y del controlador de temperatura en el Baumer.
 - Reemplazo de rodillo de plástico en el baumer.
7. Entre las variables que afectan el funcionamiento del proceso de la línea se encuentran: Variables de formulación: Viscosidad, densidad, color y crepitación del producto; Variables operacionales: Velocidad de llenado, presión de llenado, temperatura de producto, filtrado de producto, llenado simultáneo de cisternas u otra línea de envasado; Variables de insumos: Tipo de proveedor, especificaciones del envase, molde de los envases, especificaciones de tapas, plástico ó cartón; Variables de programación: Cambios de producto, inventario y reproceso y Variables en las condiciones de los equipos: Mantenimiento, vida útil y repuestos.
8. Se determinó con la aplicación de herramientas estadísticas, que el molde del envase que causa mayores problemas de parada de la línea, es el utilizado por el proveedor "Maggie Paul" en la presentación de color azul y el molde que tiene un mejor comportamiento en la línea, es el molde utilizado por el proveedor "Domínguez" en la presentación de color gris.



9. Existe alta y directa relación entre la presión de llenado y la viscosidad del producto y la presión de llenado y la producción, debido a que presentan un coeficiente de correlación $r = 0.903$ y $r = 0.673$, respectivamente. Por el contrario, la relación entre el tiempo de parada y la producción y la presión y el número de envases rechazados por peso es baja ya que presentan un coeficiente de correlación igual a -0.395 y a -0.09 , respectivamente.
10. El análisis de varianza permitió comprobar que se requieren filtros que proporcionen mayor caudal de producto, ya que los utilizados actualmente afectan la productividad de la línea.
11. Mediante el estudio de Taguchi, se pudo concluir que el factor que afecta el tiempo de operación y la productividad de la línea es la programación de envasado, ya que las actividades inherentes a este proceso consumen gran cantidad de tiempo y no se logra la producción programada. Además de este factor, se determinó que el uso de los envases del proveedor "Maggie Paul", provoca paradas al proceso que no permiten lograr tiempos de operación y niveles de producción más satisfactorios.
12. La combinación óptima de los niveles para los factores estudiados mediante el método de Taguchi, y que permite obtener mayores tiempos de operación



y producción es: molde de envase (Domínguez), llenado simultáneo (no),
filtrado de producto (no), programación de envasado (sin cambio).

RECOMENDACIONES



RECOMENDACIONES

1. Es necesario que toda la organización, comenzando desde la dirección hasta el operario del nivel jerárquico más bajo, esté involucrado y sea partícipe de los proyectos de mejora. Será imposible el logro de los objetivos para alcanzar una calidad Seis Sigma, si no existe motivación y entusiasmo en todos los niveles de la organización, por la implementación de métodos y mejoras para satisfacer a los clientes y alcanzar niveles superiores de calidad.
2. Se deben generar programas para la formación del personal en los diferentes roles de Seis Sigma: Champions, Black Belts, Green Belts, de manera que se impulsen y desarrollen nuevos proyectos de mejora, que garanticen la calidad de los productos, procesos y servicios.
3. Para aumentar la capacidad del proceso, y mejorar los índices de capacidad, es necesario que se lleven a cabo las mejoras recomendadas en los AMEF'S del proceso y en la fase Analizar descritas en el Capítulo IV.
4. Se recomienda que el nivel sigma y la capacidad del proceso sean medidos mensualmente con el fin, de revisar periódicamente si el proceso



ha aumentado su capacidad y cumple con las especificaciones establecidas.

5. Es recomendable que exista homogeneidad en las dimensiones de los envases, por lo cual deben tomarse acciones que conduzcan a la unificación del diseño de los envases, como por ejemplo tener un único proveedor para mejor control del proceso y disminuir la variabilidad en las características de los envases, ó exigir a los proveedores, mayores controles de proceso para evitar la variabilidad en la fabricación de los envases.
6. Para aumentar los niveles de producción deben utilizarse filtros que garanticen la calidad del producto pero que provean mayor caudal a la línea, y de esta forma evitar las caídas de presión que no permiten operar con altas velocidades.
7. Se recomienda efectuar la rotación de personal para que éste posea la habilidad y la experiencia apropiada para el manejo de todas las máquinas, esto contribuirá a la motivación en la realización de su trabajo y a la adecuación a la realidad de los tiempos de parada que establecen por cada turno de trabajo.



8. Se recomienda que los factores considerados en el método de Taguchi, se tomen en cuenta a la hora de planificar el envasado de productos, así como para los índices expuestos en la fase Controlar del Capítulo IV, ya que al ajustar la producción y el tiempo de operación considerando dichos factores se mejorará la capacidad del proceso. Es imprescindible que se tomen las acciones correctivas para mitigar las fallas correspondientes a las áreas de instrumentos y mecánicos, ya que estas fallas perjudican significativamente la operación y productividad de la línea.

9. Es recomendable que para realizar la programación de envasado se tomen en cuenta además de los niveles de inventario, factores como el tipo y color de los productos y la cantidad a envasarse, ya que cuando se programa poca cantidad o productos diferentes, las actividades de cambio de producto requieren mayor tiempo, impidiendo lograr la producción programada.

10. Es fundamental, que la Dirección de la Planta comprenda que para el desarrollo de los proyectos de mejora va a necesitar recursos humanos y económicos, sin embargo, mientras más recursos se dediquen al programa Seis Sigma, se obtendrán resultados más significativos y que se verán reflejados en la satisfacción de los clientes, de los empleados y en los beneficios económicos alcanzados al incrementar los ingresos o mediante la reducción de costos de mala calidad.



11. Se debe llevar a cabo un seguimiento permanente a los indicadores desarrollados en la fase controlar del ciclo DMAMC, con el fin de revisar el comportamiento y desempeño de la línea de envases plásticos, por lo cual es muy importante la colaboración del personal de operaciones para el llenado completo de los formatos dispuestos para controlar el funcionamiento del proceso.

12. Es recomendable que la herramienta Seis Sigma sea aplicada en otros procesos de envasado, así como en las diferentes áreas operacionales de la Planta: mezcla, almacén, despacho, laboratorio, de manera que puedan detectarse nuevas oportunidades de mejora.

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

1. BARBA, Enric BOIX, Francesc CUATRECASAS, Lluís. **Seis Sigma. Una Iniciativa de Calidad Total.** Ed Gestión 2000. España, Mayo 2001.
2. Besterfield, Dale. **Control de Calidad.** Cuarta edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México 1994.
3. Levin, Richard. **Estadística para administradores.** Segunda edición. Prentice Hall Hispanoamericana, S.A., México 1988.
4. Salvendy Gavriel. **Biblioteca del Ingeniero Industrial.** Volumen 7. Ed. Ciencia y Técnica. S.A., México 1990.
5. Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. **Manual de Formulación Técnica,** Año 2001.
6. Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. **Manual de Tecnología de Productos,** Año 2001.
7. Planta Envasadora de Lubricantes Cardón. **Manual de Operaciones,** Año 2000.
8. www.ceroaverias.com
9. [www.cimat.mx/seis sigma](http://www.cimat.mx/seis_sigma)
10. www.euskalit.net
11. www.fundamental.edu.ve
12. www.gestion2000.com
13. www.infocalidad.net



14. www.gestiopolis.com
15. www.lean-6sigma.com
16. www.mv.com
17. www.tpmonline.com
18. www.seissigma.com
19. www.seis-sigma.com
20. www.tamayo.mty.itesm.mx/6sigma

ANEXOS

ANEXO N° 1
TABLA DE FACTORES PARA CALCULAR
LOS LÍMITES DE CONTROL

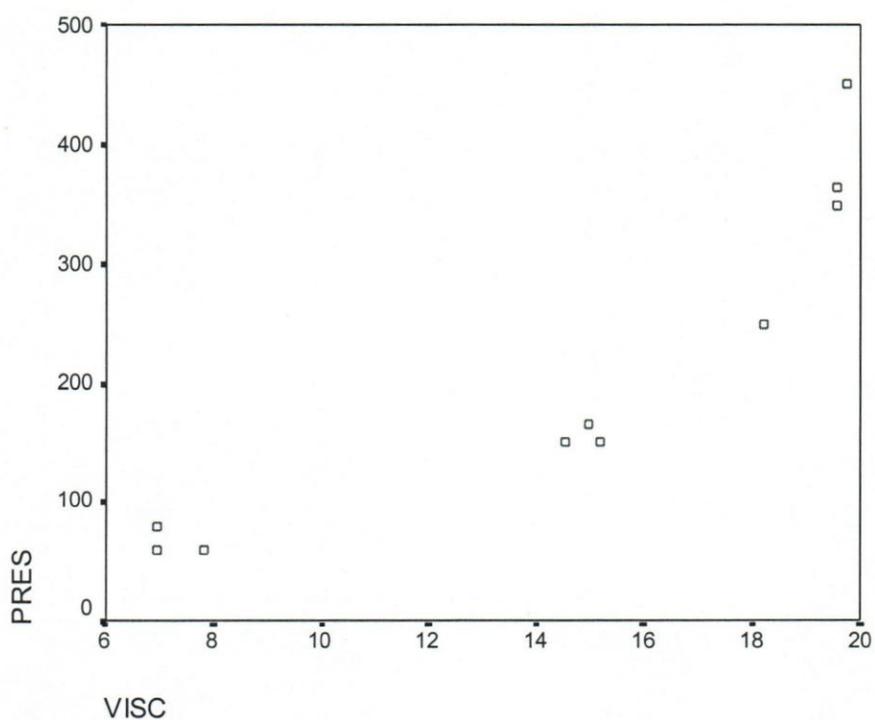


TABLA B Factores para el cálculo de las líneas centrales y los límites de control de 3σ de las gráficas \bar{X} , s y R .

| OBSERVACIONES EN LA MUESTRA, n | GRAFICA PARA PROMEDIOS | | | GRAFICA PARA LAS DESVIACIONES ESTANDAR | | | | GRAFICA DE LOS RANGOS | | | | | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|-------|-------|----------------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | FACTORES PARA LOS LIMITES DE CONTROL | | | FACTOR PARA LINEA CENTRAL | FACTORES PARA LIMITES DE CONTROL | | | | FACTOR PARA LINEA CENTRAL | FACTORES PARA LOS LIMITES DE CONTROL | | | | |
| | A | A_2 | A_3 | c_4 | B_3 | B_4 | B_5 | B_6 | d_2 | d_1 | D_1 | D_2 | D_3 | D_4 |
| 2 | 2.121 | 1.880 | 2.659 | 0.7979 | 0 | 3.267 | 0 | 2.606 | 1.128 | 0.853 | 0 | 3.686 | 0 | 3.267 |
| 3 | 1.732 | 1.023 | 1.954 | 0.8862 | 0 | 2.568 | 0 | 2.276 | 1.693 | 0.888 | 0 | 4.358 | 0 | 2.574 |
| 4 | 1.500 | 0.729 | 1.628 | 0.9213 | 0 | 2.266 | 0 | 2.088 | 2.059 | 0.880 | 0 | 4.698 | 0 | 2.282 |
| 5 | 1.342 | 0.577 | 1.427 | 0.9400 | 0 | 2.089 | 0 | 1.964 | 2.326 | 0.864 | 0 | 4.918 | 0 | 2.114 |
| 6 | 1.225 | 0.483 | 1.287 | 0.9515 | 0.030 | 1.970 | 0.029 | 1.874 | 2.534 | 0.848 | 0 | 5.078 | 0 | 2.004 |
| 7 | 1.134 | 0.419 | 1.182 | 0.9594 | 0.118 | 1.882 | 0.113 | 1.806 | 2.704 | 0.833 | 0.204 | 5.204 | 0.076 | 1.924 |
| 8 | 1.061 | 0.373 | 1.099 | 0.9650 | 0.185 | 1.815 | 0.179 | 1.751 | 2.847 | 0.820 | 0.388 | 5.306 | 0.136 | 1.864 |
| 9 | 1.000 | 0.337 | 1.032 | 0.9693 | 0.239 | 1.761 | 0.232 | 1.707 | 2.970 | 0.808 | 0.547 | 5.393 | 0.184 | 1.816 |
| 10 | 0.949 | 0.308 | 0.975 | 0.9727 | 0.284 | 1.716 | 0.276 | 1.669 | 3.078 | 0.797 | 0.687 | 5.469 | 0.223 | 1.777 |
| 11 | 0.905 | 0.285 | 0.927 | 0.9754 | 0.321 | 1.679 | 0.313 | 1.637 | 3.173 | 0.787 | 0.811 | 5.535 | 0.256 | 1.744 |
| 12 | 0.866 | 0.266 | 0.886 | 0.9776 | 0.354 | 1.646 | 0.346 | 1.610 | 3.258 | 0.778 | 0.922 | 5.594 | 0.283 | 1.717 |
| 13 | 0.832 | 0.249 | 0.850 | 0.9794 | 0.382 | 1.618 | 0.374 | 1.585 | 3.336 | 0.770 | 1.025 | 5.647 | 0.307 | 1.693 |
| 14 | 0.802 | 0.235 | 0.817 | 0.9810 | 0.406 | 1.594 | 0.399 | 1.563 | 3.407 | 0.763 | 1.118 | 5.696 | 0.328 | 1.672 |
| 15 | 0.775 | 0.223 | 0.789 | 0.9823 | 0.428 | 1.572 | 0.421 | 1.544 | 3.472 | 0.756 | 1.203 | 5.741 | 0.347 | 1.653 |
| 16 | 0.750 | 0.212 | 0.763 | 0.9835 | 0.448 | 1.552 | 0.440 | 1.526 | 3.532 | 0.750 | 1.282 | 5.782 | 0.363 | 1.637 |
| 17 | 0.728 | 0.203 | 0.739 | 0.9845 | 0.466 | 1.534 | 0.458 | 1.511 | 3.588 | 0.744 | 1.356 | 5.820 | 0.378 | 1.622 |
| 18 | 0.707 | 0.194 | 0.718 | 0.9854 | 0.482 | 1.518 | 0.475 | 1.496 | 3.640 | 0.739 | 1.424 | 5.856 | 0.391 | 1.608 |
| 19 | 0.688 | 0.187 | 0.698 | 0.9862 | 0.497 | 1.503 | 0.490 | 1.483 | 3.680 | 0.734 | 1.487 | 5.891 | 0.403 | 1.597 |
| 20 | 0.671 | 0.180 | 0.681 | | | | | | | | 1.549 | 5.921 | 0.415 | 1.585 |

ANEXO N° 2
SALIDA SOFTWARE SPSS
ANÁLISIS DE REGRESIÓN
VISCOSIDAD - PRESIÓN

Análisis de Regresión Viscosidad vs Presión



Regresión

Variables introducidas / eliminadas

| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1 | VISC | . | Introducir |

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: PRES

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error tip. la estimación |
|--------|------|------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | .903 | .816 | .802 | 64.5138 |

a Variables predictoras: (Constante), VISC

ANOVA

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|--------|------|
| 1 | Regresión | 240016.990 | 1 | 240016.990 | 57.668 | .000 |
| | Residual | 54106.343 | 13 | 4162.026 | | |
| | Total | 294123.333 | 14 | | | |

- a Variables predictoras: (Constante), VISC
 b Variable dependiente: PRES

Coefficientes

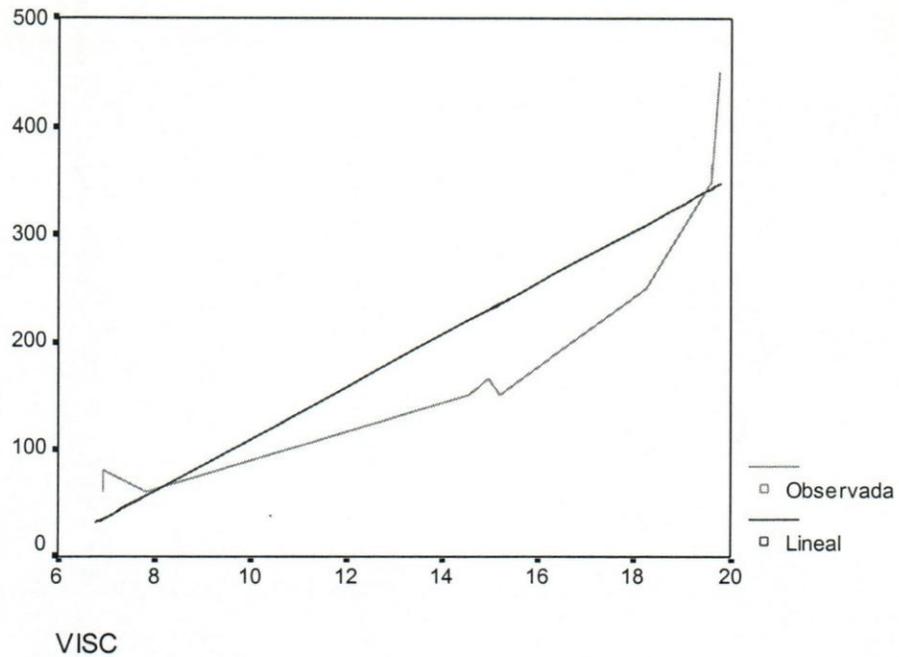
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 (Constante) | -133.300 | 48.343 | | -2.757 | .016 |
| VISC | 24.284 | 3.198 | .903 | 7.594 | .000 |

- a Variable dependiente: PRES

MODEL: MOD_2.
 Independent: VISC

| Dependent | Mth | Rsqr | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 |
|-----------|-----|------|------|-------|------|---------|---------|
| PRES | LIN | .816 | 13 | 57.67 | .000 | -133.30 | 24.2836 |

PRES



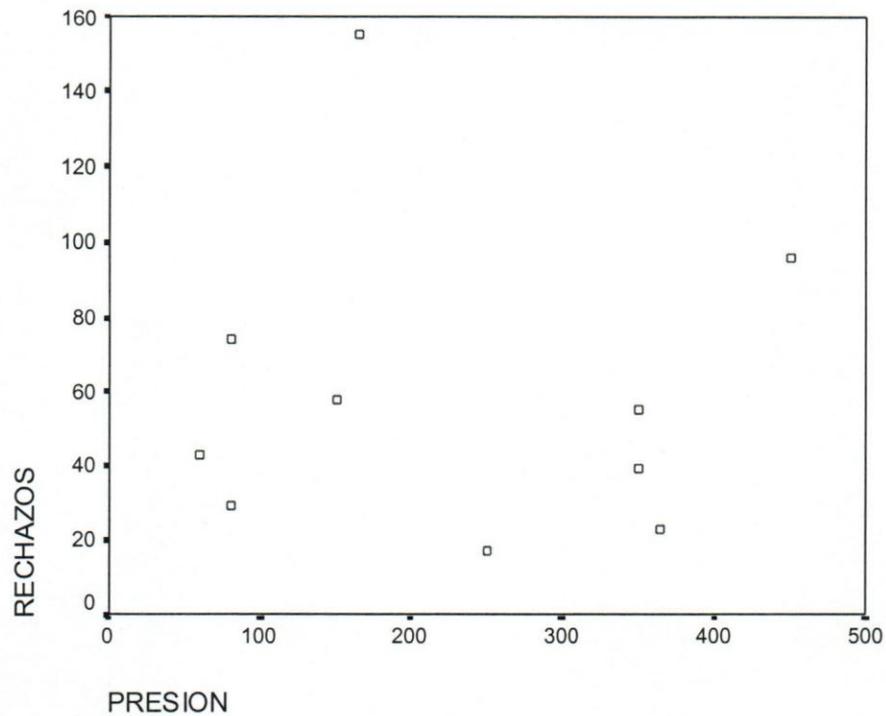
Correlaciones

| | | PRES | VISC |
|------------------------|------|--------|---------|
| Correlación de Pearson | PRES | 1.000 | 0.903** |
| | VISC | .903** | 1.000 |
| Sig. (bilateral) | PRES | . | .933 |
| | VISC | .933 | . |
| N | PRES | 15 | 15 |
| | VISC | 15 | 15 |

** La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

ANEXO N° 3
SALIDA SOFTWARE SPSS
ANÁLISIS DE REGRESIÓN
PRESIÓN - N° DE RECHAZOS
POR PESO

Análisis de Regresión Presión vs N° de Rechazos por peso



REGRESION

Variables introducidas/eliminadas

| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1 | PRESION | . | Introducir |

- a Todas las variables solicitadas introducidas
- b Variable dependiente: RECHAZOS

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error tip. la estimación |
|--------|------|------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | .031 | .001 | -.124 | 43.9149 |

- a Variables predictoras: (Constante), PRESION

ANOVA

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------|----|------------------|------|------|
| 1 Regresión | 14.732 | 1 | 14.732 | .008 | .933 |
| Residual | 15428.168 | 8 | 1928.521 | | |
| Total | 15442.900 | 9 | | | |

a Variables predictoras: (Constante), PRESION

b Variable dependiente: RECHAZOS

Coefficientes

| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 (Constante) | 60.979 | 27.541 | | 2.214 | .058 |
| PRESION | -9.038E-03 | .103 | -.031 | -.087 | .933 |

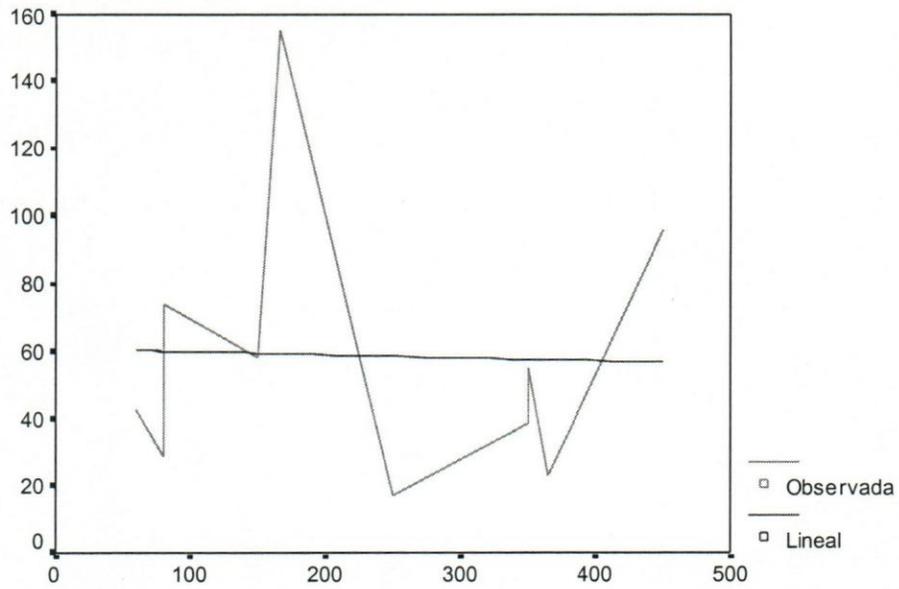
a Variable dependiente: RECHAZOS

MODEL: MOD_1.
independent: PRESION

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 |
|-----------|-----|------|------|---------|------|---------|--------|
| RECHAZOS | LIN | .001 | 8 | 7.6E-03 | .933 | 60.9787 | -.0090 |

MODEL: MOD_1.

RECHAZOS



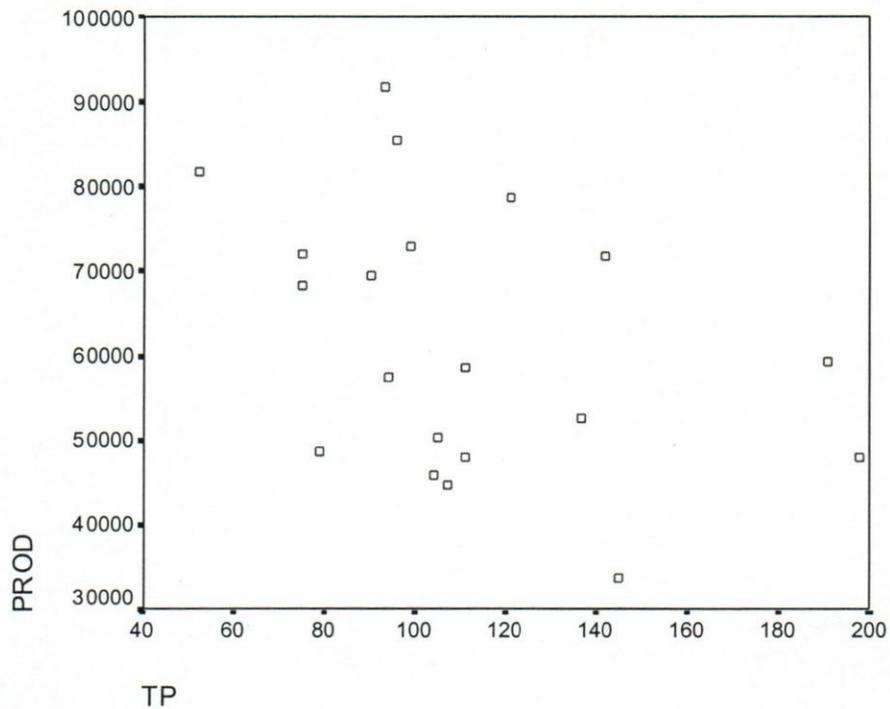
PRESION

Correlaciones

| | | PRESION | RECHAZOS |
|------------------------|----------|---------|----------|
| Correlación de Pearson | PRESION | 1.000 | -0.031 |
| | RECHAZOS | -.031 | 1.000 |
| Sig. (bilateral) | PRESION | . | .933 |
| | RECHAZOS | .933 | . |
| N | PRESION | 10 | 10 |
| | RECHAZOS | 10 | 10 |

ANEXO N° 4
SALIDA SOFTWARE SPSS
ANÁLISIS DE REGRESIÓN
PRODUCCIÓN – TIEMPO DE PARADA

Análisis de Regresión Producción vs Tiempo de parada



Regresión

Variables introducidas / eliminadas

| Modelo | Variables Introducidas | Variables eliminadas | Método |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1 | TP | . | Introducir |

a Todas las variables solicitadas introducidas

b Variable dependiente: PROD

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error tip. la estimación |
|--------|------|------------|----------------------|--------------------------|
| 1 | .395 | .156 | .109 | 14797.9602 |

a Variables predictoras: (Constante), TP

ANOVA

| Modelo | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-------------|-------------------|----|------------------|-------|------|
| 1 Regresión | 730047068.886 | 1 | 730047068.886 | 3.334 | .085 |
| Residual | 3941633284.864 | 18 | 218979626.937 | | |
| Total | 4671680353.750 | 19 | | | |

a Variables predictoras: (Constante), TP

b Variable dependiente: PROD

Coefficientes

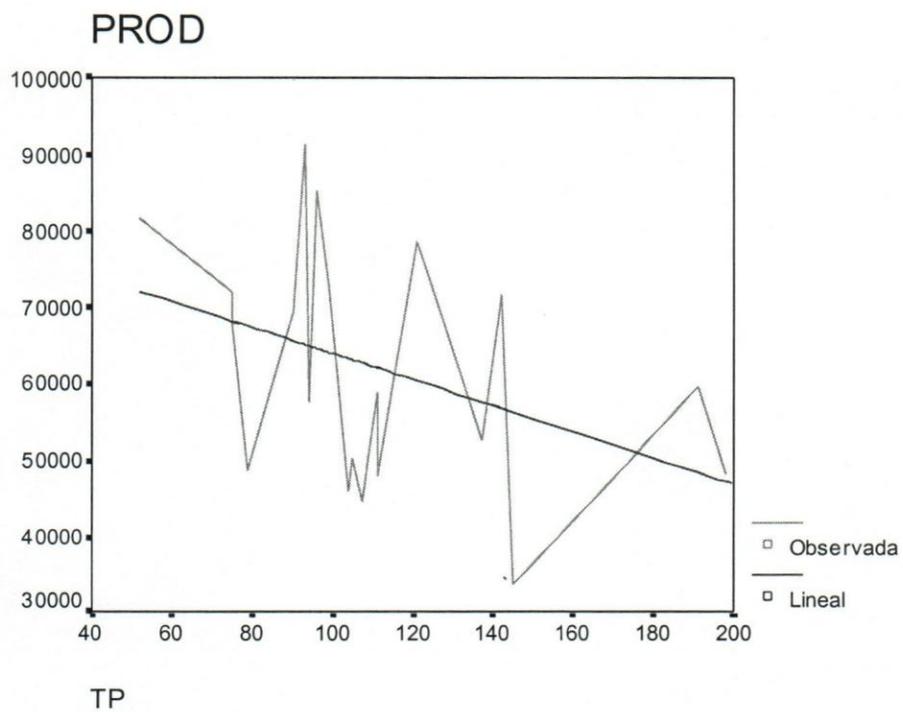
| Modelo | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|---------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|--------|------|
| | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 (Constante) | 80832.705 | 10830.884 | | 7.463 | .000 |
| TP | -169.263 | 92.702 | -.395 | -1.826 | .085 |

a Variable dependiente: PROD

MODEL: MOD_3.

Independent: TP

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 |
|-----------|-----|------|------|------|------|---------|---------|
| PROD | LIN | .156 | 18 | 3.33 | .085 | 80832.7 | -169.26 |

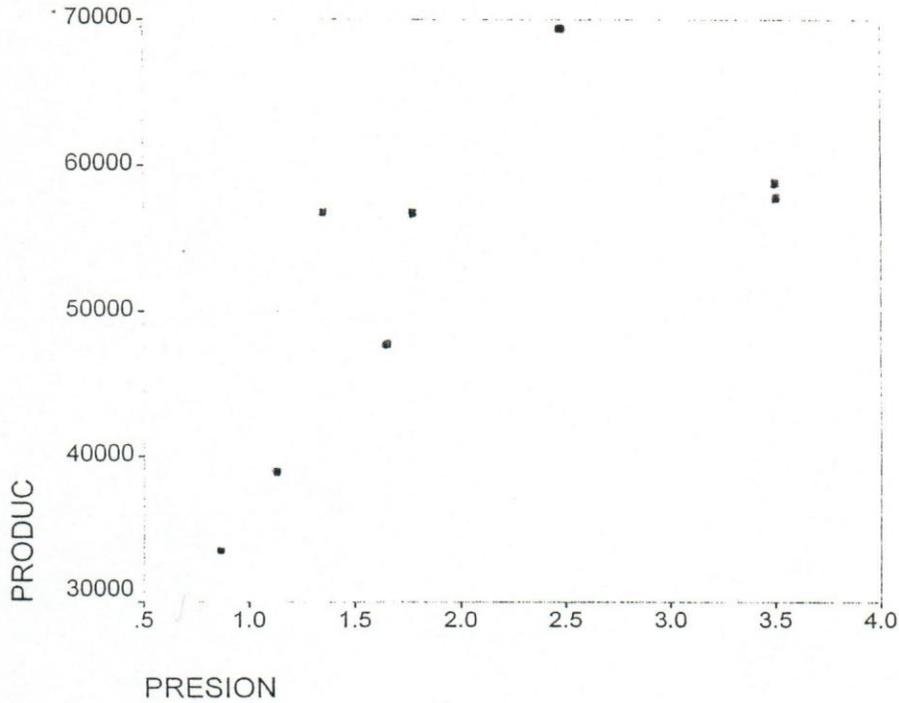


Correlaciones

| | | PROD | TP |
|------------------------|------|-------|-------|
| Correlación de Pearson | PROD | 1.000 | -.395 |
| | TP | -.395 | 1.000 |
| Sig. (bilateral) | PROD | . | .085 |
| | TP | .085 | . |
| N | PROD | 20 | 20 |
| | TP | 20 | 20 |

ANEXO N° 5
SALIDA SOFTWARE SPSS
ANÁLISIS DE REGRESIÓN
PRESIÓN – PRODUCCIÓN

Gráfico



Regresión

Variables introducidas/eliminadas^b

| Modelo | Variables introducidas | Variables eliminadas | Método |
|--------|------------------------|----------------------|------------|
| 1 | PRESION ^a | | Introducir |

a. Todas las variables solicitadas introducidas

b. Variable dependiente: PRODUC

Resumen del modelo

| Modelo | R | R cuadrado | R cuadrado corregida | Error típ. de la estimación |
|--------|-------------------|------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 | .673 ^a | .453 | .361 | 9320.9513 |

a. Variables predictoras: (Constante), PRESION

ANOVA^b

| Modelo | | Suma de cuadrados | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|--------|-----------|-------------------|----|------------------|-------|-------------------|
| 1 | Regresion | 430991249 | 1 | 430991249 | 4.961 | .068 ^a |
| | Residual | 521280794 | 6 | 86880132 | | |
| | Total | 952272044 | 7 | | | |

a. Variables predictoras: (Constante), PRESION

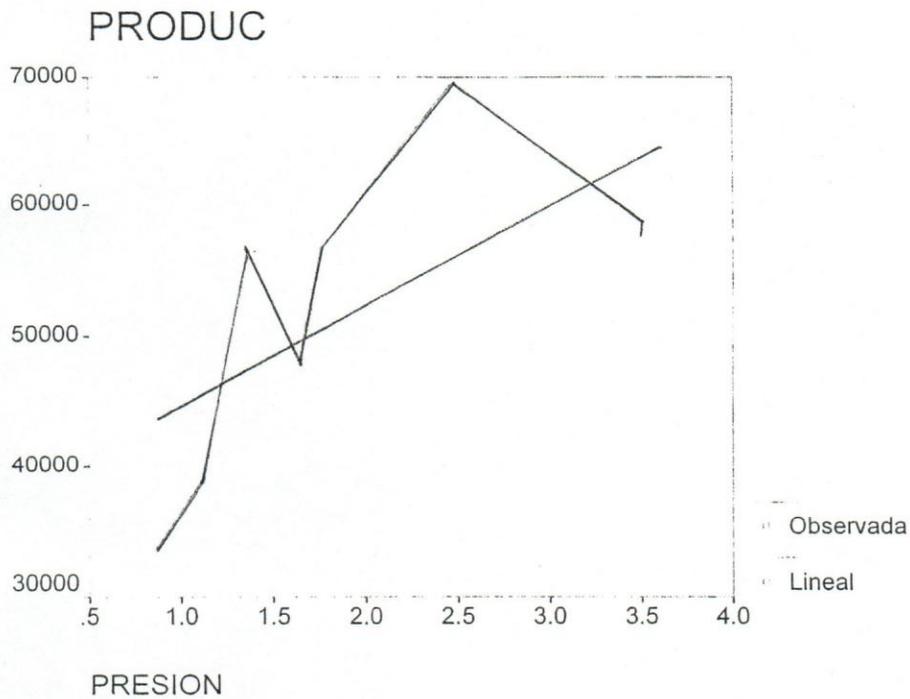
b. Variable dependiente: PRODUC

Coefficientes^a

| Modelo | | Coeficientes no estandarizados | | Coeficientes estandarizados | t | Sig. |
|--------|-------------|--------------------------------|------------|-----------------------------|-------|------|
| | | B | Error típ. | Beta | | |
| 1 | (Constante) | 36966.336 | 7694.749 | | 4.804 | .003 |
| | PRESION | 7638.490 | 3429.522 | .673 | 2.227 | .068 |

a. Variable dependiente: PRODUC

Estimación curvilínea



Estimación curvilínea

MODEL: MOD_8.

Independent: PRESION

| Dependent | Mth | Rsq | d.f. | F | Sigf | b0 | b1 |
|-----------|-----|------|------|------|------|---------|---------|
| PRODUC | LIN | .453 | 6 | 4.96 | .068 | 36966.3 | 7638.49 |

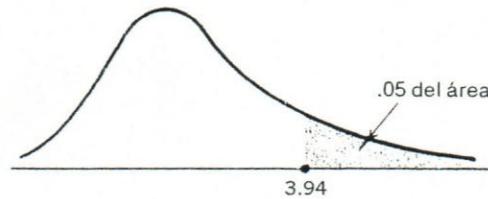
Correlaciones

Correlaciones

| | | PRESION | PRODUC |
|------------------------|---------|---------|--------|
| Correlacion de Pearson | PRESION | 1.000 | .673 |
| | PRODUC | .673 | 1.000 |
| Sig. (bilateral) | PRESION | . | .068 |
| | PRODUC | .068 | . |
| N | PRESION | 8 | 8 |
| | PRODUC | 8 | 8 |

TABLA 6 DEL APENDICE

Valores de F para las distribuciones F con .05 del área en el extremo derecho*



EJEMPLO: para una prueba en un nivel de significancia de .05 donde tenemos 15 grados de libertad en el numerador y 6 grados de libertad en el denominador, el valor apropiado de F se calcula buscando bajo la columna correspondiente a 15 grados de libertad y bajamos hasta el renglón de 6 grados de libertad; allí encontramos que el valor apropiado de F es 3.94.

| | | Grados de libertad en el numerador | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|------|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | 15 | 20 | 24 | 30 | 40 | 60 | 120 | α | |
| Grados de libertad en el denominador | 1 | 161 | 200 | 216 | 225 | 230 | 234 | 237 | 239 | 241 | 242 | 244 | 246 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | |
| | 2 | 18.5 | 19.0 | 19.2 | 19.2 | 19.3 | 19.3 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.4 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | 19.5 | 19.5 |
| | 3 | 10.1 | 9.55 | 9.28 | 9.12 | 9.01 | 8.94 | 8.89 | 8.85 | 8.81 | 8.79 | 8.74 | 8.70 | 8.66 | 8.64 | 8.62 | 8.59 | 8.57 | 8.55 | 8.53 | |
| | 4 | 7.71 | 6.94 | 6.59 | 6.39 | 6.26 | 6.16 | 6.09 | 6.04 | 6.00 | 5.96 | 5.91 | 5.86 | 5.80 | 5.77 | 5.75 | 5.72 | 5.69 | 5.66 | 5.63 | |
| | 5 | 6.61 | 5.79 | 5.41 | 5.19 | 5.05 | 4.95 | 4.88 | 4.82 | 4.77 | 4.74 | 4.68 | 4.62 | 4.56 | 4.53 | 4.50 | 4.46 | 4.43 | 4.40 | 4.37 | |
| | 6 | 5.99 | 5.14 | 4.76 | 4.53 | 4.39 | 4.28 | 4.21 | 4.15 | 4.10 | 4.06 | 4.00 | 3.94 | 3.87 | 3.84 | 3.81 | 3.77 | 3.74 | 3.70 | 3.67 | |
| | 7 | 5.59 | 4.74 | 4.35 | 4.12 | 3.97 | 3.87 | 3.79 | 3.73 | 3.68 | 3.64 | 3.57 | 3.51 | 3.44 | 3.41 | 3.38 | 3.34 | 3.30 | 3.27 | 3.23 | |
| | 8 | 5.32 | 4.46 | 4.07 | 3.84 | 3.69 | 3.58 | 3.50 | 3.44 | 3.39 | 3.35 | 3.28 | 3.22 | 3.15 | 3.12 | 3.08 | 3.04 | 3.01 | 2.97 | 2.93 | |
| | 9 | 5.12 | 4.26 | 3.86 | 3.63 | 3.48 | 3.37 | 3.29 | 3.23 | 3.18 | 3.14 | 3.07 | 3.01 | 2.94 | 2.90 | 2.86 | 2.83 | 2.79 | 2.75 | 2.71 | |
| | 10 | 4.96 | 4.10 | 3.71 | 3.48 | 3.33 | 3.22 | 3.14 | 3.07 | 3.02 | 2.98 | 2.91 | 2.85 | 2.77 | 2.74 | 2.70 | 2.66 | 2.62 | 2.58 | 2.54 | |
| | 11 | 4.84 | 3.98 | 3.59 | 3.36 | 3.20 | 3.09 | 3.01 | 2.95 | 2.90 | 2.85 | 2.79 | 2.72 | 2.65 | 2.61 | 2.57 | 2.53 | 2.49 | 2.45 | 2.40 | |
| | 12 | 4.75 | 3.89 | 3.49 | 3.26 | 3.11 | 3.00 | 2.91 | 2.85 | 2.80 | 2.75 | 2.69 | 2.62 | 2.54 | 2.51 | 2.47 | 2.43 | 2.38 | 2.34 | 2.30 | |
| | 13 | 4.67 | 3.81 | 3.41 | 3.18 | 3.03 | 2.92 | 2.83 | 2.77 | 2.71 | 2.67 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.42 | 2.38 | 2.34 | 2.30 | 2.25 | 2.21 | |
| | 14 | 4.60 | 3.74 | 3.34 | 3.11 | 2.96 | 2.85 | 2.76 | 2.70 | 2.65 | 2.60 | 2.53 | 2.46 | 2.39 | 2.35 | 2.31 | 2.27 | 2.22 | 2.18 | 2.13 | |
| | 15 | 4.54 | 3.68 | 3.29 | 3.06 | 2.90 | 2.79 | 2.71 | 2.64 | 2.59 | 2.54 | 2.48 | 2.40 | 2.33 | 2.29 | 2.25 | 2.20 | 2.16 | 2.11 | 2.07 | |
| | 16 | 4.49 | 3.63 | 3.24 | 3.01 | 2.85 | 2.74 | 2.66 | 2.59 | 2.54 | 2.49 | 2.42 | 2.35 | 2.28 | 2.24 | 2.19 | 2.15 | 2.11 | 2.06 | 2.01 | |
| | 17 | 4.45 | 3.59 | 3.20 | 2.96 | 2.81 | 2.70 | 2.61 | 2.55 | 2.49 | 2.45 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.19 | 2.15 | 2.10 | 2.06 | 2.01 | 1.96 | |
| | 18 | 4.41 | 3.55 | 3.16 | 2.93 | 2.77 | 2.66 | 2.58 | 2.51 | 2.46 | 2.41 | 2.34 | 2.27 | 2.19 | 2.15 | 2.11 | 2.06 | 2.02 | 1.97 | 1.92 | |
| | 19 | 4.38 | 3.52 | 3.13 | 2.90 | 2.74 | 2.63 | 2.54 | 2.48 | 2.42 | 2.38 | 2.31 | 2.23 | 2.16 | 2.11 | 2.07 | 2.03 | 1.98 | 1.93 | 1.88 | |
| | 20 | 4.35 | 3.49 | 3.10 | 2.87 | 2.71 | 2.60 | 2.51 | 2.45 | 2.39 | 2.35 | 2.28 | 2.20 | 2.12 | 2.08 | 2.04 | 1.99 | 1.95 | 1.90 | 1.84 | |
| | 21 | 4.32 | 3.47 | 3.07 | 2.84 | 2.68 | 2.57 | 2.49 | 2.42 | 2.37 | 2.32 | 2.25 | 2.18 | 2.10 | 2.05 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.87 | 1.81 | |
| | 22 | 4.30 | 3.44 | 3.05 | 2.82 | 2.66 | 2.55 | 2.46 | 2.40 | 2.34 | 2.30 | 2.23 | 2.15 | 2.07 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.89 | 1.84 | 1.78 | |
| | 23 | 4.28 | 3.42 | 3.03 | 2.80 | 2.64 | 2.53 | 2.44 | 2.37 | 2.32 | 2.27 | 2.20 | 2.13 | 2.05 | 2.01 | 1.96 | 1.91 | 1.86 | 1.81 | 1.76 | |
| | 24 | 4.26 | 3.40 | 3.01 | 2.78 | 2.62 | 2.51 | 2.42 | 2.36 | 2.30 | 2.25 | 2.18 | 2.11 | 2.03 | 1.98 | 1.94 | 1.89 | 1.84 | 1.79 | 1.73 | |
| | 25 | 4.24 | 3.39 | 2.99 | 2.76 | 2.60 | 2.49 | 2.40 | 2.34 | 2.28 | 2.24 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.96 | 1.92 | 1.87 | 1.82 | 1.77 | 1.71 | |
| 30 | 4.17 | 3.32 | 2.92 | 2.69 | 2.53 | 2.42 | 2.33 | 2.27 | 2.21 | 2.16 | 2.09 | 2.01 | 1.93 | 1.89 | 1.84 | 1.79 | 1.74 | 1.68 | 1.62 | | |
| 40 | 4.08 | 3.23 | 2.84 | 2.61 | 2.45 | 2.34 | 2.25 | 2.18 | 2.12 | 2.08 | 2.00 | 1.92 | 1.84 | 1.79 | 1.74 | 1.69 | 1.64 | 1.58 | 1.51 | | |
| 60 | 4.00 | 3.15 | 2.76 | 2.53 | 2.37 | 2.25 | 2.17 | 2.10 | 2.04 | 1.99 | 1.92 | 1.84 | 1.75 | 1.70 | 1.65 | 1.59 | 1.53 | 1.47 | 1.39 | | |
| 120 | 3.92 | 3.07 | 2.68 | 2.45 | 2.29 | 2.18 | 2.09 | 2.02 | 1.96 | 1.91 | 1.83 | 1.75 | 1.66 | 1.61 | 1.55 | 1.50 | 1.43 | 1.35 | 1.25 | | |
| α | 3.84 | 3.00 | 2.60 | 2.37 | 2.21 | 2.10 | 2.01 | 1.94 | 1.88 | 1.83 | 1.75 | 1.67 | 1.57 | 1.52 | 1.46 | 1.39 | 1.32 | 1.22 | 1.00 | | |

* Fuente: M. Merrington y C. M. Thompson, *Biometrika*, vol. 33 (1943).