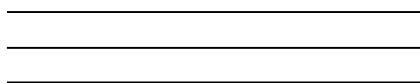




BENEMÉRITA UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE PUEBLA
Facultad de Ciencias de la Electrónica



**LEAN SIX SIGMA, UNA
METODOLOGIA PARA LA
MEJORA DE PROCESOS**

T E S I S

Que para obtener el título de:

Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

P r e s e n t a:

Isidro Rodríguez Aparicio

A s e s o r:

M.I. Manuel Zapata y Sánchez

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	4
RESUMEN	5
OBJETIVOS.....	6
JUSTIFICACIÓN	7
CAPITULO I	8
ANTECEDENTES.....	9
ANTECEDENTES DE LA METODOLOGÍA.....	9
HISTORIA DE SIX SIGMA	9
HISTORIA DE LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA	10
ANTECEDENTES DEL CASO REAL	11
DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	16
LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA.....	17
¿Qué es Just in Time “JIT”?.....	18
¿Qué es Jidoka “automatización con un toque humano”?.....	19
¿Qué es Heijunka “nivelación de la producción”?.....	20
¿Qué es Kaizen?.....	21
SIX SIGMA.....	22
Prueba de Hipótesis.....	22
Introducción.....	22
Inferencia Estadística.....	22
Prueba de Hipótesis Estadística.....	24
Anova.....	26
Desviación.....	26
Variación y Varianza.....	28
Descomposición de la Variación.....	35
Six Sigma.....	36
CAPITULO II	41
DESARROLLO DEL CASO REAL DE LEAN SIX SIGMA	42
FASE DE DEFINICIÓN.....	42
<i>PARTE TEORICA</i>	42

“Carta de Proyecto”	42
“Cuadro SIPOC”	46
“Mapeo de Flujo de Valor (VSM).....	47
“Matriz de Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado)”	49
“Capacidad del Proceso”	52
<i>PARTE PRÁCTICA</i>	53
FASE DE MEDICIÓN	57
<i>PARTE TEORICA</i>	57
“Estudio Gage R & R”	57
“Prueba de Hipótesis”.....	65
<i>PARTE PRÁCTICA</i>	65
FASE DE ANÁLISIS	75
<i>PARTE TEORICA</i>	75
“Anova”	75
<i>PARTE PRÁCTICA</i>	76
“Desempeño del Proceso o Capacidad del Proceso”	85
FASE MEJORAR	92
<i>PARTE TEORICA</i>	92
<i>PARTE PRÁCTICA</i>	93
Desempeño del Proceso USL 50 gr-mm 19 Febrero.....	93
Pin Localizador Fuera de Especificación	95
Desempeño del Proceso USL 50 gr-mm 22-25 Marzo.....	96
Desempeño del Proceso USL 16 gr-mm 25 Marzo	99
FASE CONTROLAR	100
<i>PARTE TEORICA</i>	100
<i>PARTE PRÁCTICA</i>	100
CONCLUSIONES	104
CONCLUSIÓN TEORICA	105
CONCLUSIÓN PRÁCTICA.....	106
GLOSARIO	107
BIBLIOGRAFÍA	108

INTRODUCCIÓN

Las empresas en la actualidad se enfrentan día a día a una dura competencia por ser la mejor en lo que desarrollan, la competencia siempre es muy alta ya que el mundo se ha globalizado a un nivel muy impresionante, los países crecen a ritmos acelerados y se industrializan a una gran velocidad. Cada país invierte para su crecimiento, impulsando a las empresas ya sean micro, pequeñas, medianas y grandes para volverse mejores y así obtener beneficios. Una ciudad que invierte en generar empresas y oportunidades para crecer, logra ser una ciudad competitiva. Y un país con ciudades fuertes, equilibradas en su economía, en su desarrollo, que genere oportunidades y bienestar, son capaces de insertarse en la nueva economía mundial y así estarían logrando consolidar su futuro, multiplicando sus beneficios hacia las zonas rurales y marginadas del territorio.

Es por eso que en México se necesitan empresas y personas con espíritu emprendedor, quienes serán los fundadores de esas grandes empresas.

Sin embargo una empresa se enfrenta a múltiples problemas desde su creación e inclusive si esta ya está consolidada como tal, ya que siempre busca ser la mejor, pero esto se logra teniendo una empresa de *Calidad*. La calidad significa cumplir las necesidades del cliente y siempre exceder las expectativas en forma constante. La calidad es lo que logra una ventaja competitiva sobre los demás en el mercado. Pero no todas las empresas en México pueden estar seguras de que trabajan con calidad y eso ocurre no solo en las pequeñas y medianas empresas sino también en las grandes. Uno podría pensar que no es posible que una gran empresa de clase mundial pueda tener problemas en cuestión de calidad en su producción, pero sucede.

Cuando se tiene una metodología para la mejora de la calidad y se respeta, esto conlleva a tener una empresa competitiva en todos los rubros, siempre y cuando sea controlado el proceso.

El mercado mundial exige empresas que tengan la capacidad para evolucionar, que tengan la facultad para lidiar los problemas que les arrojan el mercado y la banca internacional. Si las empresas no pueden tener control de sus procesos entonces no se consolidaran en el mercado, si no tienen un proceso de calidad, tarde o temprano la competencia las va a desplazar, obligándolas a perder clientes e inversiones de nuevos proyectos por motivos de no tener bajo control su proceso.

Distintas metodologías se manejan para la mejora de la calidad en los procesos de las empresas, unas más completas que otras. En este caso es la metodología *Lean Six Sigma* que está basada en ciclo DMAIC por sus siglas en ingles que significan, Definir (D), Medir (M), Analizar (A), Mejorar (I), Controlar (C). El propósito de esta metodología es brindar una herramienta capaz de poder resolver los problemas en cuestión de la calidad, cabe mencionar que se puede aplicar no solo a los procesos en la producción de cualquier tipo, sino también a cuestiones logísticas, a cuestiones gubernamentales, entre otras. Esta metodología no es una receta que se deba seguir al pie de la letra ni siempre es posible usarla ya que a veces no es necesario aplicarla porque que los problemas pueden ser más sencillos de resolver por medio de otras herramientas las cuales también se apoya Lean Six Sigma.

RESUMEN

Si me preguntarán que si para realizar un proyecto de estos, uno tiene que conocer completamente un proceso como tal, yo les diría que no, ya que uno como líder de un proyecto se tiene que preocupar en cómo manejar a su equipo, como lograr que ellos aporten valor a usted, ya que ellos conocen cada una de sus tareas o áreas en las cuales está involucrado el problema, usted solo sabe cómo tomar sus ideas, sus aportes y en base a análisis, ver si realmente los datos que nos proporcionan son realmente los que influyen en el problema o no.

A lo largo de un proyecto de estos, se tendrán resultados que uno podría afirmar que le dimos al blanco correcto y que es ahí donde tenemos que atacar y ya no preocuparnos por seguir tomando datos y analizando, pero “OJO” esto suele ocurrir muchas veces ya que alguna variable puede ser significativa para el problema pero no lo sabremos, sino hasta terminar con el proyecto, así que debemos seguir analizando y no alarmarnos con alguna variable que nos esté dando un resultado positivo. Esto lo menciono porque pudiera ser que esa variable que se encontrase es muy significativa o tal vez sea el resultado de otra u otras variables más, que den como resultado una afectación del proceso.

Uno como líder debe tener en mente que los datos son los únicos que te dan la respuesta, las personas hablan y no conocen muchas veces lo que se está haciendo pero usted sí y por eso es llamado líder, hablando de esto viene a mi mente una frase que mi ex jefe y ahora amiga, quien decía cuando estaba llevando este proyecto “*A Dios le creo, pero los demás que me lo demuestren con datos*”. Y siempre lo recalaba porque

como mencionaba anteriormente, uno encuentra variables que pudieran hacer que nuestro proceso se ajustara a lo deseado pero nunca nos dejó atacarlo sin antes analizar y volver a tomar datos y analizarlos nuevamente hasta ver que el proceso se controlaba.

La metodología Lean Six Sigma que se usa en varios procesos de una organización para la mejora de la calidad, combina dos ideas: Lean una recolección de técnicas para reducir el tiempo necesario para proporcionar productos o servicios y Six Sigma es una recolección de técnicas para mejorar la calidad de productos y servicios y contribuir substancialmente a una mayor satisfacción del cliente.

Combinando Lean y Six Sigma se obtiene una estrategia probada de gestión comercial que ayuda a organizaciones a operar de forma más eficaz.

OBJETIVOS

Objetivo general.

- Aplicación de un caso real del método Lean Six Sigma en el ámbito industrial

Objetivos específicos.

- Dar a conocer a los interesados la aplicación de Lean Six Sigma
- Desarrollar las habilidades necesarias en el área de procesos para asegurar el éxito de proyectos Lean Six Sigma
- Usar las herramientas necesarias para dar soporte y asegurar el éxito de proyectos desplegados en el área de trabajo

JUSTIFICACIÓN

- El siguiente trabajo fue realizado para obtener el título de Ingeniero Mecatrónica mediante el proyecto Lean Six Sigma aplicado a la industria automotriz, llevando a cabo la aplicación del método DMAIC que son pasos para poder saber en qué fase se encuentra uno del proyecto, de tal manera que al mismo tiempo que se da a conocer la metodología aplicada a este caso real, se muestran los resultados obtenidos para este problema.
- Lean Six Sigma es una herramienta que, para quien logra manejarla, le abre un gran campo laboral y de gran remuneración.
- Es por eso que es importante que los ingenieros no solo de un ramo en específico sepan utilizar o tener noción de esta herramienta sino cualquier ingeniero del área que sea, tiene que saber al menos lo que significa y como es que funciona ya que en la industria se llevan a cabo proyectos basados en dicho método o parte de los proyectos tienden a enfocar parte a ello y se necesita de gente capacitada para formar los equipos de trabajo.
- En la industria se manejan diferentes técnicas, métodos, etc., para mantener una producción de calidad, las cuales si no cumplen con los requerimientos del cliente se traduciría a pérdidas de dinero y como ya es sabido el ahorro de dinero es el principal objetivo de cualquier empresa, siempre y cuando no se vea afectado su proceso interno y su producto terminado.
- Al final de este trabajo en particular se tendrán las técnicas y procedimientos del método Lean Six Sigma para analizar su proceso y optimizar su operación.

CAPITULO I

ANTECEDENTES

ANTECEDENTES DE LA METODOLOGÍA

HISTORIA DE SIX SIGMA

El método de Six Sigma es una filosofía que inicia en los años ochenta como estrategia de mercado y de mejoramiento de la calidad en la empresa Motorola, cuando el ingeniero Mikel Harry promovió como meta estimable en la organización la evaluación y el análisis de la variación de los procesos de Motorola, como una manera de ajustarse más a la realidad. Es en esta época, con el auge de la globalización donde las empresas del sector industrial y comercial empezaron a desarrollar técnicas más eficientes que le permitieran optimizar los procesos para mejorar su competitividad y productividad, lo que involucró como objetivo principal reducir la variabilidad de los factores o variables críticas que de una u otra forma alteraban el normal desempeño de los procesos. Por lo que se tomó como medida estadística confiable la evaluación de la desviación estándar del proceso, representada por el símbolo σ , como indicador de desempeño y a su vez permita determinar la eficiencia de la organización.

Esta iniciativa se convirtió en el punto central del esfuerzo para mejorar la calidad en Motorola, llamando la atención al director ejecutivo Bob Galvin; con su apoyo, se hizo énfasis no sólo en el análisis de la variación sino también en la mejora continua, observó que cuando se realiza el control estadístico a un proceso se toma como variabilidad natural cuando este valor de sigma σ oscila a tres desviaciones del promedio. Criterio que se modifica con el Método Seis Sigma en donde se exige que el proceso se encuentre a cuatro punto cinco desviaciones de la media. Esto implica que este parámetro del proceso debe estar dentro de este intervalo, por lo que estadísticamente se considera normal que 3.4 elementos del proceso no cumplan los criterios de calidad exigidos por el cliente, de cada millón de oportunidades (1.000.000). Esta es la causa del origen filosófico del Método Six Sigma como medida de desempeño de toda una organización.

Fue así como con el transcurrir del tiempo ha surgido esta nueva filosofía de calidad como evolución de las normas de calidad que actualmente muchas empresas aplican.

Esta nueva iniciativa de mejoramiento motivó a Lawrence Bossidy, quien en 1991 después de su retiro de General Electric, toma la dirección del conglomerado Allied Signal para transformarla de una empresa con dificultades económicas, a una organización exitosa. Durante los años noventa, Allied Signal amplió sus ventas de manera sorprendente. Este modelo de calidad fue imitado por Texas Instruments, alcanzando éxitos similares. Durante 1995 el director ejecutivo de General Electric, Jack Welch, se entera del éxito de esta nueva estrategia de mejoramiento gracias a la información suministrada por Lawrence Bossidy, facilitando así a la más grande transformación en esta organización.

Esta forma novedosa de orientar las políticas de calidad establecidas en la organización, se afianza de los criterios establecidos en las normas de calidad ISO y lo complementa con un mayor compromiso con las técnicas avanzadas de control estadístico de la calidad, lo que indica que el Six Sigma no es una metodología de calidad que se aleje de los criterios de mejoramiento que actualmente se desarrollan, por el contrario la integración de estos métodos de mejoramiento continuo inducen a una mejor eficiencia dentro de la organización.

HISTORIA DE LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA

El concepto Lean Manufacturing nace durante la segunda revolución industrial a mediados de los 70, se crea en Japón la necesidad de mejorar la calidad de los productos. La calidad pasa de ser algo controlable a una propiedad intrínseca de procesos y productos.

Para entender de donde nace la manufactura esbelta, empezaremos con una breve historia de Toyota. Toyota se inició con aquel personaje llamado Sakichi Toyoda quien tuvo el oficio de carpintero y mediante su aprendizaje de este oficio Sakichi moderniza el viejo telar manual de su madre, sin darse cuenta que este sería su principal invento y lo que lo catapulto como uno de los grandes inventores de Japón ya que su dispositivo detenía el telar cuando se rompía el hilo e indicaba con una señal al operador que la máquina necesitaba atención. Con este invento nació lo que hoy se llama Jidoka que en Lean Manufacturing significa “automatización con un toque humano” que permite que tenga su propio autocontrol de calidad.

Sakichi tuvo a su hijo Kiichiro Toyada quien trabajo con su padre en la empresa Toyada Loom Works donde aplicó un enfoque técnico para mejorar los telares y que estos trabajaran ininterrumpidamente.

Cuando Sakichi viaja a Estados Unidos se interesó por un nuevo producto complejo, el automóvil. A su regreso, Toyada vende sus patentes a los hermanos Platt, con esto el pide a su hijo que invierta en la industria automotriz, tras la muerte de Sakichi al siguiente año, Kiichiro inicia las investigaciones para el desarrollo de motores de combustión interna a gasolina y poco tiempo después se funda la Toyota Automatic Loom Works que tras la producción del primer prototipo de automóvil, crean los cimientos para fundar la Toyota Motor Company.

El sistema Toyota conocido como Just in Time, tuvo su origen en Japón tras la segunda guerra mundial y al hacer crecer nuevamente la economía nacional. Kiichiro se dio cuenta que la competitividad de los obreros japoneses era 3 veces menor a los alemanes y 10 veces menor a los estadounidenses. Lo que querían lograr con este método es producir sólo lo que se necesita en el momento que se requiere y en las cantidades necesarias para reducir los niveles de stock y lograr significativos ahorros en los costos.

Los pioneros de Lean Manufacturing fueron Taiichi Onho y Shigeo Shingo. La idea de Taiichi era convertir una bodega en un taller de máquinas por lo que quería ver que todos trabajaran y recibieran capacitación. Shigeo estudio detalladamente la administración científica de Taylor y teorías de tiempos y movimientos de Gilbreth, con lo cual entendió la diferencia entre procesos y operaciones y así poder transformarlos en flujos continuos sin interrupciones para entregar al cliente solo lo que requiere.

Prácticamente Jidoka y Just in Time son los pilares de Lean Manufacturing después de estos siguen otros términos que complementan a Lean que son Kaizen, Heijunka, Kanban, Poka yoke.

ANTECEDENTES DEL CASO REAL

El problema que se atacará en este caso real de Six Sigma se origina en una empresa de inyección de plástico para partes automotrices de nombre Beach Mold & Tool.

Para esto se remonta un poco a la industria de inyección de plástico y como funciona en términos generales.

El proceso de inyección es uno de los de mayor dificultad para la transformación de plástico por las variables que se tienen que controlar, pero también la de mayor utilidad, debido a la gran demanda de artículos que

se pueden obtener de él, se usa para productos con alto grado de complejidad por sus formas y precisión, ya que a través de este método se pueden obtener diversas piezas desde cucharas hasta partes automotrices, partes para equipos electrónicos, médicos etc.

El proceso de inyección es discontinuo y es llevado totalmente por una sola máquina llamada inyectora con su correspondiente equipo auxiliar y periférico.

El proceso de inyección consiste básicamente en:

1. Plastificar y homogeneizar con ayuda de calor el material plástico que ha sido alimentado en la tolva y el cual entrara por la garganta del cilindro.
2. Inyectar el material fundido por medio de presión en las cavidades del molde, del cual tomará la forma o figura que tenga el molde.
3. En el tiempo en el que el plástico se enfría dentro del molde, en la zona del husillo de nuevo se está llevando a cabo el paso “1”, para finalizar se abre el molde y expulsa la pieza.

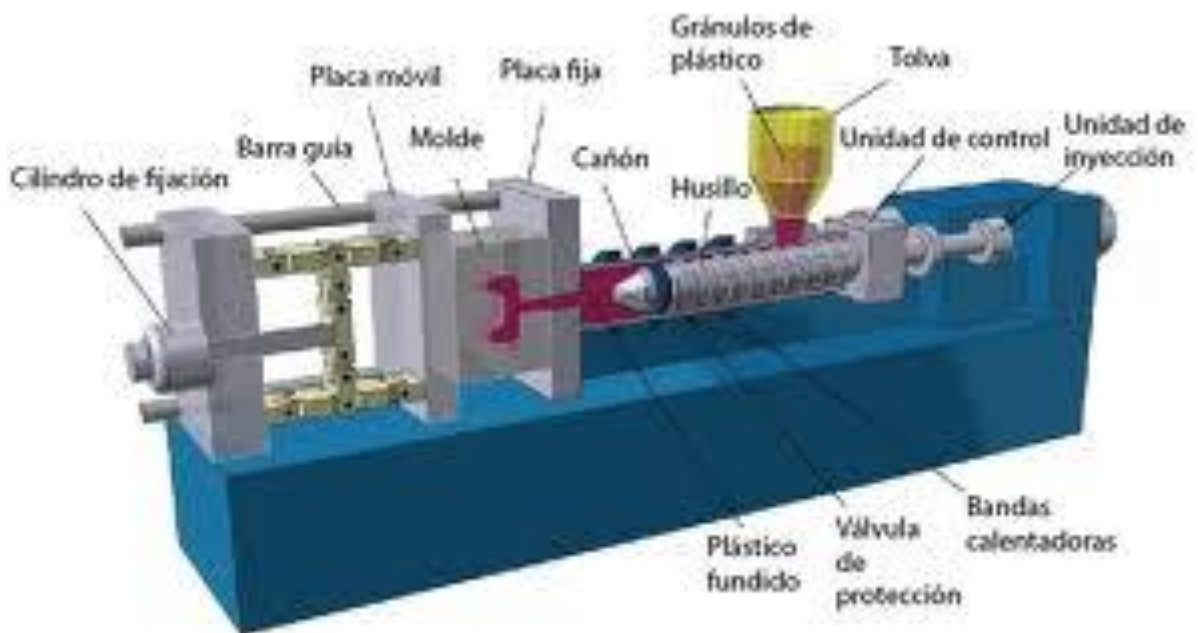


Fig. 1. Partes generales de una máquina de inyección de plástico

Describiremos en una forma más detallada lo que ocurre en los pasos del proceso de moldeo por inyección:

- El plástico se coloca en la tolva, normalmente como gránulo (pellet) en forma de esfera o cubo. En algunos casos el termoplástico tiene que ser secado antes de utilizarlo. El aceite entra en el cilindro hidráulico empujando a la platina móvil hacia delante, cerrando el molde.
- Esto se lleva en dos pasos. Primero un cierre a alta velocidad y momentos antes de que las mitades del molde hagan contacto se reduce la velocidad cerrando lentamente y a baja presión hasta que el molde se encuentra cerrado completamente, esto se hace con el fin de proteger el molde. Después de cerrado el molde, se eleva la presión del aceite en el cilindro hidráulico, generando la fuerza de cierre para mantener cerrado el molde durante la inyección.
- Si la fuerza de cierre es menor a la fuerza generada por la presión de inyección dentro del molde, éste se abrirá, teniendo como consecuencia que la pieza salga con exceso de plástico o comúnmente llamada rebaba o flash, a la cual habrá que darle un acabado o ser molida para procesarla nuevamente.
- El material es plastificado principalmente por la rotación del husillo, convirtiendo la energía mecánica en calor, también absorbe calor de las bandas calefactores del cilindro, conocidas también como resistencias. Mientras el material es plastificado y homogenizado, se le transporta hacia delante, a la punta del husillo. La presión generada por el husillo sobre el material fuerza el desplazamiento del sistema motriz, el pistón hidráulico de inyección y del mismo husillo hacia atrás, dejando una reserva de material plastificado en la parte delantera del husillo. A este paso se le conoce como dosificación o carga del cilindro. El husillo sigue girando hasta que se acciona un switch límite que retiene la rotación. Este switch es ajustable y su posición determina la cantidad de material que queda delante del husillo.
- El husillo al correrse hacia atrás fuerza la salida del aceite del pistón hidráulico de inyección. Esta salida de aceite puede ser directa al tanque o depósito por medio de una válvula para generar una cierta presión en el material que está siendo plastificado y homogenizado por el husillo. A esta presión se le conoce como contrapresión. Al finalizar la dosificación, se retrocede el husillo ligeramente para empezar la descompresión del material y evitar que fluya hacia afuera de la boquilla cuando la unidad de inyección se separe del molde. A esto se le conoce con el nombre de descompresión y es controlado generalmente por un regulador de tiempo.
- Ahora actúan los cilindros hidráulicos de inyección empujando el husillo hacia delante, utilizándolo como pistón al inyectar el material en las cavidades del molde, con una predeterminada presión y

velocidad de inyección, después de la inyección, la presión es mantenida un cierto tiempo, a esta se le conoce con el nombre de presión de sostenimiento y normalmente es menor a la presión de inyección.

- Por lo regular se tiene en la punta del husillo una válvula de no retorno que impide que el material fluya hacia atrás en el momento de la inyección. Esta válvula se abre al dosificar y se cierra al inyectar, mientras el material se enfría, se vuelve más viscoso y solidifica hasta que el punto en la presión de sostenimiento no tiene efecto alguno.
- El calor de la pieza transmitido al molde durante el enfriamiento es disipado por un refrigerante, normalmente agua, que corre a través de los orificios hechos en el molde (circuitos ó canales de refrigeración). El tiempo de cierre necesario para enfriar la pieza se ajusta en un regulador de tiempo, Cuando este termina se abre el molde, un mecanismo de expulsión separa el artículo del molde y la máquina se encuentra lista para iniciar el próximo ciclo.

Esto ocurre durante el proceso de inyección del material al molde para obtener la pieza que se quiere hacer, moldear o fabricar.



Fig. 2. Ejemplo de una máquina o prensa Inyectora de plástico

Una vez resumido el proceso de inyección de plástico a grandes rasgos, se explica el problema de este caso en particular con una pieza plástica. El problema que se encontró, es que en la producción del ventilador “M3 PQ35 Fan” de la división de “Mold Shop”, ver figura 3, ubicado en la prensa #22, dicho ventilador presentaba un defecto de desbalanceo cuando este era ensamblado por el cliente en el motor, ya que de alguna parte se tenía mayor carga de peso y por ende giraba de manera incorrecta, ocasionando además del ruido dentro del ensamble, una descompensación en la ventilación. Este problema fue detectado por el cliente quien inmediatamente reporto el defecto y se puso en marcha un equipo en la planta para poder atacar de inmediato el “dolor” problema.



Fig. 3. M3 PQ35 Fan



Fig. 4. Grapa automotriz

Para no tener más reportes de material NG (Not Good) por parte del cliente, el equipo opto por llevar a cabo una acción rápido que fue colocar una grapa (ver figura 4) para compensar el peso perdido y lograr que el ventilador girará sin descompensación, pero no tardó mucho en necesitar más de una grapa lo cual ya no fue aprobado por el cliente, por lo tanto se tomó la decisión de comenzar un proyecto Lean Six Sigma que nos pudiera resolver el problema.

DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA

Lean Six Sigma se basa en la mejora de procesos que afectan la calidad de una organización cualesquiera y no solo del ámbito industrial, pero ¿Qué es un proceso? Un proceso es “una actividad que utiliza recursos y que se gestiona con el fin de permitir la transformación de elementos de entrada, en resultados” o también se puede definir como “una serie de actividades que añaden valor produciendo una salida deseada a partir de una variedad de entradas”, podríamos encontrar varias definiciones pero la esencia es la misma como nos podemos dar cuenta.

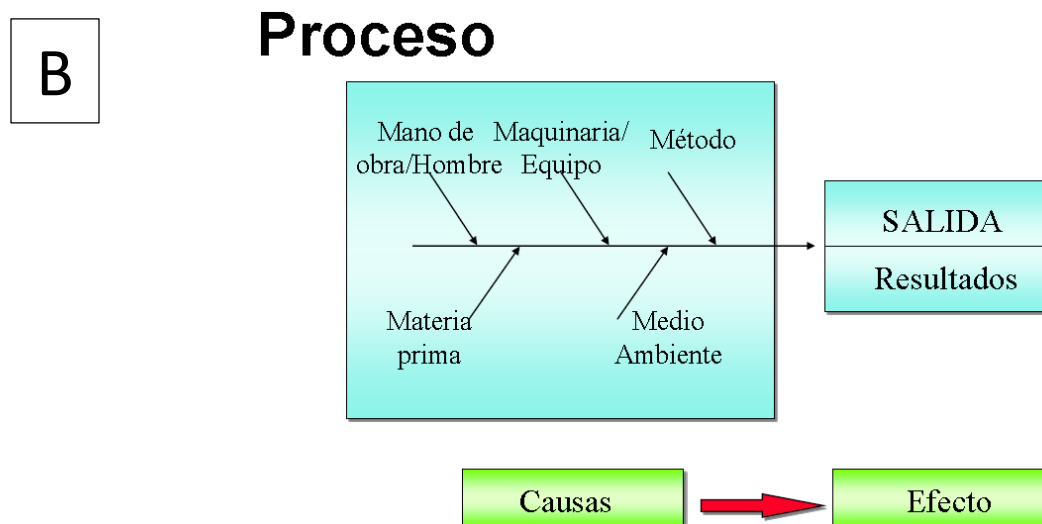
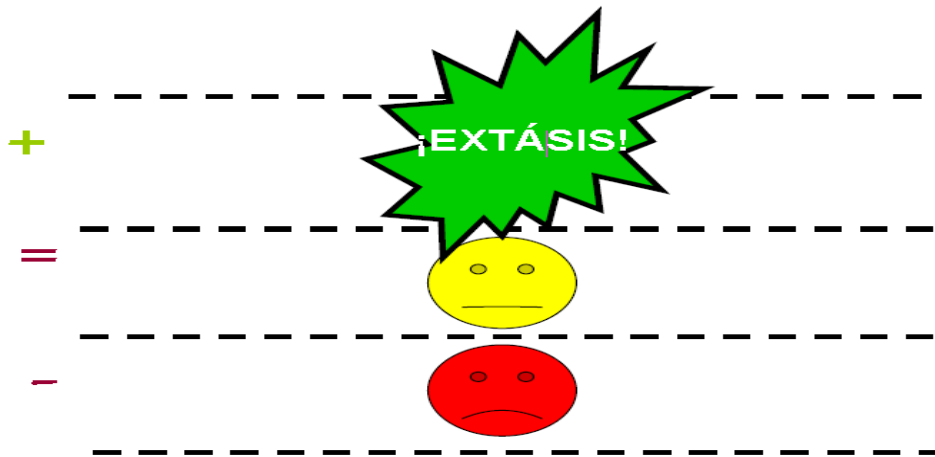


Fig. 5. A) Diagrama de flujo de un proceso general donde “Trabajo” es donde interaccionan todos los procesos para obtener la salida que el cliente quiere. B) Muestra las principales variables que influyen en los procesos como son Mano de obra, Maquinaria, Método, Materia prima y Medio ambiente, para generar la salida deseada.

Un proceso afecta la calidad con que se realizan las cosas, pero ¿Qué es calidad?, se puede definir calidad como “cumplir con las necesidades del cliente y exceder las expectativas en forma constante” o la siguiente, que es la que mejor se puede considerar para definir calidad “suministrar bienes y servicios que no regresan, a clientes que si lo hacen”, que quiere decir, nos dice que si cualquier organización se enfoca en realizar su producto o servicio con calidad, lo que obtendrá serán clientes que seguirán buscando a esa organización por su servicio que brinda y no cosa contraria si el producto que producen es de baja calidad, se tendrán reclamos constantes y retorno de material o servicios al proveedor o hasta la pérdida del mismo cliente.

¿Qué busca el cliente?



LEAN MANUFACTURING O MANUFACTURA ESBELTA

Podemos encontrar varias definiciones pero las más apegadas son las siguientes, “Lean Manufacturing es la serie de herramientas estratégicas aplicadas a un proceso para incrementar las ganancias de la empresa en la que se aplique” o también “es la metodología usada para identificar las operaciones que agregan valor al producto o servicio y para eliminar las que no aportan valor (adelgazar la estructura operativa).

Por medio de estas herramientas que envuelven a Lean Manufacturing podemos reducir en la organización:

- Desperdicios de cualquier clase
- Costos de calidad
- Tiempos de ciclo
- Espacios de inventario
- Flujos innecesarios
- Cansancio del personal y fatiga de equipos
- Inversiones de capital
- Tiempos de respuesta a pedidos de cliente
- Quejas y problemas con clientes

Pero no solo se enfoca en reducir sino pone énfasis en lograr incrementar:

- El flujo de material, producto y dinero
- El uso de espacios y recursos
- La prevención de problemas de calidad
- La participación activa de todo el personal
- La motivación del personal
- El tiempo de planeación
- Las ganancias

A continuación se muestra el concepto Lean (ver figura 6) y sus pilares donde se basa la metodología, se explica de manera general cada uno de los métodos mencionados.

¿Qué es Just in Time “JIT”?

JIT literalmente quiere decir “Justo a tiempo”. Este método o filosofía define como debería optimizarse un sistema de producción. Se trata de entregar materias primas o componentes a la línea de fabricación de forma que lleguen “justo a tiempo” a medida que se requieren.

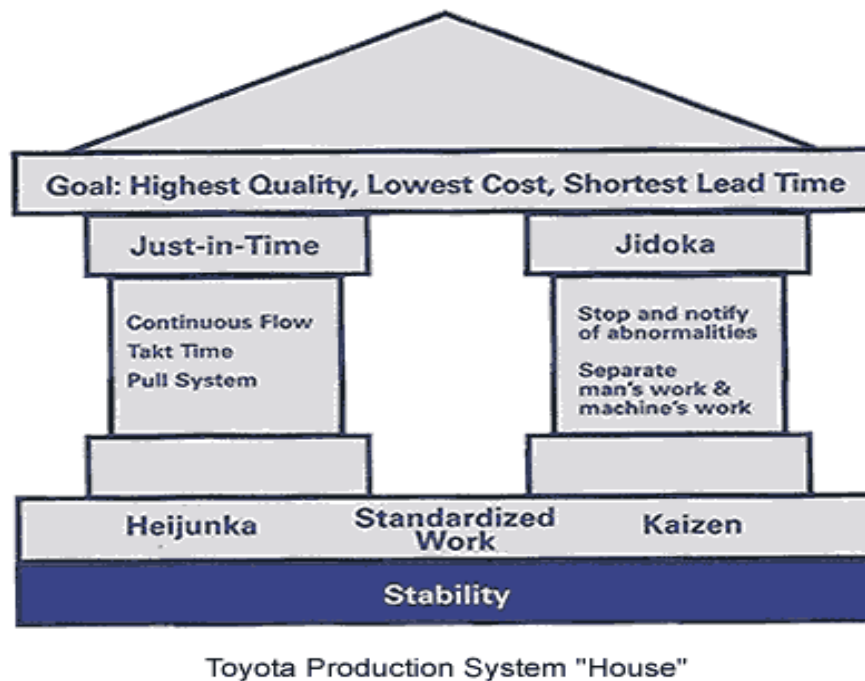


Fig. 6. Concepto Lean o también conocido como Sistema de producción Toyota.

El JIT es una filosofía que se orienta a la demanda, porque prefiere conseguir que los proveedores hagan más entregas y con absoluta puntualidad para evitar manejar altos volúmenes de existencia en almacén.

La ventaja competitiva ganada deriva de la capacidad que adquiere la empresa para entregar al mercado el producto solicitado, en un tiempo breve, en la cantidad requerida. Evitando costos que no producen valor agregado.

¿Qué es Jidoka “automatización con un toque humano”?

El Sistema Jidoka compara los parámetros del proceso de producción contra los estándares establecidos. Si los parámetros del proceso no corresponden a los estándares preestablecidos, el proceso se detiene con el fin de evitar la producción masiva de partes o productos defectuosos.

El Jidoka busca tener cero defectos, es decir, nunca pasar un producto defectuoso “corriente abajo”, y eliminar el riesgo de que un defecto sin detectar termine en las manos del cliente.

Para resumir, los objetivos de Jidoka son:

- Calidad asegurando 100% de tiempo
- Previniendo averías de equipo
- Usando Eficazmente la mano de obra

¿Qué es Heijunka “nivelación de la producción”?

El principal objetivo de la nivelación de la producción es hacer coincidir de forma eficiente la producción con la demanda del cliente, ritmo de la demanda y velocidad de producción.

El ritmo de la demanda se mide mediante el Takt Time: ritmo al que el cliente está demandando y al cual se requiere producir con el fin de satisfacerlo.

$$Takt\ Time = \frac{Tiempo\ de\ producción\ disponible}{Cantidad\ total\ requerida}$$

La velocidad de producción se mide mediante el Tiempo de ciclo: tiempo que requiere generar una unidad de producto.

A partir del Tiempo de Ciclo, podemos establecer la capacidad de producción correspondiente a la máxima cantidad que un proceso, una máquina o un sistema puede producir.

La relación que existe entre Takt Time y Tiempo de Ciclo es la siguiente:

$$\mathbf{Tiempo\ de\ Ciclo = Takt\ Time}$$

Con lo que concluimos que la herramienta que permite transmitir el concepto del Takt Time al sistema de producción es la Nivelación de la producción o Heijunka.

¿Qué es Kaizen?

“MEJORA CONTINUA” en japonés. Kaizen es el uso organizado de sentido común para mejorar la seguridad, costo, calidad, entrega y respuesta a las necesidades del cliente. “El mejoramiento continuo no es una carrera, pero como los granos de arena de un reloj, sus resultados se verán con el tiempo”. Para Kaizen, el mantenimiento implica todas aquellas actividades dirigidas a conservar los actuales estándares tecnológicos, administrativos y de operaciones. En tanto que el mejoramiento implica las actividades dirigidas a mejorar los estándares corrientes.

La función de la administración es hacer un esfuerzo constante para proporcionar mejores productos a precios más bajos. El Kaizen tiene un pensamiento orientado al proceso y un sistema administrativo que apoye y reconozca los esfuerzos de la gente orientada al proceso para el mejoramiento.

¿Cuándo hacer Kaizen?

- Cuando se han identificado fuentes obvias de desperdicio
- Cuando el alcance y límites del problema están claramente definidos y entendidos
- Cuando la implementación es mínima
- Cuando los resultados se necesitan inmediatamente

Kaizen es un vehículo para implementar “mejoras rápidas, pero aún sigue una ruta predefinida:

- Preparación para el pre-evento: Identificar y planificar los eventos de alcance estrecho
- Evento Kaizen: Implementar soluciones rápidas durante el evento Kaizen
- Actividades de seguimiento: Las actividades Kaizen típicamente terminan a los 20 días después de iniciado el Kaizen
- El enfoque Kaizen sigue el proceso DMAIC

Kaizen no requiere técnicas sofisticadas ya que se basa en Siete Herramientas de Mejora que se mencionan a continuación.

- Lluvia de ideas
- Diagrama de Causa-Efecto
- Hoja de Verificación

- Diagrama de Pareto
- Histograma
- Diagrama de Dispersión
- Gráficos

SIX SIGMA

Prueba de Hipótesis

Introducción

En las pruebas de hipótesis se utiliza la estadística. La estadística se define como la ciencia y el arte de reunir, tabular e interpretar datos numéricos y así efectuar una inferencia estadística basada en el cálculo de probabilidades, de tal manera que las conclusiones obtenidas respecto al comportamiento y características fundamentales de fenómenos aleatorios sean consistentes e insesgadas. Lo anterior implica que cuando se aplican y establecen adecuadamente los procedimientos estadísticos, estos son independientes de quien toma las decisiones y dependen por completo de las metodologías, definiciones y parámetros estadísticos requeridos para efectuar la prueba estadística empleada.

Inferencia Estadística

Todas y cada una de las variables aleatorias tienen una (y sólo una) distribución de probabilidad. Esta distribución también es única. En su mayor parte, la estadística trata con estas distribuciones de probabilidad.

En la estadística básica se tiene que las funciones de densidad de probabilidad se pueden definir mediante ciertas constantes denominadas “parámetros de distribución”. A su vez, estos parámetros se pueden usar para caracterizar variables aleatorias a través de medidas de localización, forma y variaciones de fenómenos aleatorios. Las características más importantes son la *media*, μ , y la *varianza*, σ^2 . La media es una medida

de tendencia central, y la varianza es una medida de la dispersión (límite) de una distribución. Por lo tanto, cuando se habla de la media y la varianza de una variable aleatoria, se está haciendo referencia al uso de parámetros estadísticos (constantes) que caracterizan el comportamiento probabilístico de la variable aleatoria en cuestión. Tenemos que:

$$\mu = \sum_x xp(x)$$

ó

$$\mu = \int_x xf(x)$$

Donde $p(x)$ representa la probabilidad de una variable *discreta* y $f(x)$ la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria *continua*. Los parámetros de interés están implícitos en la forma de las funciones de densidad de probabilidad, las cuales se examinan brevemente.

Asimismo

$$\sigma^2 = \sum_x (x - \mu)^2 p(x)$$

ó

$$\sigma^2 = \int_x (x - \mu)^2 f(x)$$

La estadística matemática muestra que muchas variables aleatorias que se presentan en la naturaleza siguen la misma forma general de distribución con diferencias sólo en los parámetros y las cantidades estadísticas μ y σ^2 .

Los fenómenos aleatorios (variables) existen en cualquier tipo de actividad. Cuando uno se interesa en ciertos fenómenos aleatorios, el primer requerimiento parece ser desarrollar algunos medios para medirlos. Una vez terminado esto, regularmente se toman cierto número de observaciones de los fenómenos aleatorios. La estadística aporta las herramientas y técnicas de desarrollo para elegir esta n observaciones (una muestra) y manejarlas de tal manera que se obtenga información acerca de la(s) variable(s) aleatoria(s)

fundamental(es). El promedio (o media) y/o la varianza (o dispersión) de la distribución de probabilidad de la variable aleatoria proporciona obviamente información útil.

Los “estadísticos” que se usan más son la media de la muestra de n observaciones.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n}$$

Y la varianza de la muestra

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

A lo largo de desarrollos matemáticos se ha probado que \bar{x} usualmente es el mejor estimador (puntual) único de μ y que s^2 es comúnmente el mejor estimador (puntual) único de σ^2 , donde μ y σ^2 son la media y la varianza, respectivamente, de la variable aleatoria fundamental. En condiciones normales, la naturaleza de μ y σ^2 es totalmente desconocida y la estadística se usa para establecer inferencias respecto a sus valores verdaderos (desconocidos).

Todos los métodos estadísticos tienen como base una muestra de n observaciones sobre los fenómenos aleatorios en cuestión. Estos métodos requieren que la muestra aleatoria (de tamaño n) sea “representativa” de los resultados que podría haber. Es por eso que se dice que se debe asegurar que la muestra es una muestra aleatoria. Muchos cálculos estadísticos que se hacen en la actualidad no son válidos porque los datos no son representativos de la población.

Prueba de Hipótesis Estadística

Por medio de una muestra representativa (aleatoria) de n observaciones, los especialistas en estadística han mostrado que la siguiente función para valores de n suficientemente grandes

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

Es una variable aleatoria que obedece a (o tiene) una distribución de probabilidad normal, con $\mu=0$ y $\sigma^2 = 1$. Este hecho es el resultado del teorema de límite central, que establece: si \bar{x} es la media de una muestra aleatoria de tamaño n tomada de una población que tiene media μ y varianza finita σ^2 , entonces

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$$

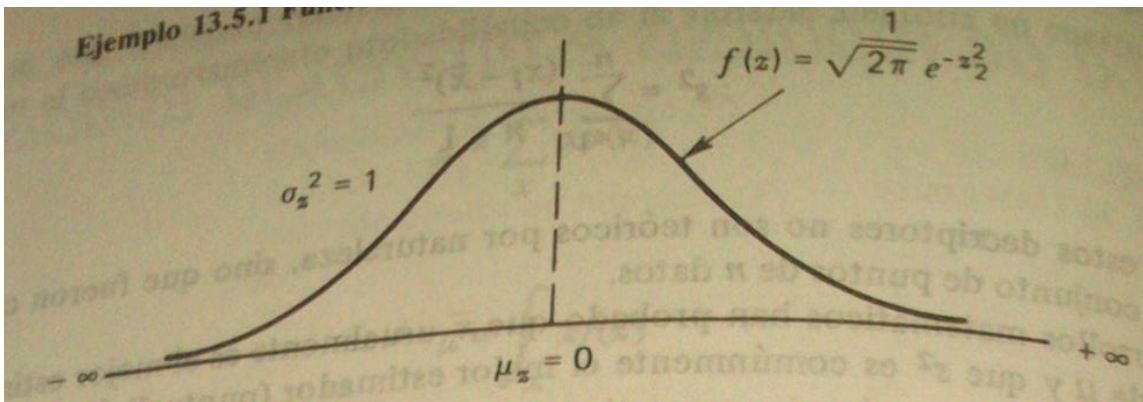


Fig. A Función de densidad normal estándar

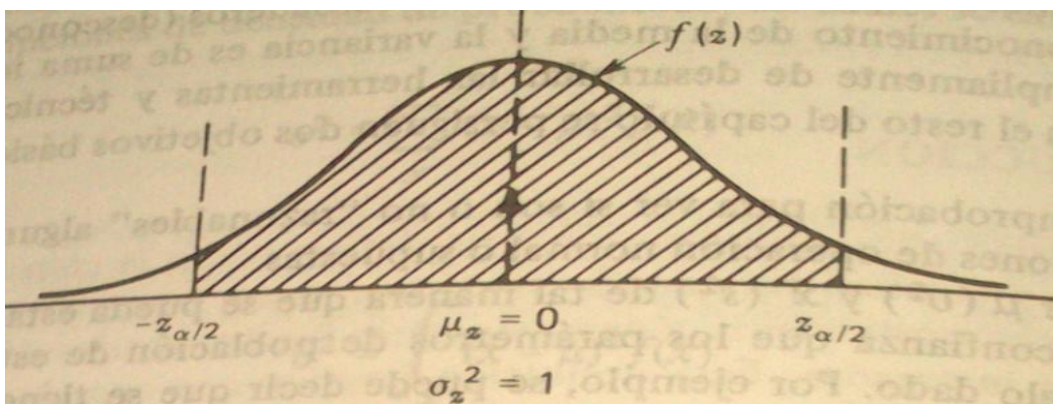


Fig. B Regiones de aceptación y rechazo

El valor de la variable aleatoria cuya distribución de probabilidad se aproxima a la de la distribución normal estándar ($\mu=0$, $\sigma^2=1$) a medida que n tiende a infinito. Este teorema es considerado uno de los más extraordinarios teoremas de estadística, ya que no requiere conocimiento alguno sobre la forma de la distribución de probabilidad de las observaciones individuales. Solamente requiere que las x tengan una

media finita, μ , y una varianza σ^2 . La función de densidad normal estándar es como se ilustra en la figura A si se usa la expresión $Z_{\alpha/2}$ ($-Z_{\alpha/2}$) para indicar el valor de z donde $\alpha/2$ área bajo la curva queda a la izquierda (derecha) de $Z_{\alpha/2}$ ($-Z_{\alpha/2}$), entonces se establece el área sombreada que se ve en la figura B. Esta área representa la región en que $(1-\alpha)$ de todas las variables aleatorias caracterizadas por la función de densidad normal estándar $f(z)$ con media $\mu_z=0$ y varianza $\sigma_z^2 = 1$, se puede esperar que mienta. Dentro del contexto de una Prueba de Hipótesis, esta área se denomina “región de aceptación” y las áreas restantes se denominan “regiones de rechazo”. Los puntos $-Z_{\alpha/2}$ y $Z_{\alpha/2}$ se llaman “puntos de rechazo” por razones que se comprenden poco. Aunque la función de densidad de probabilidad fundamental $f(z)$ podría cambiar, estos conceptos permanecen iguales. En base a estas definiciones se desarrolla el procedimiento de Prueba de Hipótesis estadística.

Anova

Desviación

Hay dos tipos de desviaciones: desviación de un valor objetivo y la desviación de la media \bar{y} . La primera, la desviación de un valor objetivo se explica. Tenemos n mediciones de y_1, y_2, \dots, y_n del valor objetivo, y_0 , son llamadas las desviaciones de un valor objetivo.

Lo siguiente es un ejemplo para ilustrar el cálculo de la desviación de un valor objetivo. Con el fin de producir resistencias de carbón con valor de $10\text{k}\Omega$, 12 resistencias fueron producidas para el ejercicio. Sus resistencias fueron medidas para obtener los siguientes valores en Kilo ohms:

10.3 9.9 10.5 11.0 10.0 10.3 10.2 10.3 9.8 9.5 10.1 10.6

Las desviaciones de un valor objetivo de $10\text{k}\Omega$ son:

0.3 -0.1 0.5 1.0 0.0 0.3 0.2 0.3 -0.2 -0.5 0.1 0.6 (1)

Un valor objetivo no siempre se limita al valor que una persona podría asignar arbitrariamente. Algunas veces los valores estándar son usados para comparar, tal como valores nominales (especificaciones o indicaciones tal como 100 gr por contenedor), valores teóricos (valores calculados de teorías o de un método

estándar usado por una compañía), valores pronosticados y valores relativos al producto usado por otras compañías u otros países.

La tabla C1 muestra los resultados de las mediciones de corriente eléctrica de un circuito eléctrico cuando el voltaje (E: volts) y la resistencia (R: ohms) se variaron.

De la ley de ohm, el valor teórico para cada voltaje y resistencia se calculan como 5.00, 1.00, 2.00, 0.75, y 1.50, las diferencias entre cada valor observacional, y , y el valor teórico, y_0 , son mostradas en la columna derecha de la tabla.

Tabla C1. Valores observacionales “y” y valores teóricos “y₀”

<i>R</i>	<i>E</i>	<i>y</i>	<i>y₀</i>	Deviation
10	50	5.10	5.00	0.10
20	20	0.98	1.00	-0.02
20	40	2.04	2.00	0.04
40	30	0.75	0.75	0.00
40	60	1.52	1.50	0.02

En otro ejemplo, cuando las alturas de unos niños de sexto grado de primaria son medidas, las desviaciones de la media de la altura de los niños de sexto grado de todo el país son usualmente calculados. En este caso, el valor de la media es un valor objetivo; por lo tanto, la desviación del valor objetivo debe ser calculada. Cuando no hay ni un valor objetivo ni un valor teórico, es importante calcular la desviación a partir de un valor medio. Por ejemplo, el promedio de las alturas de las diez personas descritas anteriormente fue $\bar{y} = 163$, las desviaciones de la media son:

$$163.2 - 163.82 = -0.62$$

$$171.6 - 163.82 = 7.78$$

$$156.3 - 163.82 = -7.52$$

Ec. 1

...

$$153.5 - 163.82 = -10.32$$

El total de estas desviaciones de la media es igual a cero, si la gráfica es normal y por tanto simétrica. En muchos casos, la palabra desviación significa la desviación con respecto a una media aritmética. Es importante distinguir entre cada caso si una desviación es respecto a una media o a un valor objetivo.

De nuevo, usando las 10 alturas, si esas alturas son datos de 10 jóvenes quienes viven en un lugar remoto, una desviación de un valor objetivo debe ser calculado adicionalmente a la desviación de la media. El problema entonces es, determinar si el valor de la media de los jóvenes viviendo en este lugar remoto difiere de la media de todo el país. Por lo tanto, y_0 , la desviación de la media del país es calculada, (Nota: esto no es lo mismo que calcular la desviación de la media o de un valor objetivo).

Variación y Varianza

Cuando hay muchas desviaciones con diferentes magnitudes, la magnitud como un todo es expresada por la suma de las desviaciones al cuadrado o por la media de la suma al cuadrado.

La suma de las desviaciones al cuadrado es llamada *variación*, y su media es llamada *varianza*. Teniendo n mediciones y_1, y_2, \dots, y_n , y un valor objetivo y_0 , la suma de los cuadrados de $(y_1 - y_0), (y_2 - y_0)$, es llamada *suma total de cuadrados* (ó *variación total*), denotado por

$$S_T = (y_1 - y_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + \dots + (y_n - y_0)^2 \quad \text{Ec.2}$$

El número de cuadrados independientes en la variación total, S_T , es llamado el número de *grado de libertad*. Ese número de grado de libertad en la Ec. 2 es por lo tanto n .

La desviación de la resistencia de carbón (1) varía de -0.5 a +1.0, para expresar esos valores diferentes por una figura sencilla, la suma de esas desviaciones cuadradas es calculada:

$$S_T = (0.3)^2 + (-0.1)^2 + (0.5)^2 + \dots + (0.6)^2$$

$$= 0.9 + 0.01 + 0.25 + \dots + 0.36$$

$$= 2.23$$

Ec. 3

Las desviaciones en la ecuación (Ec. 3) son de un valor objetivo de 10kΩ; su número de grado de libertad es 12. La variación total, S_T , de la tabla C1 es

$$S_T = (0.10)^2 + (-0.02)^2 + (0.04)^2 + (0.00)^2 + (0.02)^2$$

$$= 0.0124$$

Ec. 4

Su número de grado de libertad es 5.

Tenemos que la media de n mediciones es \bar{y} . La suma de la desviación cuadrada de la media podría correctamente ser llamada la suma de desviaciones cuadradas de la media, pero es usualmente llamada la *variación total (o suma total de cuadrados)*.

$$S_T = (y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2$$

Ec. 5

Hay n cuadrados en la ecuación (Ecu.5); sin embargo, su número de grado de libertad es $n-1$. Esto es porque allí existe la siguiente relación lineal entre n desviaciones.

$$(y_1 - \bar{y}) + (y_2 - \bar{y}) + \dots + (y_n - \bar{y}) = 0$$

Ec. 6

Generalmente, el número de grado de libertad para la suma de n número de cuadrados está dado por n mínimo número de ecuaciones relacionadas entre las desviaciones antes de que estas desviaciones se eleven al cuadrado.

Hay n cuadrados en la ecuación S_T (Ec. 5), pero hay una ecuación relacional mostrada por (Ec. 6); por lo tanto, su número de grado de libertad es $n-1$.

Cuando hay n mediciones, el número de grados de libertad de la suma de las desviaciones al cuadrado ya sea de un valor objetivo o de un valor teórico es n , y el número de grados de libertad de la suma de las desviaciones al cuadrado de la media, \bar{y} , es $n-1$.

La suma de las desviaciones en la ecuación (Ec. 1) al cuadrado, denotada por S_T ,

$$S_T = (-0.62)^2 + 7.78^2 + (7.52)^2 + \dots + (-10.32)^2$$

$$=0.3842 + 60.5284 + 56.5504 + 106.5204$$

$$= 514.9360 \quad \text{Ec. 7}$$

Es la suma de desviaciones (de la media \bar{y}) al cuadrado con nueve grados de libertad.

Para obtener una variación de la media aritmética, \bar{y} , es más fácil calcular de la forma de una resta a la media de y_1, y_2, \dots, y_n , calculando sus sumas al cuadrado, luego restando el factor de corrección:

$$S_T = (y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2$$

$$= (y'_1)^2 + (y'_2)^2 + \dots$$

$$+ (y'_n)^2 - \frac{(y'_1 + y'_2 + \dots + y'_n)^2}{n} \quad \text{Ec. 8}$$

Las medidas y'_1, y'_2, \dots, y'_n son los valores restados por una media. Es relativamente fácil demostrar la ecuación (Ecu. 8). En la ecuación (Ec. 9),

$$CF = \frac{(y'_1 + y'_2 + \dots + y'_n)^2}{n} \quad \text{Ec. 9}$$

Es llamada *factor de corrección*, usualmente denotada por CF o CT.

La variación total de las alturas es calculada usando la ecuación (Ec. 8) con una media de 160.0 cm:

$$S_T = (\text{Suma de los datos después de restar la media al cuadrado}) - (\text{suma de los datos después de restar la media})^2$$

$$= (163.2 - 160.0)^2 + (171.6 - 160.0)^2 + \dots + (153.5 - 160.0)^2 - \frac{[(163.2 - 160.0) + (171.6 - 160.0) + \dots + (153.5 - 160.0)]^2}{2}$$

$$= 3.2^2 + 11.6^2 + \dots + (-6.5)^2 - \frac{[3.2 + 11.6 + \dots + (-6.5)]^2}{10}$$

$$= 660.32 - \frac{38.2^2}{10}$$

$$= 660.32 - 145.924$$

$$= 514.396 \quad \text{Ec. 10}$$

Usualmente, un *factor de corrección* o una variación se calcula como la medida de la unidad más baja después de su cuadratura de sus datos originales. En este caso, el cálculo está hecho para el segundo decimal, así que para el tercer decimal y la unidad más baja son redondeados.

$$S_T = 660.32 - 145.924 = 514.40 \quad (f = 9) \quad \text{Ec. 11}$$

El factor de corrección es

$$CF = \frac{38,2^2}{10} = 145.92 \quad \text{Ec.12}$$

Luego, discutimos la varianza, el valor de variación dividido por los grados de libertad:

$$\text{varianza} = \frac{\text{variación}}{\text{los grados de libertad}} \quad \text{Ec. 13}$$

La *varianza* significa la media de la desviación por unidad de grado de libertad, que significa realmente la magnitud del error, o error, o dispersión, o cambio por unidad. Esta medida corresponde al trabajo o energía por unidad de tiempo en física.

Tenemos que y_1, y_2, \dots, y_n son el resultado de n mediciones y diremos que el valor objetivo es y_0 , la varianza de estas medidas es

$$V = \frac{(y_1 - y_0)^2 + (y_2 - y_0)^2 + \dots + (y_n - y_0)^2}{n} \quad \text{Ec. 14}$$

El número de grados de libertad de la variación total S_T en la ecuación (Ecu. 3) es 12; luego tenemos que su varianza es

$$V = \frac{S_T}{\text{Grados de libertad}}$$

$$= \frac{2.23}{12}$$

$$= 0.186 \quad \text{Ec. 15}$$

Algunas veces el valor de arriba es llamado el error de varianza con 12 grados de libertad, se recomienda que uno lleve este cálculo a un decimal más. Esto se muestra en la ecuación (Ecu. 15), que se calculó para el tercer decimal.

Cuando la variación es calculada como la suma de las desviaciones al cuadrado de la media aritmética, como en el caso de las alturas, la varianza se obtiene como la variación dividida entre los grados de libertad. Tenemos que la media aritmética de y_1, y_2, \dots, y_n es \bar{y} , entonces la varianza, V , es

$$V = \frac{(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2}{(n-1)}$$

$$= \frac{S_T}{n-1} \quad \text{Ec. 16}$$

En casos cuando hay un valor objetivo de un valor teórico, las desviaciones de cada dato del objetivo o del valor teórico son calculadas. Por ejemplo, algunas resistencias de carbón se produjeron con un valor objetivo de y_0 Kilohms, en este caso, $((y_1 - \bar{y}), (y_2 - \bar{y}), \dots, (y_n - \bar{y}))$ son estudiadas. Otro ejemplo serían las diferencias entre el tiempo indicado por un determinado reloj y el tiempo actual. Los datos mostrarían el tiempo que el reloj en ambos casos gane o pierda.

Teniendo las desviaciones de un objetivo o un valor teórico como sigue y_1, y_2, \dots, y_n y con la media \bar{y} ,

$$\bar{y} = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \quad \text{Ec. 17}$$

Esta fórmula será llamada *desviación*, o de una manera mejor, el *estimado de la desviación*. Cuando los valores observados al principio restando un objetivo o un valor teórico son siempre más grandes que el valor objetivo, la desviación \bar{y} en (Ec. 17) sería un valor positivo más grande, o viceversa.

En el caso de la resistencia de carbón discutida anteriormente, las desviaciones del valor objetivo son

0.3 -0.1 0.5 1.0 1.0 0.0 0.3 -0.2 -0.2 -0.5 0.1 0.6

La desviación \bar{y} es

$$\bar{y} = \frac{1}{12} (0.3 - 0.1 - 0.5 + \dots + 0.6) = 2.5/12$$

$$= 0.208 \quad \text{Ec. 18}$$

También se recomienda que uno calcule \bar{y} para uno o dos decimales más. Una desviación que muestra un valor más indica que el valor de la resistencia de carbón es generalmente más grande que el valor objetivo.

Para expresar la magnitud absoluta de una desviación, no importa si es más o menos, \bar{y} se eleva al cuadrado y luego se multiplica por n :

Magnitud de la desviación = $n (\bar{y})^2$

$$= n \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2}{n} \quad \text{Ec. 19}$$

Este valor significa la variación de la media, m , de y_1, y_2, \dots, y_n , que son las desviaciones de un valor objetivo o de un valor teórico. La siguiente descomposición por lo tanto se deriva:

$$y_1^2 + y_2^2 + \dots + y_n^2 = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2}{n}$$

$$+ [(y_1 - \bar{y})^2 + (y_2 - \bar{y})^2 + \dots + (y_n - \bar{y})^2] \quad \text{Ec. 20}$$

La ecuación relacional de arriba es descrita como

Suma de datos al cuadrado = (la variación de la media de las desviaciones) + (la suma de las desviaciones de la media al cuadrado) Ec. 21

(Nota: cuando las diferencias entre un valor objetivo o de un valor teórico son discutidas y dejando estas diferencias y_1, y_2, \dots, y_n , la variación de la media de las desviaciones no debe ser calculada de los datos que fueron restados por una media. La variación de la media de las desviaciones debe ser calculada de las diferencias entre los datos originales y un valor objetivo o un valor teórico).

En la suma de las resistencias de carbón, S_T , en (Ecu. 3) es 2.23, luego S_m , la variación de la media (m), es

$$S_m = \frac{(0.3 - 0.1 + \dots + 0.6)^2}{12}$$

$$= \frac{2.5^2}{12}$$

$$= 0.52 \quad \text{Ec.22}$$

Por lo tanto, la ecuación

$$2.23 = 0.52 + (\text{suma de las desviaciones de la media } \bar{y} \text{ al cuadrado}) \quad \text{Ec. 23}$$

S_e es llamado el error de variación. El número de grados de libertad del error de variación es $12-1 = 11$.

El error de variación dividido por sus grados de libertad se denota por V_e , usando el ejemplo de la resistencia,

$$V_e = \frac{S_e}{\text{grados de libertad}} = \frac{1.71}{11} = 0.155 \quad \text{Ec. 24}$$

Donde V_e significaría la medida de la dispersión de las resistencias de carbono individuales, un valor V_e grande significa una gran diferencia entre productos individuales. Por otra parte, una variación grande de la media, o una gran S_m muestra que el valor de la media de los productos es considerable, aparte del valor objetivo.

Es fácil en muchos casos reducir S_m , la variación de la media, cuando es grande. En el caso de la resistencia de carbono, por ejemplo, es posible reducir la magnitud, por la prolongación de tiempo de carbonización o ajustar el método de corte para el carbono.

Es lo mismo para alguna otra característica dimensional; tales desviaciones son fácilmente ajustables. Sin embargo, muchos artificios son necesarios a fin de reducir la dispersión. En el caso de las alturas, la variación total S_T es calculada como la variación de las desviaciones de la media, ya que no es ni valor objetivo ni valor teórico de las alturas. Algunas veces el cero es tomado como valor teórico. En tal caso, tenemos que y_1, y_2, \dots, y_n son las diferencias de cero. La magnitud de las desviaciones S_m , se calcula de y_1, y_2, \dots, y_n .

La relación en la ecuación (Ecu. 21) corresponde a un concepto como el de la corriente eléctrica del teléfono, donde la corriente directa y la corriente alterna son mezcladas, esto se expresaría de la siguiente manera:

$$\text{La potencia de la corriente total} = (\text{el cuadrado del voltaje de DC}) + (\text{la potencia de AC}) \quad \text{Ec. 25}$$

\bar{y} es el voltaje de DC (48 V en el caso de un teléfono) y la potencia de AC es igual al cuadrado del voltaje de AC. Es muy importante reconocer que no hay aditividad en el voltaje, pero hay aditividad en la potencia, que es el cuadrado del voltaje. Tal descomposición es llamada *el análisis del espectro de potencia* en ingeniería.

Tales conceptos se vuelven más fáciles de entender cuando uno utiliza estos cálculos. En el caso de la corriente telefónica, el voltaje de DC no tiene nada que ver con la transmisión de voz, mientras que el voltaje de AC si lo hace.

Descomposición de la Variación

Tenemos n valores observacionales que son y_1, y_2, \dots, y_n , la ecuación para y_1, y_2, \dots, y_n , con coeficientes constantes es llamada una *ecuación lineal*. Tenemos n coeficientes que son c_1, c_2, \dots, c_n ; así que la ecuación lineal L es:

$$L = c_1 y_1 + c_2 y_2 + \dots + c_n y_n \quad \text{Ec. 26}$$

Algunos de los coeficientes c_1, c_2, \dots, c_n , podrían ser cero, pero se asume que no todos los coeficientes son cero.

La suma de esos coeficientes al cuadrado es denotado por D , que es el número de unidades que comprende la ecuación lineal, L . D es entonces:

$$D = c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2 \quad \text{Ec. 27}$$

Por ejemplo, la media (desviación) de n medidas, denotado por \bar{y} , es:

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n} \\ &= \frac{1}{n} y_1 + \frac{1}{n} y_2 + \dots + \frac{1}{n} y_n \end{aligned} \quad \text{Ec. 28}$$

La ecuación (Ecu. 27) es una ecuación lineal en la que todos los coeficientes son idénticos.

$$c_1 = c_2 = \dots = c_n = \frac{1}{n} \quad \text{Ec.29}$$

Su número de unidades es

$$D = \left(\frac{1}{n}\right)^2 n = \frac{1}{n} \quad \text{Ec.30}$$

El cuadrado de una ecuación lineal dividida por su número de unidades forma una variación con un grado de libertad. Tomando S_L , tenemos:

$$S_L = \frac{L^2}{c_1^2 + c_2^2 + \dots + c_n^2} = \frac{L^2}{D} \quad \text{Ec. 31}$$

La suma de y_1, y_2, \dots, y_n es expresado por una ecuación lineal con $c_1 = c_2 = \dots = c_n = 1$, con n unidades.

La variación S_L es escrita de la ecuación (Ecu. 31) como sigue:

$$S_L = \frac{(y_1 + y_2 + \dots + y_n)^2}{n} \quad \text{Ec. 32}$$

La variación corresponde a la variación S_m , que es el factor de corrección.

De este modo, la descomposición de la variación, es necesario calcularla cuando cada valor de los datos cambia. Esto es para expresar el cambio total por una variación total y luego calcular los grados de contribución, que es la influencia de las causas individuales entre la variación total S_T .

Six Sigma

Sigma (σ) es un parámetro estadístico de dispersión que expresa la variabilidad de un conjunto de valores con respecto a una media, de modo que cuanto mayor sea sigma, menor será el número de defectos.

Su objetivo principal es llevar a cabo un vigoroso proceso de eliminar sistemáticamente los defectos y la ineficiencia.

Six Sigma es un método de gestión de calidad combinado con herramientas estadísticas y su propósito es entregar un alto rendimiento, fiabilidad y valor para el cliente. Ayuda a las compañías a centrarse en desarrollar y entregar productos y servicios casi perfectos. Permite detectar rápidamente problemas en producción como productos defectuosos, pérdidas de tiempo y etapas críticas.

¿Cómo se logra todo esto?, como se ha explicado Six Sigma es un indicador de que tan frecuentemente están ocurriendo defectos, mediante la dispersión de los datos muestreados y la variabilidad de los mismos con respecto a la especificación del cliente. ¿Qué quiere decir esto?, si tenemos una muestra de una determinada cantidad de la misma familia de datos, podremos encontrar que dichos datos pueden o no estar dentro de nuestros Límites de Especificación (SL) para esto se manejan dos límites que son Límite Superior de Especificación (Siglas en inglés USL) y Límite Inferior de Especificación (Siglas en inglés LSL) que son los que nos define el cliente y la organización. En base a esto cuando uno hace un estudio de Six Sigma puede encontrar que los datos de un proceso no se encuentran dentro de nuestros Límites de Especificación

o mejor dicho en una gráfica como la que se muestra en la figura 7, tendríamos que nuestros datos se pueden encontrar a un lado de la especificación (en este caso μ) o al otro del mismo, pero peor aún encontraríamos que nuestros datos no se encuentran cumpliendo las especificaciones ya que tendríamos datos fuera de nuestra campana de Gauss, he aquí donde nosotros podemos notar que nuestro proceso no logra cumplir lo que el cliente pide.

¿Qué buscamos con Six Sigma?, lo que buscamos es adaptarnos a la realidad, ver cómo es que se comporta nuestro proceso, a través del producto o servicio que proporcionamos, es por eso que Six Sigma busca en términos específicos lograr que sus productos o servicios estén dentro del 99.73% de producto OK logrando así caer entre -3σ y $+3\sigma$ y por ende tener un total de partes defectuosas de 3,4 partes por millón de eventos u oportunidades, definiendo eventos u oportunidades como los intentos en que el producto o servicio paso para poder llegar a lo que el cliente quiere. En términos de sigma representados en la figura 7, los datos se encuentran bajo la campana de Gauss donde tenemos la representación del 68.26% del total de los datos en $\pm 1\sigma$, dentro de $\pm 2\sigma$ tenemos el 95.46% de nuestros datos, y por último donde queremos que todos nuestros datos estén concentrados es en $\pm 3\sigma$ logrando tener un 99.73% de producto o servicio OK.

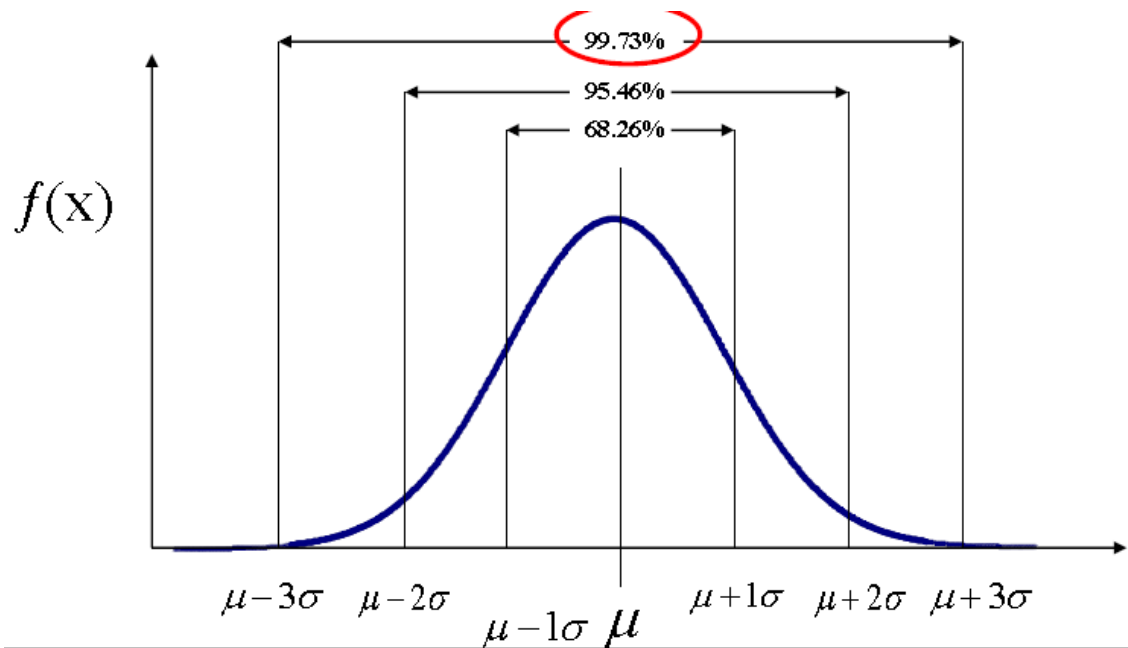


Fig. 7 Grafico de la dispersión de datos bajo la campana de Gauss en este caso la especificación del cliente es representado por μ .

El gráfico también es conocido como capacidad del proceso ya que es donde podemos observar si nuestro proceso es capaz de cumplir las expectativas del cliente a través de la interpretación de datos bajo la campana de Gauss, pero ¿Qué es eso? la capacidad del proceso es la comparación cuantificable de la Voz del Cliente (Límites de Especificación) y la Voz del Proceso (Límites de Control).

La Voz del Cliente son los requerimientos (especificaciones) que nos da el cliente como tal, como es que quiere que se le entregue su producto o servicio al final del proceso.

La Voz del Proceso es la representación del comportamiento de los datos del proceso en la organización.

La mayor parte de las mediciones tiene algunos valores meta y límites aceptables de variación alrededor del objetivo. La extensión en la que caen los valores “esperados” dentro de estos límites, determina cuán capaz es el proceso de satisfacer esos requerimientos.

¿Por qué 99% de los datos OK no es suficiente?

Si se toma un nivel mundial de aceptación del 99% en USA equivaldría a:

- 20,000 envíos de correo perdidos por hora
- Tener agua contaminada en tuberías 15 minutos al día
- 5,000 intervenciones quirúrgicas erróneas por semana
- 2 aterrizajes forzosos cortos o largos en la mayoría de los grandes aeropuertos por día
- 200,000 recetas médicas mal surtidas por año
- Falta de energía eléctrica por casi 7 horas por mes

El método Six Sigma, está basado en el ciclo DMAIC, propuesto por Deming; figura 8, en donde las etapas de operación, según lo indica la figura 9, son de la siguiente manera:

- Definición del proyecto.
- Medición de la información suministrada por el proceso y los clientes de la organización.
- Análisis de la información, en donde se aplica algunas herramientas estadísticas descriptivas e inferenciales.
- Mejoramiento, etapa en la cual se proponen las soluciones de los problemas de calidad planteados.
- Control, el cual incluye los métodos estadísticos de seguimiento a las variables del proceso.

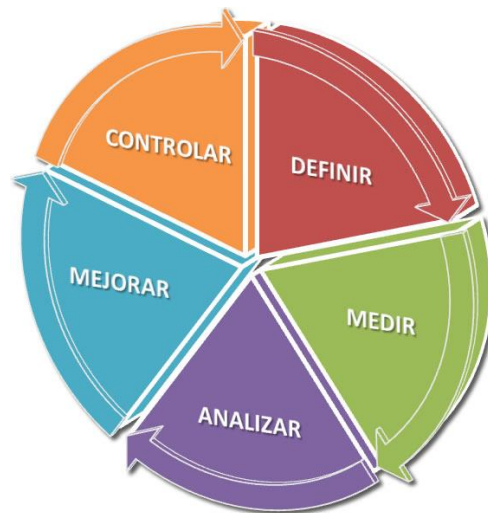


Fig. 8. Ciclo DMAIC de Deming.

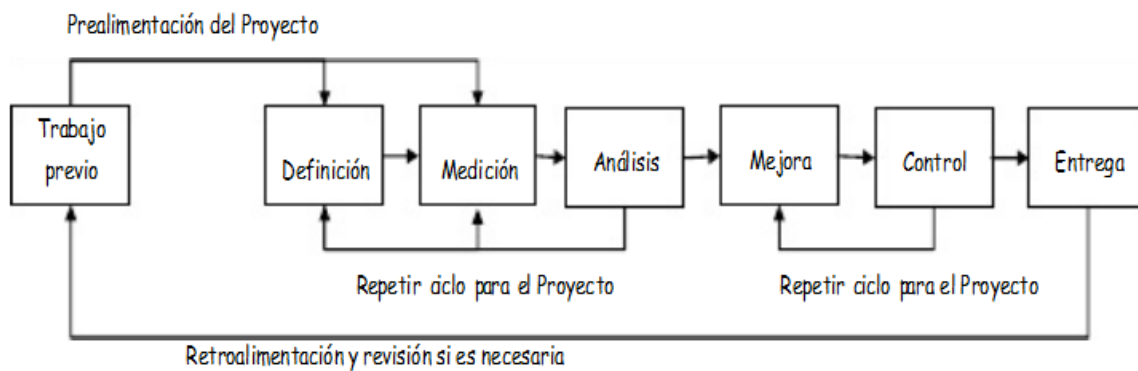


Fig. 9. Operación del ciclo DMAIC.

La clave para conseguir que el DMAIC se aplique en forma adecuada en la organización es la siguiente:

- El enfoque centrado en las necesidades y los requerimientos de los clientes.
- La identificación de las causas de los problemas que atentan contra la calidad del producto final o del servicio prestado, evitando las soluciones apresuradas que generen decisiones erradas y sin fundamento estadístico.

- La realización de las mediciones de todas las variables críticas del proceso, lo que implica el conocimiento profundo de cada una de las etapas o fases que conforman las actividades de la organización.
- La utilización de las herramientas estadísticas apropiadas que conduzcan a soluciones válidas y efectivas.
- El control mediante un seguimiento constante que evalúe las diferentes actividades que se encaminen a la solución de un problema de calidad.

Después de definir como se trabaja con Lean Six Sigma, y sus herramientas, y como funciona, pasaremos al desarrollo de la metodología para el caso real mencionado anteriormente.

CAPITULO II

DESARROLLO DEL CASO REAL DE LEAN SIX SIGMA

FASE DE DEFINICIÓN

PARTE TEORICA

Objetivo:

Definir el problema, logros, financiamiento, y metas desarrolladas para el proyecto

“Carta de Proyecto”

En esta parte del proyecto, para comenzar se realiza una carta de proyecto para declarar el problema y alcance del mismo.

¿Por qué una carta de proyecto?

La carta de proyecto define lo que va a ser el plan que se llevará a cabo, “el problema a resolver”. En esta se identifica y valoriza la oportunidad, “los beneficios, esfuerzos y riesgos”. Para esto hay que tener en cuenta que la carta no resuelve el problema, sino que te la da pauta o el punto de partida para saber dónde estás y a partir de ahí conocer por donde atacar, otra cosa que hay que conocer es que la carta es un documento vivo, que quiere decir esto, que a través del tiempo puede cambiar su contexto.

Lo que necesita inicialmente una carta de proyecto es:

- Información General
- Nombre del proyecto
- La descripción debe contener el **qué, dónde, cuándo** y **extensión** del tema. Describe el “dolor”.

- La oportunidad debe estar relacionada con un tema clave de negocios.
- Objetivos del proyecto
- Listen los objetivos clave del proyecto. Estos deben ser **medibles**.
- Beneficios del proyecto
- Use parámetros financieros para cuantificar la oportunidad.
- Requerimientos de recursos e inversión
- Lista de miembros del equipo con habilidades suficientes para resolver el problema.
- Los compromisos de tiempo son claramente identificados.
- Costos del proyecto
- Antecedentes
- Qué está dentro y fuera del alcance del proyecto

Los campeones de implementación son los iniciadores del llenado de la carta proyecto, se tienen que apoyar con ayuda de:

- **Auspiciador del proyecto**

Se le debe de dar a conocer a detalle el proceso.

Puede contribuir a encontrar y analizar datos.

Es quien contribuye con los recursos.

Ayuda con la estimación de costos, el alcance que puede llegar etc.

Es quien compra.

- **Controller/finanzas**

Valida los estimados financieros.

Apoya para llevar a cabo las compras.

- **Gerencia General/staff ejecutivo**

Apoyo para llevar a cabo las compras.

- **Cinturón Negro**

Si es posible para la organización, poder conseguir un Black Belt o cinturón negro quien daría un aporte mayor al proyecto, de lo contrario solo con un Green Belt.

A continuación se muestra un ejemplo de una carta de proyecto.

Ejemplo de Carta de Proyecto

<p>Nombre del proyecto: 1046 Proyecto de reducción de desechos de la línea de Laminado</p> <p>Organización: Tableros Comerciales</p> <p>Auspiciador del proyecto: Terry Hastings</p> <p>Impacto del Negocio</p> <p>Los tableros laminados multiplegados son el producto de más alta venta en la división de Tableros Comerciales. Las ventas de este producto totalizaron \$400MM en 2003, un 20% de incremento con relación al año anterior. El crecimiento continuo en el mercado de muebles RTA, donde los tableros laminados son el insumo principal indican un crecimiento continuo y constante y demanda por este producto.</p> <p>Debido a esta fuerte demanda, la utilización de la capacidad en la línea 1046, donde se fabrican los multi-plegados está siendo utilizada actualmente al 80%. Los desechos en esta línea constituyen 5.6MM lbs/año o el 5% del producto total. 1 lb de desecho cuesta \$1. Reducir el desperdicio en 75% equivaldría a un ahorro de \$4.2MM al año. Adicionalmente, la capacidad recuperada podría ser utilizada para generar \$16.8MM adicionales en ingresos por año.</p> <p>Beneficios de tipo I: \$4.2MM en Utilidad económica al año debido a la reducción de costos de desecho</p> <p>Beneficios de tipo II: Reducción en el número de pedidos de H&H Products con quejas de clientes (de 20% a 5% de pedidos totales)</p> <p>Beneficios de tipo III: \$4.2MM en utilidad económica debido al incremento en ventas a causa de la capacidad recuperada</p> <p>Declaración de oportunidad o problema</p> <p>En el último año, las tasas de desecho han crecido lentamente de 3% en 2002 al actual 5%. 80% del desecho está concentrado en los productos de 2 y 4 pliegues despachados a H&H Products. Un estudio de 3 meses sobre los tipos de desecho mostró 65% de vacíos y adusiones, 20% alta densidad y 10% rugosidad de la superficie. Las quejas de los clientes de H&H también han subido durante este mismo periodo de tiempo, con un 50% de las quejas debido a despachos incompletos o fechas de entrega poco confiables, y 15% de las quejas debidas a temas de calidad. Durante los últimos 6 meses 2002, un quinto de los pedidos recibidos de H&H tuvieron al menos una queja asociada.</p>	<p>Declaración de Objetivos</p> <p>Reducir el desecho de la línea de laminado en un 75%, o de 5% a 1.25% de la producción total. Un objetivo secundario es reducir la cantidad de quejas de clientes que recibidas de H&H Products de 20% a 5% de pedidos durante el mismo periodo.</p> <p>(Y) Desperdicio Multi-ply = f(Xs) mezcla stock + velocidad de mezcla + no. De pliegues + agente pegante + cantidad de agente + presión + temperatura + velocidad de ejecución</p> <p>Alcance del proyecto</p> <p>En alcance: Todos los productos en catálogo de ventas Pedidos de stock y cliente</p> <p>Fuera de alcance: Nuevos productos en desarrollo Pedidos experimentales</p> <p>Plan de proyecto</p> <p>Definir – Enero 03 Medir – Febrero 03 Analizar – Marzo 03 Mejorar – Abril 03 Controlar – Mayo 03</p> <p>Selección de equipo</p> <p>Gail Henderson, BB (100%) Steve Wilson, Ing. Produc. (20%) Carla Walker, Sup. Prod. (20%) Tom Hirano, Capataz Prod. (10%) Tony Rico, Materiales (20%) Greg Hyak, Fiancé (10%)</p> <p>Nota: Aún cuando el impacto en el negocio es listado primero en la Carta de Proyecto, es útil desarrollar la declaración de oportunidad o problema y la declaración de objetivos antes del impacto en el negocio.</p> <p>El impacto en el negocio es listado primero en la Carta del Proyecto porque el potencial de creación de valor generalmente es de interés primario para la gente que lee el cuadro.</p>
---	---

“Cuadro SIPOC”

Un cuadro SIPOC (ver figura 10) no es más que un diagrama que proporciona un enfoque en los insumos y variables que pueden afectar el resultado del proceso.

Proveedores (S) - Ingreso (I) – Proceso (P) – Salida (O) – Clientes (C)

Proveedores: Todos los proveedores internos y externos del proceso.

Ingresos: Todos los ingresos del proceso material, formularios, información, etc.

Proceso: Un bloque representa todo el proceso.

Salida: Todas las salidas para clientes internos y externos.

Clientes: Todos los clientes internos y externos del proceso.

Un cuadro SIPOC de alto nivel ayuda a visualizar la Voz del Cliente y empezar a ver las relaciones entre las Salidas e Ingresos del Proceso.

El cuadro SIPOC

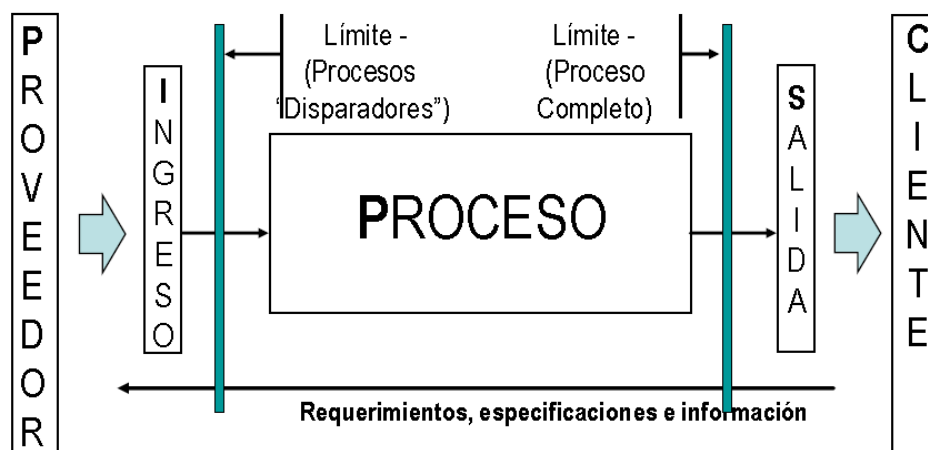


Fig. 10. Representación de un cuadro SIPOC

“Mapeo de Flujo de Valor (VSM)”

¿Qué es un Mapa de Flujo de Valor?

Para entender un Mapa de Flujo de Valor (ver figura 11) pensemos como un mapa rico en datos. Un “Mapeo de Flujo de Valor” extiende la utilidad de mapas de flujo de valor añadiendo datos (más allá de las “y” y las “x”), tal como: flujo de material e información; parámetros operativos; tiempos de proceso y espera, etc.

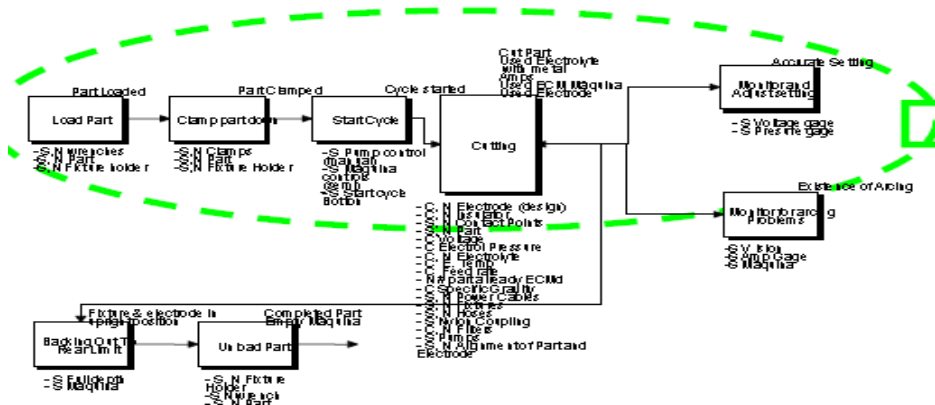


Fig. 11. Representación de un Diagrama o mapa de datos del cual partimos para generar un VSM.

Pasos de mapeo de flujo de valor:

Paso 1: Cree un cuadro SIPOC

Paso 2: Mapee el estado actual con un cuadro de flujo de arriba hacia abajo

Paso 3: Determine la familia Producto/Proceso para el Mapa de Flujo de Valor

Paso 4: Delinee el Mapa de Flujo de Proceso

Paso 5: Añada el flujo de materiales

Paso 6: Añada el flujo de información

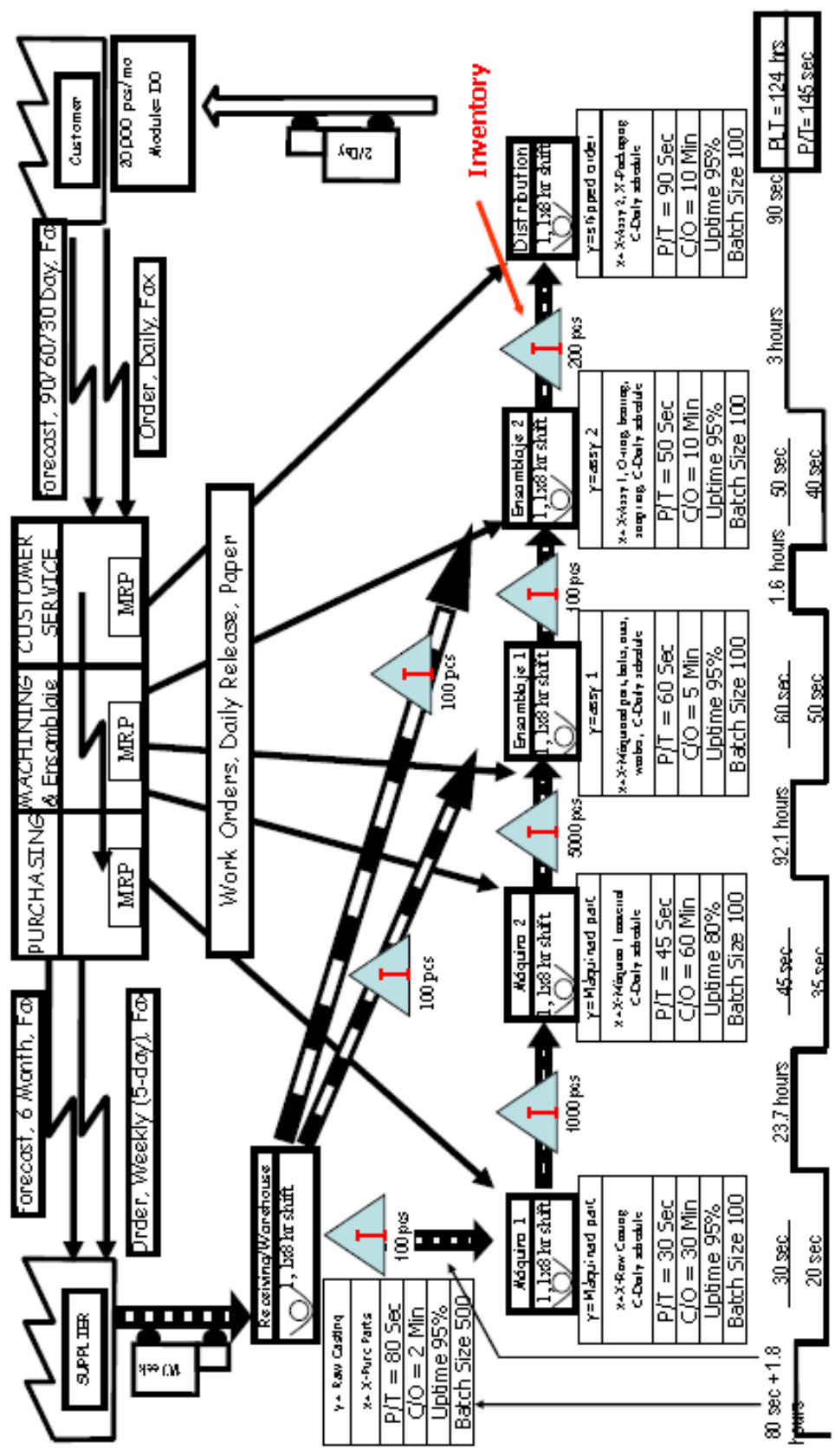
Paso 7: Añada las cajas de recolección de datos

Paso 8: Añada datos de tiempo de espera y proceso

Paso 9: Verifique el mapa de estado actual

A continuación se muestra un ejemplo de un Mapeo de Flujo de Valor:

Mapa de Flujo de Valor:



“Matriz de Causa-Efecto o Diagrama de Ishikawa (Espina de Pescado)”

Es una representación gráfica en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central que es una línea en el plano horizontal y se va desglosando dependiendo de las causas que ocasionan al problema, teniendo como el problema a atacar a la derecha, permite facilitar el análisis de problemas.

¿Qué?

Una matriz Causa-Efecto relaciona los pasos del proceso a las entradas y salidas del mismo.

Los requerimientos del cliente son calificados por orden de importancia y luego los ingresos y salidas son calificados por el impacto en la interacción.

Se relacionan los ingresos con las salidas clave (requerimientos del cliente) usando el mapa del proceso como fuente primaria.

¿Por qué?

Para determinar que variables de ingreso clave, deben ser la fuente de enfoque para la mejora de rendimiento que mejor satisface los requerimientos clave de salida.

Para identificar que variables de ingreso (causas) influyen más las variables clave de salida de proceso (efecto).

¿Cómo?

Identificar los requerimientos clave del cliente (salidas) en el mapa de proceso.

Las salidas tienen un puntaje de prioridad de acuerdo a la importancia para el cliente (usualmente en una escala del 1 al 10, con 10 como el más importante).

Identificar todos los pasos de proceso y materiales (ingresos) en el mapa del proceso.

Los ingresos son calificados en base a la fuerza de su relación con las variables de salida y dando un puntaje de correlación como sigue:

0 = no correlación

1 = correlación remota

3 = correlación moderada

9 = fuerte correlación

Crear un cuadro de Pareto y enfocar en las variables con los más altos puntajes.

A continuación se muestra un ejemplo de un diagrama de pescado:

“Capacidad del Proceso”

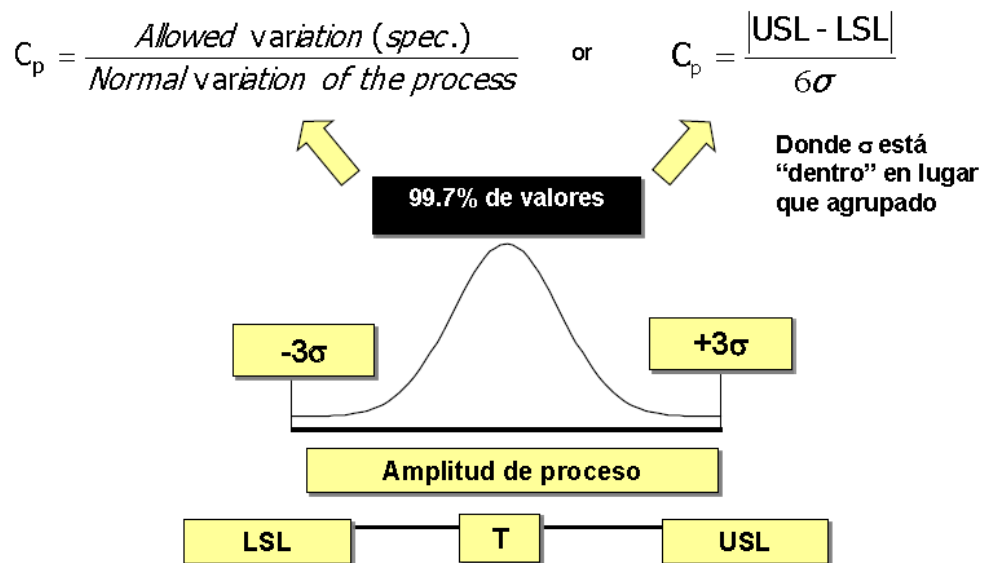
La capacidad del proceso como se mencionó antes es la comparación cuantificable de la Voz del Cliente y la Voz del Proceso.

Dentro de la capacidad del proceso se utilizan los términos siguientes:

Tasa de Capacidad de Proceso “Cp”

Es la tasa de variación permitida por la especificación para la variación total realmente medida del proceso. Se usa Cp cuando la media pueda ser ajustada fácilmente (por ejemplo Blindaje, pulido, operaciones de maquinaria y muchos procesos operativos donde los recursos pueden ser añadidos con ninguno/menor impacto en la calidad). Los objetivos típicos para Cp son mayores que 1.33 (o 1.67 para temas de seguridad)

Si $C_p < 1$ entonces la variabilidad del proceso es mayor que los límites de especificación



Tasa de Capacidad del proceso “Cpk”

Este índice tiene que ver con el desplazamiento de la media dinámica en el proceso “la cantidad en que el proceso está fuera de objetivo”.

Úsela cuando la media no pueda ser ajustada fácilmente (por ejemplo estampado, moldeo de plásticos). Los objetivos típicos para Cpk son superiores a 1.33 (o 1.67 si está relacionado con la seguridad).

$$C_{pk} = \text{Min} \left[\frac{USL - \bar{x}}{3\sigma} \text{ or } \frac{\bar{x} - LSL}{3\sigma} \right]$$

PARTE PRÁCTICA

En esta fase se forma el equipo que está involucrado en el proceso de inyección del ventilador M3 PQ35 Fan y que es dueño de su propia área o proceso para la fabricación de los ventiladores tales como, *moldeo, calidad, procesos e ingeniería.*

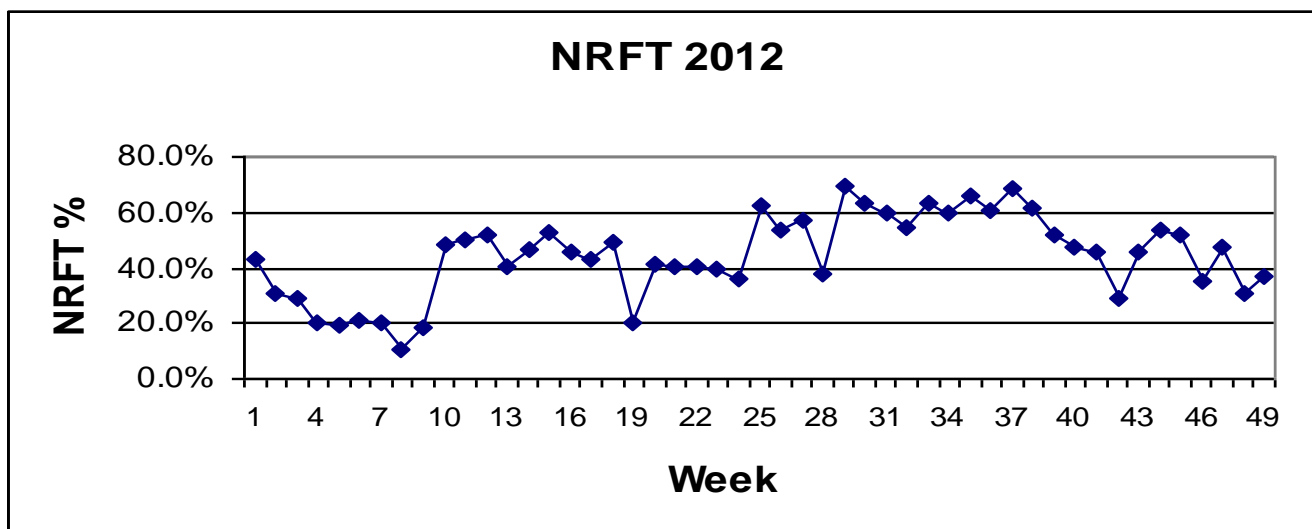


Fig. 12. Grafica de porcentaje de re-trabajos realizados por el cliente.

Definimos lo que es la línea base o punto de partida, esto significa saber dónde se encuentra uno para saber a dónde se dirige, en este caso la línea base comienza con los reportes que se están recibiendo por parte del cliente donde ellos exponen a través de un gráfico, el número total de re-trabajos (NRFT) que están realizando para que los ventiladores recibidos puedan ser utilizados en su ensamble (como lo muestra la figura 12) teniendo en la primera semana un total de 44.9% de re-trabajos realizados por parte del cliente.

Como se mencionó en los antecedentes, se tiene que el problema reportado es el desbalanceo del peso del ventilador, esto ocasiona que el ventilador no gire de manera uniforme y tenga problemas de ruido y de mal ensamble. Esto es porque las mediciones del balanceo estaban variando hasta por encima de 29gr-mm., en una muestra de 60 tiros continuos, siendo los Límites de Especificación 0gr-mm para LSL y 16gr-mm para USL.

Entonces con base en esto, se definió el propósito al cual llegar, este fue “Reducir las variaciones de las lecturas del balanceo (gr-mm) hasta obtener un $Cpk \geq 1.66$ con un USL de 20gr-mm y un LSL de 0gr-mm y a la vez incrementar la producción en la línea de ensamble del cliente mediante la reducción del porcentaje del re-trabajo (NRFT).

Se comienza en primera estancia con el Mapeo del Proceso o Mapa de Flujo de Valor de 1er. nivel (ver figura 13), se dice que es de 1er. nivel porque solo contiene los nombres de los procesos que ocurren en la formación del ventilador pero no contiene las entradas ni salidas ni que intervienen dentro de estos.

En el Mapeo tenemos todo el proceso que involucra la producción de la pieza plástica. El proceso para dicha fabricación ocurre desde que se recibe la materia prima (MP) y se inspecciona, posteriormente se guarda en almacén, ya que es requerida se transporta al área de secadores donde sigue el secado de la misma, de ahí pasa a la tolva que alimenta la máquina inyectora, una vez que se encuentra la MP en la inyectora, continua el proceso de moldeo de la pieza, a continuación se obtiene el ventilador, se pasa a realizar el corte de la colada (es la parte plástica donde está el punto de inyección), siguiendo se tiene la parte de enfriamiento de la pieza, una vez fría se realiza el rebabeo que es donde se quita el exceso de plástico que tiene debido al molde, sigue el corte de exceso de colada para poder realizar la medición del Run-Out (esta medición nos indica la planicidad del ventilador), después de esa medición se realiza la medición del balanceo, este es el último paso antes de empacar la pieza, escanear la etiqueta de la tarima de producto terminado y llevarla al almacén para su embarque y entrega al cliente.

PRODUCTION PROCESS MAP 1st. level

Goal: Reduce unbalancing variation in order to achieve a $Cpk >= 1.66$

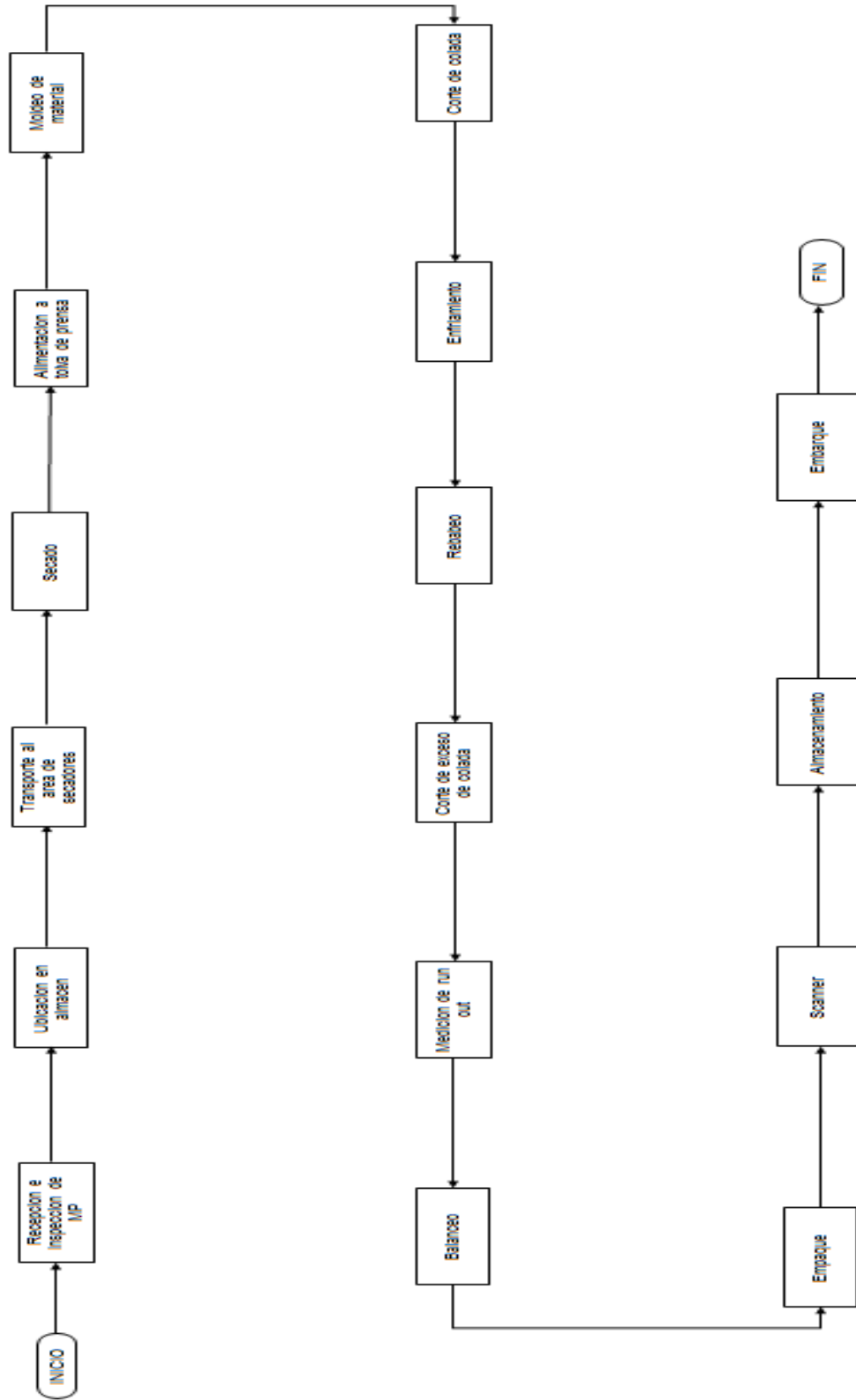


Fig. 13. Mapeo del Flujo de Valor de 1er. nivel.

Cause-and-Effect Diagram

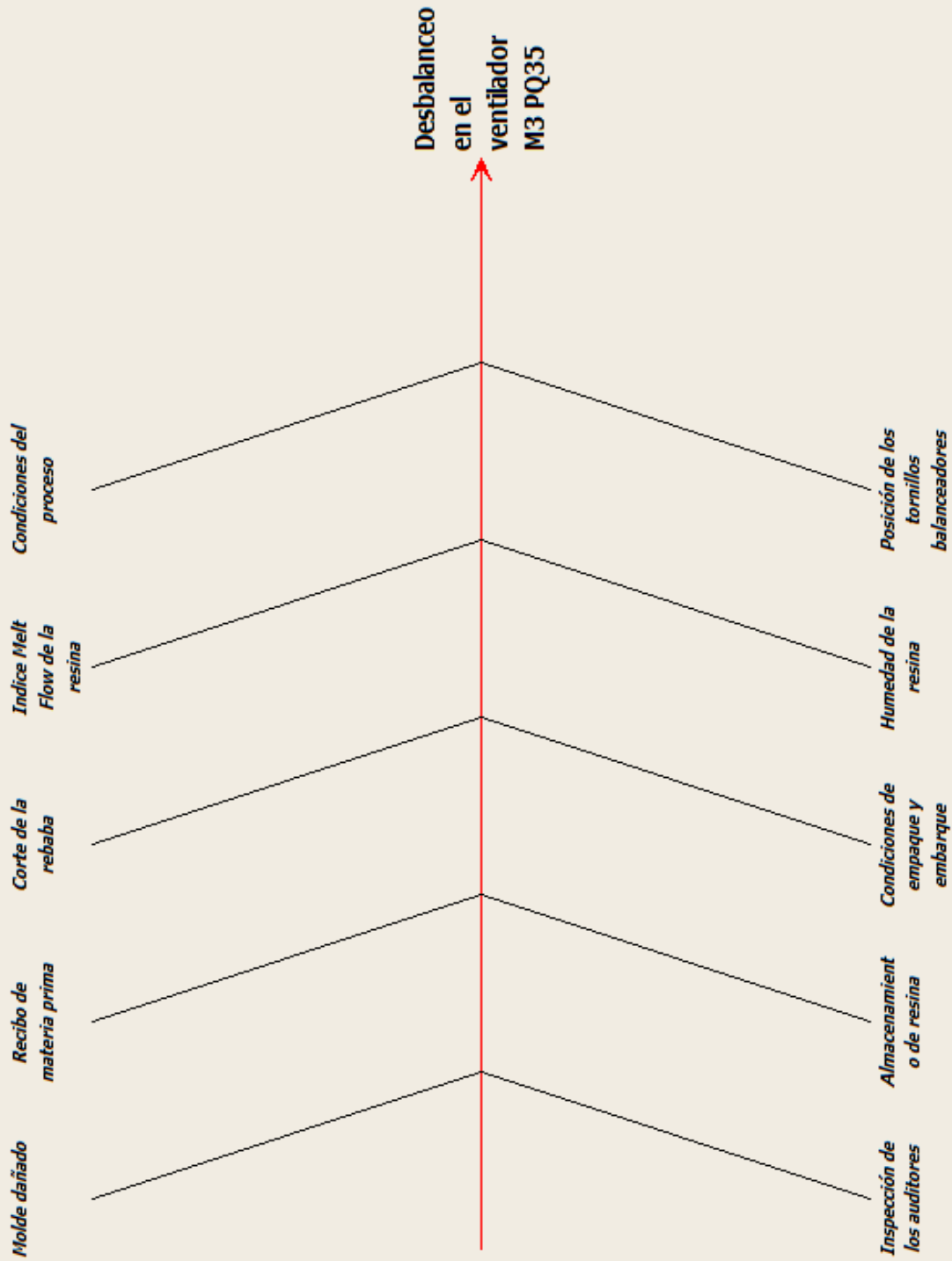


Fig. 14. Diagrama Causa-Efecto para un mapeo de primer nivel.

FASE DE MEDICIÓN

PARTE TEORICA

Objetivo:

Entender el estado actual del proceso y recolectar datos confiables en el proceso de calidad, costo, desempeño, que serán usados en las siguientes fases.

“Estudio Gage R & R”

Los estudios R & R analizan la variación de las mediciones (repetibilidad) realizadas en un mismo Gage de medición (calibrador o instrumento de medición), y la variación de las mediciones realizadas por el operador (reproducibilidad). Para reducir la variación actual del proceso, se debe de identificar y separar la variación debida al sistema de medición. Realizar estudios de la variación de las mediciones constituye pérdida de dinero y tiempo, a menos que estos vayan encauzados a reducir la variación del proceso y mejorar el control del mismo.

Las preguntas clave de medición de proyecto Lean Six Sigma deben ser:

- ¿Es el sistema de medición capaz de producir datos confiables?
- ¿Es el nivel de precisión adecuado para lograr los objetivos del proyecto?

Antes de continuar definimos lo que es repetibilidad y reproducibilidad.

Repetibilidad: Es la variación observada cuando el operador mide la misma pieza con el mismo Gage varias veces. Es la variación que ocurre cuando se realizan mediciones sucesivas bajo las mismas condiciones.

- Misma parte
- Misma característica
- Misma persona

- Mismo instrumento
- Misma configuración
- Mismas condiciones ambientales

Reproducibilidad: Es la variación en el promedio de las mediciones realizadas por diferentes operadores usando el mismo instrumento de medición cuando miden idénticas características en la misma parte.

Cada observación de un proceso forma parte de la variación del proceso y la variación de la medición. Las fuentes de variación en el caso de los sistemas de medición son:

- El Gage
- El operador
- La variación en el producto

La variación de un Gage puede ser atribuida a factores adicionales, como son:

- Calibración
- Estabilidad
- Repetibilidad

Linealidad (¿Se encuentra el Gage más aproximado a valores bajos que a valores altos?)

La variación de calibración R & R es el porcentaje en que la variación de medición (repetibilidad y reproducibilidad) representan la variación observada en el proceso.

La calibración R & R usualmente expresada como porcentaje, evalúa la variación total tomada por error de medición.

Los criterios generalmente reconocidos para aceptabilidad de la variabilidad de la calibración R & R son:

Menos de 10%: Calibración aceptable.

De 10% a 30%: Puede ser aceptable.

Más del 30%: La Calibración es inaceptable y debe ser corregida o reemplazada.

A continuación se muestra una imagen de cómo interpretar los gráficos que nos proporciona el software ®Minitab (software estadístico).

Sixpack Minitab

Gage R&R (ANOVA) for Response

Gage name:
Date of study:
Reported by:
Tolerance:
Misc:

Veamos los seis gráficos a la vez

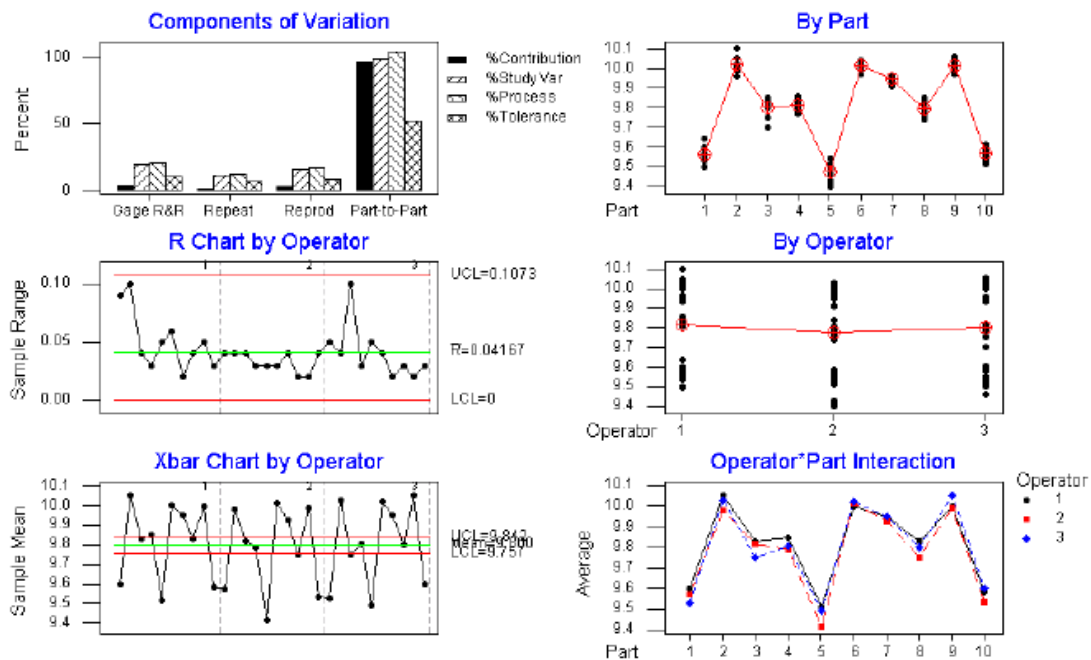


Fig. 15. Estos son los seis gráficos que nos muestra Minitab tras la realización de un estudio R & R, donde se puede observar a la vez los componentes de variación, la gráfica R para el operador, la gráfica X bar para el operador, el gráfico del comportamiento de la parte medida, el gráfico del comportamiento de las mediciones del operador y por último el gráfico de la interacción del operador con la parte medida.

Componentes de variación

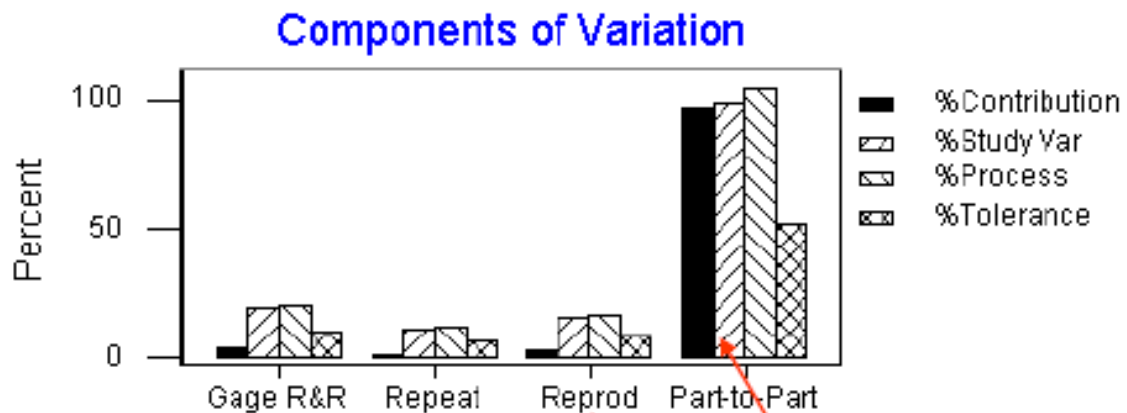


Fig. 16. Componentes de variación de un estudio R & R.

Si observamos la figura 16 de izquierda a derecha, tenemos en primera instancia el “Gage R&R” que muestra el total de calibración del estudio o mejor dicho, es un estimado de la variación combinada de la repetibilidad y la reproducibilidad. Es la varianza igual a la suma de las varianzas “consigo mismo” y “dentro” del sistema. Luego esta “Repeat” que es la repetibilidad, continuando esta “Reprod” que es reproducibilidad y por último “Part-to-Part” que es un estimado de la variación del proceso.

En este caso enfocase en las barras con líneas, estas representan el % de variación total en nuestro sistema de medición dividido en repetibilidad y reproducibilidad. La variación del estudio parte a parte es un estimado de nuestra variación de proceso

Gráfico R (Gráfica de Rangos)

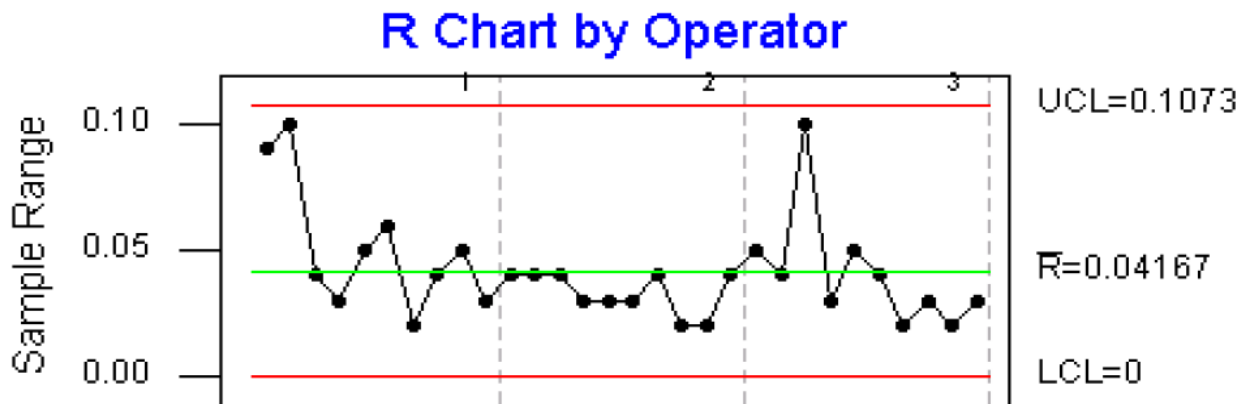


Fig. 17. Gráfico R “repetibilidad”

La repetibilidad es revisada usando un cuadro de rango especial donde se muestran las diferencias en las mediciones de cada operador en cada parte. Si la diferencia entre el valor más grande de una parte medida no excede la UCL (Límite superior de control), esa calibración y operador deben ser repetibles.

Los rangos de las mediciones múltiples para cada observador en cada parte son mostrados en la gráfica de rangos, incluyendo el rango promedio y los límites de control.

Si todos los rangos están dentro de control, significa que todos los observadores están haciendo el mismo trabajo, si algún observador esta fuera de control, el método usado difiere de los otros observadores. Si todos los observadores tienen algún rango fuera de control, significa que el sistema de medición es sensible a la técnica del evaluador y necesita mejoras.

Grafico X bar (Gráfica de Promedios)

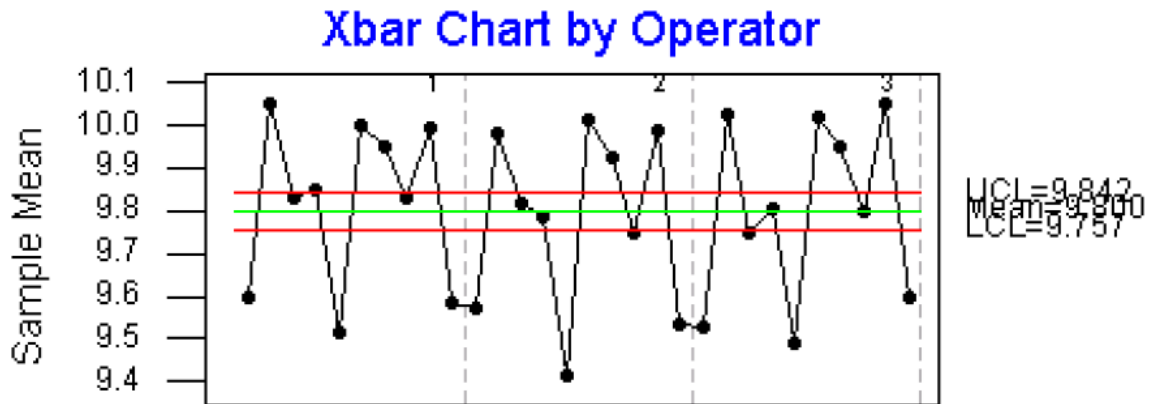


Fig. 18. Gráfico X bar “reproducibilidad”

Los promedios de las mediciones útiles por observador son graficadas por número de parte. Esta gráfica ayuda a determinar la consistencia entre observadores.

El área dentro de los límites de control representa la sensibilidad de la medición. Como las partes usadas en el estudio representan la variación del proceso, aproximadamente la mitad o más de los promedios deberían estar fuera de los límites de control. Si los datos presentan este patrón, entonces el sistema de medición es adecuado para detectar variaciones de parte a parte.

Si menos del 50% de los datos caen afuera de los límites de control, entonces el sistema no tiene la resolución adecuada o las muestras no representan las variaciones esperadas del proceso.

La reproducibilidad es mejor determinada analíticamente usando el análisis de tabulación en la sesión Minitab (demostrada en la figura 19).

Gráficamente puede observarse que hay diferentes significativas en los patrones del operador generados por cada operador que mide las mismas muestras.

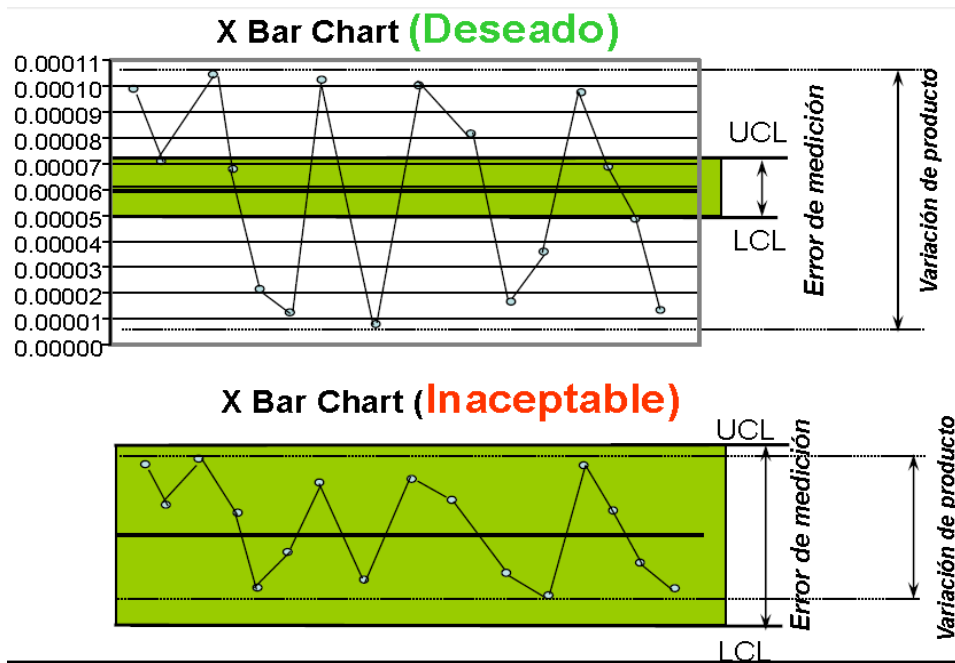


Fig. 19. Análisis del Sistema de Medición, el primer gráfico nos demuestra que si los datos varían de manera aleatoria por arriba y debajo de los Límites de Control, entonces la reproducibilidad es aceptable de lo contrario si los datos varían pero dentro de los Límites de Control, esto quiere decir que la reproducibilidad es pobre.

Comportamiento de la parte

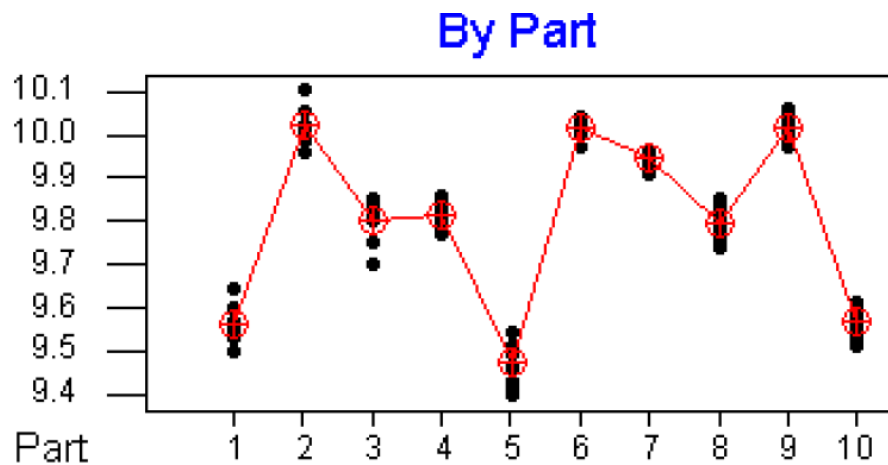


Fig. 20. Gráfico de los datos por partes.

Este gráfico muestra los datos de las diez partes para todos los operadores juntos. Visualiza los datos primigenios y subraya el promedio de esas mediciones.

Comportamiento del operador

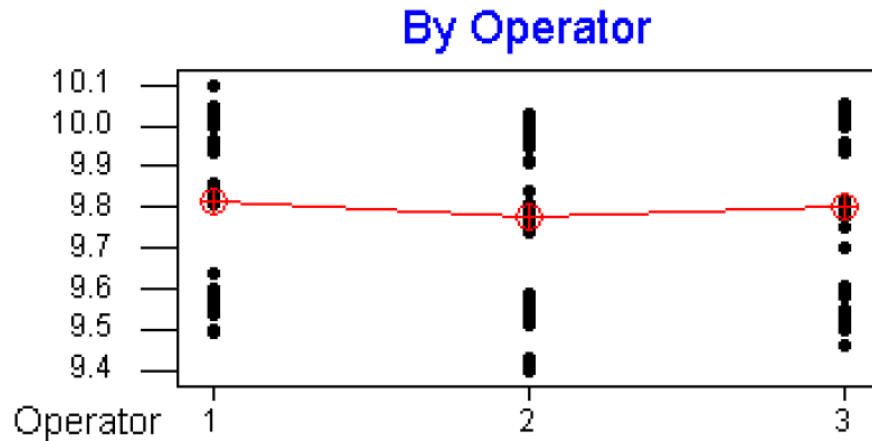


Fig. 21. Gráfico de los datos por operador.

Similar al anterior pero los datos son presentados por cada operador en lugar de por parte. Este gráfico ayudará a identificar problemas del operador.

Interacción del operador con la parte medida

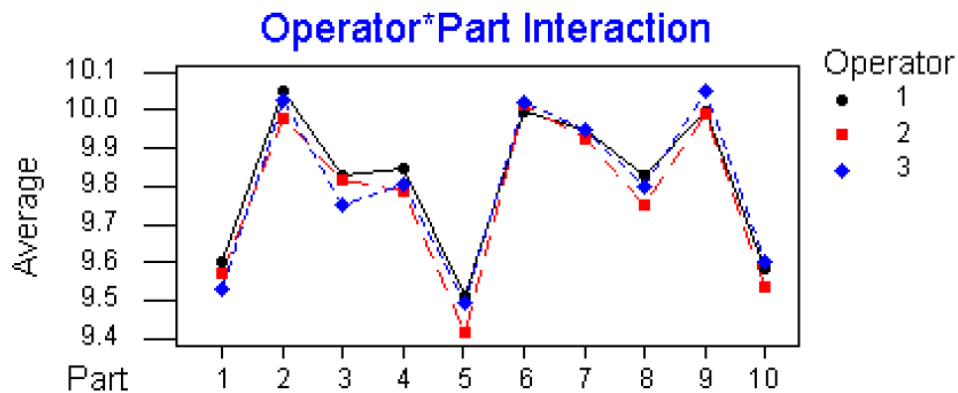


Fig. 22. Gráfico de interacción operador & parte.

Este gráfico muestra los datos para cada operador por todas las diez partes. Es el más fácil de usar para encubrir la interacción operador & parte.

Gráfico de Boxplot o diagrama de caja

Esta gráfica se conforma por un rectángulo llamado caja y dos brazos llamados bigotes. Brinda la información visual dividida en cuartiles, los cuartiles son tres valores en los que se divide un conjunto de datos ordenados, dejando estos en cuatro partes iguales y la diferencia entre el primer cuartil y el tercero se le llama rango intercuartílico representado visualmente como la anchura de la caja.

Los datos que se visualizan son la mediana o segundo cuartil, primer cuartil, tercer cuartil, valor máximo y valor mínimo, de manera asociada y no dispersa, al mismo tiempo permite observar valores que se alejan de manera inusual del resto de los datos (valores atípicos).

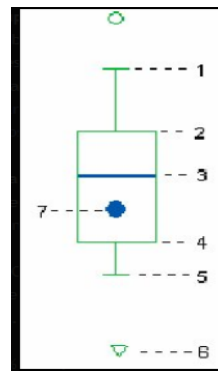


Fig. 23 Gráfico Boxplot

De acuerdo a la figura 23, el **No. 1** Es el extremo superior del bigote. Los datos arriba de este límite se consideran atípicas. **No. 2** Tercer cuartil. Por debajo de este valor se encuentran como máximo el 75% de los datos. **No. 3** Mediana o segundo cuartil. Divide a la distribución en dos partes iguales teniendo por debajo de este el 50% de los datos y por arriba el 50% de los datos. **No. 4** Primer cuartil. Por debajo de este valor se encuentra como máximo el 25% de los datos. **No. 5** Límite inferior. Es el extremo inferior del bigote todo dato por debajo de este punto son considerados atípicos. **No. 6** Valor atípico. Datos fuera de lo común, es el efecto de causas extrañas. **No. 7** Media aritmética. Conocido comúnmente como el promedio.

“Prueba de Hipótesis”

¿Qué es una Prueba de Hipótesis?

La Prueba de Hipótesis permite determinar estadísticamente si un valor es o no, causa de alarma. Dice que dos conjuntos de datos son o no diferentes. Dice si un parámetro estadístico (promedio, desviación estándar, etc) es diferente de nuestro valor de interés. Permite evaluar la “fuerza” de nuestra conclusión (nuestra posibilidad de estar en lo correcto).

Las Pruebas de Hipótesis en Minitab se basan en el resultado de Pv (solo P que aparece en el Software) que es un dato que proporciona la información para comprobar si nuestra hipótesis es correcta o no. Se interpreta de la siguiente manera: Si Pvalue ≤ 0.05 , Ho (Hipótesis Nula) es rechazada y se toma la Ha (Hipótesis Alternativa). Los datos de Hipótesis descansan en los datos de las muestras (ver figura 24).

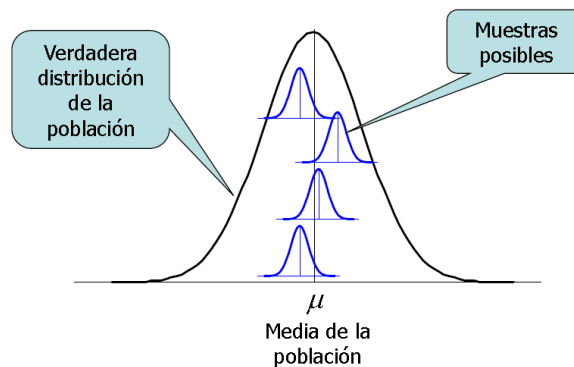


Fig. 24. Representación de una población total de datos y las muestras posibles que puede contener en este ejemplo.

PARTE PRÁCTICA

En esta parte se hace uso del Mapeo de Proceso Actual, se usa Gage R & R y se obtiene el desempeño del proceso.

Mediante la observación del Mapeo del Proceso de 1er. Nivel, se discuten los eventos internos que suceden en cada caso, esto quiere decir, las entradas y salidas de cada proceso (ver figura 25). Con este mapa se tiene un panorama amplio de que es lo que ocurre en cada operación.

Por otra parte se marca el objetivo del proyecto que es “Reducir la variación del desbalanceo en orden para alcanzar un $Cpk \geq 1.66$. En el mapa se muestra la codificación de las entradas y salidas que están en cada operación.

Entradas: insumos, equipo y personal que interviene en cada operación.

Salidas: Resultado de la operación analizada

El mapeo realizado y analizado por cada uno de los miembros (figura 25) se decidió que para la fabricación del ventilador se contarán con 16 etapas desde que la empresa recibe la materia prima del proveedor hasta que se entregan los ventiladores al cliente final.

Los sistemas de medición son como los anteojos, cuando los lentes son incorrectos, la visión es borrosa. Un sistema de medición le permite “ver” el proceso. Cuando un sistema de medición es pobre, se pierde la capacidad de tomar buenas decisiones sobre como mejorara el proceso.

- Cada proceso produce un “producto” o “servicio”
- Cada producto o servicio tiene requerimientos
- Cada requerimiento puede ser medido

En este caso para medir el balanceo se utiliza la balanceadora BAL-003. Se comienza el estudio con lo siguiente:

- 10 partes (ventiladores)
- 3 operadores
- 3 corridas

El instrumento sometido a esta prueba es la misma balanceadora BAL-003, para conocer si las mediciones que arroja son correctas y además saber si los operadores realizan mediciones correctas también.

®Minitab nos entrega la siguiente tabla 1:

Donde se observa la parte de interés “Total Gage R&R / % Contribution” que es de 5.38%. Como conclusión y como ya se saben los criterios reconocidos de aceptabilidad se puede deducir que el sistema de medición es adecuado para el primer spin (primera prueba-medición).

Tabla 1. Gage R%R 1er spin

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	2.3013	5.38
Repeatability	2.3008	5.37
Reproducibility	0.0006	0.00
Operators	0.0006	0.00
Part-To-Part	40.5097	94.62
Total Variation	42.8110	100.00

Ahora observe la figura 26 del Gage R & R, enfóquese en el cuadro R Chart by operator. En este caso se tiene que Raymundo consiguió un punto fuera de UCL pero como el resto de los operadores están dentro se puede decir que ese equipo tiene la característica de ser repetible.

En el cuadro X bar Chart by operators se tiene que los resultados obtenidos por cada operador en las 10 mediciones realizadas se encuentran variando fuera de UCL y LCL, así que este resultado es aceptado.

Se concluye que el sistema de medición es aceptable.

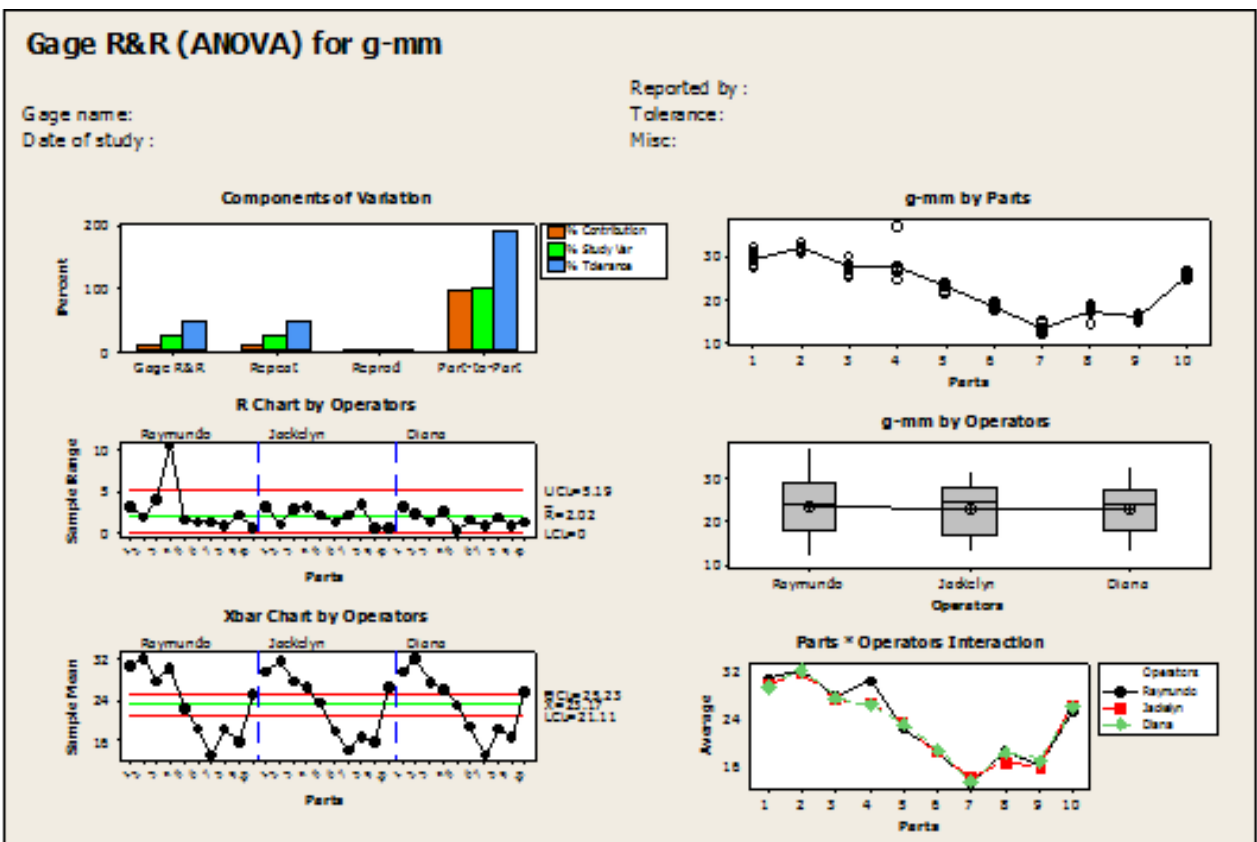
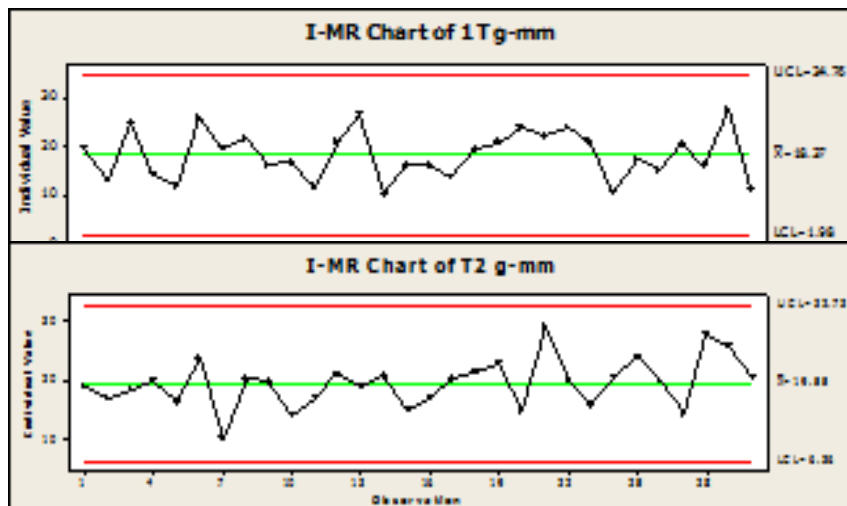


Fig. 26. Sixpack del estudio Gage R & R.

Ahora antes de obtener la capacidad del proceso debemos de saber si nuestros datos se encuentran dentro de un control estadístico, para conocer esto se utiliza el gráfico “I-MR Chart”. Primeramente revisamos cada turno por separado como se muestra en la figura 27. En este caso no se tiene ningún punto rojo (puntos que están fuera de control estadístico) con lo cual se dice que el proceso de cada turno se encuentra bajo control estadístico.



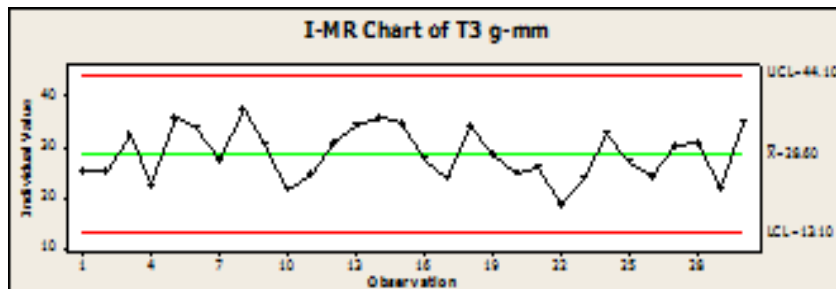


Fig. 27. Gráfico I-MR para cada turno (T1, T2, T3)

Ahora se analiza el proceso de la misma manera pero con los tres turnos juntos para saber si el comportamiento de los datos influye cuando se realiza cambio de turno. En este caso observando la figura 28, se tiene que el proceso no se encuentra en control estadístico ya que existen varios puntos rojos que indican que los turnos tienen diferentes comportamientos. Entonces se conocer cuál o cuáles turnos son los que están afectando nuestro desempeño.

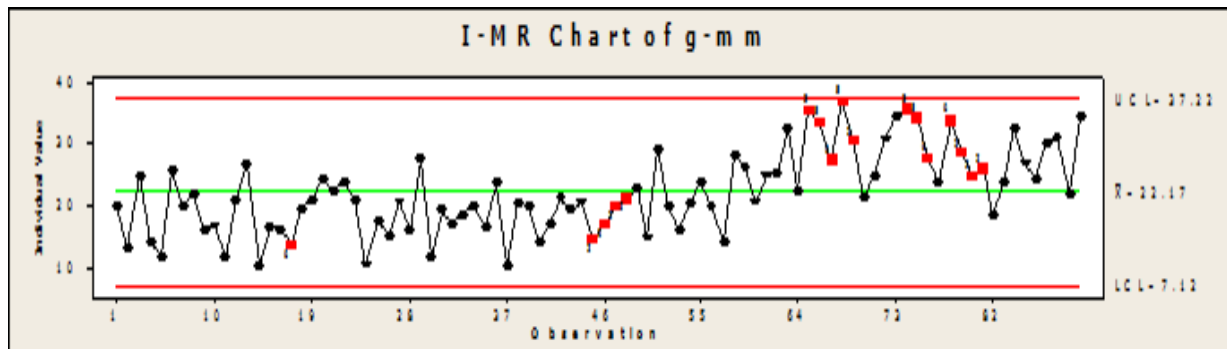


Fig. 28. Gráfico I-MR para todos los 3 turnos

Para esto se realiza una Prueba de Hipótesis con @Minitab. Se plantea lo siguiente:

- H_0 : El proceso del balanceo en el 1er turno = 2do turno = 3er turno.
- H_a : Al menos uno de los turnos es diferente de otro.

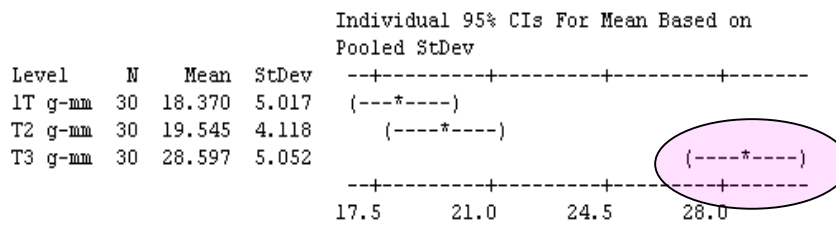
Se puede observar en la tabla 2 que arroja el software tenemos un $P_v < 0.05$, por lo tanto H_0 es rechazada. Entonces se dice que el balanceo es diferente al menos en un turno, en este caso es el tercer turno que esta diferente como se muestra a continuación.

Tabla 2. Prueba de hipótesis

One-way ANOVA: 1T g-mm, T2 g-mm, T3 g-mm

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	1878.9	939.5	41.67	0.000
Error	87	1961.6	22.5		
Total	89	3840.5			

S = 4.748 R-Sq = 48.92% R-Sq(adj) = 47.75%



En conclusión se tiene que:

- El estudio R & R es aceptable
- El proceso está fuera de control estadístico
- El 3er turno es diferente estadísticamente

A partir de aquí se tomaron acciones y se establecen responsabilidades a cada uno de los miembros del equipo como se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Acciones a realizar

Action	Responsible	Due date
Review the process to identify special causes in 3 rd shift	Raymundo Sanchez	Dec, 5 th
Measure again 10 samples of 3 rd shift	Raymundo Sanchez	Dec. 4 th
Repeat the process analysis with this data	Isidro Rodríguez	Dec, 4th
Take new samples of each shift and analyze them	Raymundo Sanchez Isidro Rodríguez	Dec, 4th

Se realizó una revisión al proceso encontrando que la compensación de balanceo (dato necesario para que se vaya corrigiendo el error) no fue guardada en la balanceadora de tal manera que se corrige ese problema, para asegurar se realiza de nuevo un análisis I-MR, tomando 30 partes de cada turno obteniendo lo siguiente (ver figura 29).

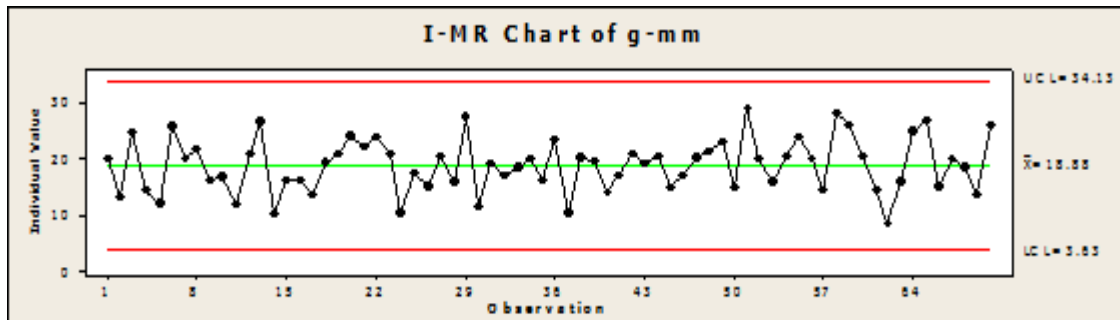


Fig. 29. I-MR para los 3 turnos después de la corrección.

Se concluye que el proceso se encuentra bajo control estadístico de acuerdo al gráfico de valores individuales ya que no existen puntos rojos a lo largo de las muestras.

Después de lograr tener el proceso bajo control, se agregan nuevas acciones (tabla 4) quedando así:

Tabla 4. Acciones a realizar actualizadas

Action	Responsible	Due date
Modify level 2 of balancer to save compensation	Raymundo Sanchez	Dec, 6 th
Review the control plan to assure the weight is correct	Raymundo Sanchez	Dec, 6 th
Repeat the analysis after improvement in the compensation procedure	Isidro Rodríguez	Dec, 10 th
Perfome R&R analysis, 2 nd Spin	Roberto Hernandez	Dec, 17 th

Nuevamente se realiza la Prueba de Hipótesis después de la mejora en la compensación y se plantea la misma hipótesis:

- Ho: El proceso de balanceo en el 1er turno = 2do turno = 3er turno.
- Ha: Al menos un turno es diferente del otro.

Como se observa en la tabla 5 se tiene un $P_v > 0.05$, de tal manera que es aceptada la Ho ya que las medias de los tres turnos se contienen dentro de otro turno y no se encuentran dispersos como en el anterior análisis.

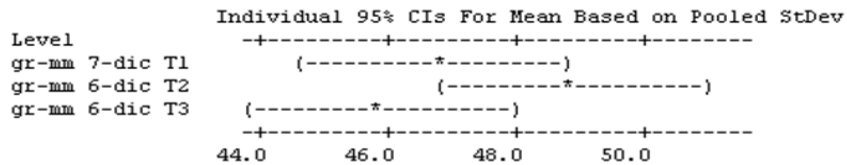
Tabla 5. Prueba de hipótesis 2

One-way ANOVA: gr-mm 7-dic T1, gr-mm 6-dic T2, gr-mm 6-dic T3

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	143.8	71.9	2.14	0.123
Error	87	2919.3	33.6		
Total	89	3063.1			

S = 5.793 R-Sq = 4.70% R-Sq(adj) = 2.50%

Level	N	Mean	StDev
gr-mm 7-dic T1	30	46.747	5.491
gr-mm 6-dic T2	30	48.860	6.371
gr-mm 6-dic T3	30	45.843	5.470



Ya que hasta ahora se han venido analizando los procesos pero para el 1er spin que significa realizar la prueba de balanceo una primera vez sin utilizar la grapa. Ahora se analizan las pruebas para el 2do spin (segunda vuelta o prueba) una vez colocada la grapa para compensar el peso.

La figura 30 revela el comportamiento de las muestras tomadas en 3er turno, es un buen comportamiento ya que los datos se mueven a lo largo de los límites de control pero nunca salen o tocan los límites.

Hasta ahora y analizando el gráfico de la figura 31 que muestra la capacidad de proceso, se tiene que la media del balanceo se encuentra en 12.13 gr-mm con un Cpk 0.46, Esto no es bueno para el proceso porque se requiere tener un Cpk mayor o igual a 1.66.

Para la conclusión de esta etapa:

- Gage R & R, adecuado para primer spin
- El proceso de compensación fue mejorado
- Cpk 0.46 (USL 16 gr-mm)

Queda pendiente R & R con segundo spin (prueba de balanceo con grapa)

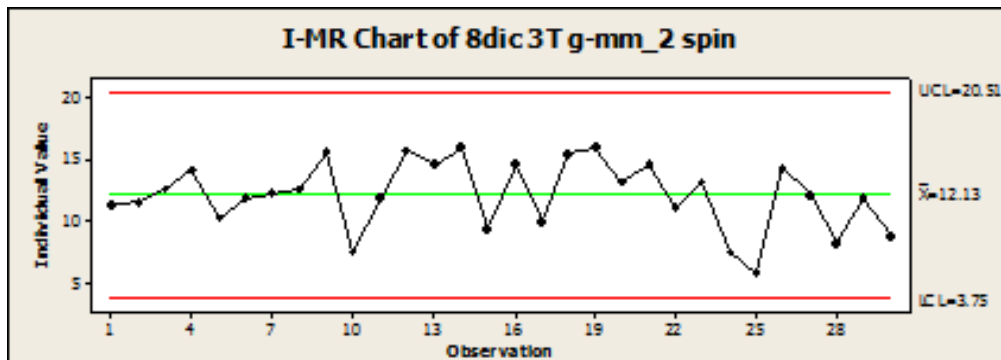


Fig. 30. Gráfico I-MR para el 3er. turno.

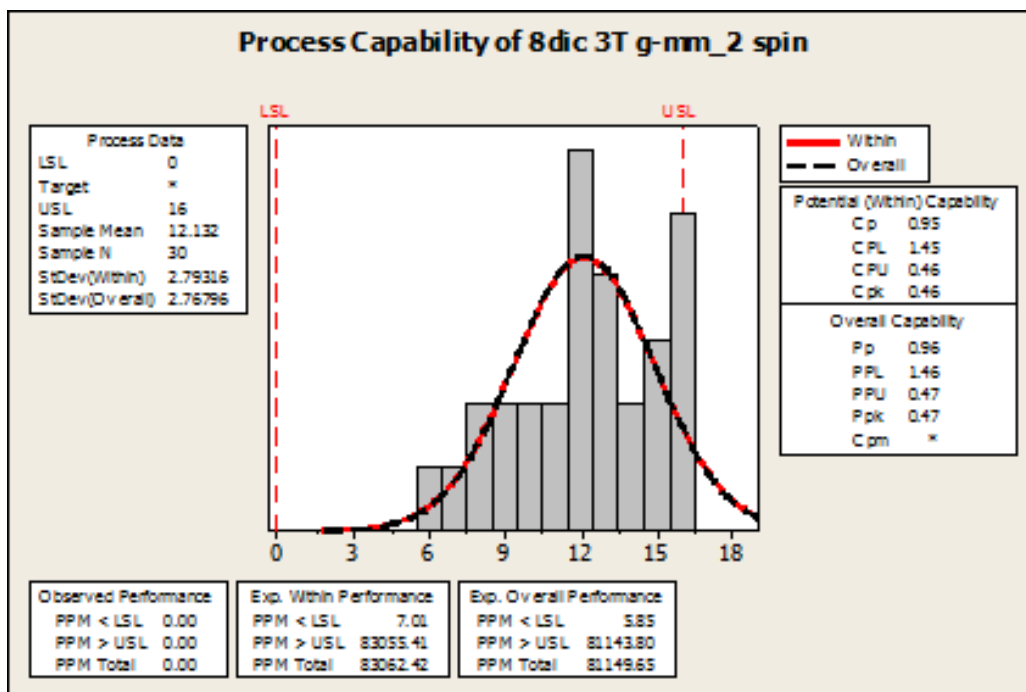


Fig. 31. Análisis de la Capacidad del Proceso para el 3er turno, 2do spin, 1 clip.

FASE DE ANÁLISIS

PARTE TEORICA

Objetivo:

Definir las variables que afectan el balanceo (Y)

“Anova”

La técnica Análisis de Varianza (ANOVA) del inglés Analysis of Variance: tiene como objetivo básico la comparación de las medias de más de dos poblaciones. En el ANOVA se comparan siempre las medias de varias poblaciones y se hace a través de un contraste de hipótesis donde se analiza la varianza. Pero también se analizan las diferencias de medias que hay entre las muestras y también se analiza en tamaño de la muestra.

Las técnicas de comparación siempre analizan estos tres elementos: dispersión, diferencias de medias y tamaño de la muestra. Para entender ANOVA primeramente conoceremos una serie de conceptos básicos.

El primero de esos conceptos es el factor, un factor en ANOVA es una variable cualitativa que genera o que contempla una serie de poblaciones a comparar. A estos grupos o poblaciones que un factor delimita se les denomina “niveles del factor”.

Otro concepto importante en ANOVA: Un factor puede ser fijo o aleatorio. Fijo es cuando los niveles que se estudian son los únicos niveles que interesan. Aleatorio es cuando los niveles que se estudian es una muestra de niveles. Lo que interesa, realmente, es decir cosas de una población de niveles, no de la muestra de niveles que se han seleccionado para el estudio.

Otro concepto importante en ANOVA: Cuando se tienen dos o más factores estos pueden estar, entre sí, dos a dos, cruzados o anidados. Dos factores están cruzados cuando todos los niveles de un factor se cruzan, se

combinan, con todos los niveles del otro factor. Además, en el ANOVA de dos o más factores cruzados, podemos valorar algo muy importante: la interacción entre factores.

En ANOVA, como técnica de comparación que es, el objetivo es contrastar la Hipótesis nula de igualdad de niveles de un factor versus la Hipótesis alternativa de no igualdad de esos niveles. Esto se hace para cada factor contemplado en el ANOVA.

Interacción entre factores significa que la variable estudiada, la variable dependiente, se comporta, ante niveles de un factor, dependiendo de cuáles sean los niveles del otro factor. O sea, que la variable estudiada tiene un valor que es función de la combinación que se dé de niveles.

PARTE PRÁCTICA

En un análisis a profundidad a partir del mapa de proceso y utilizando la matriz causa-efecto, se llegó a la conclusión de cuáles son las posibles variables que están afectando el balanceo, de tal manera que la tabla 6 muestra las acciones que se realizarán en esta etapa.

Tabla 6. Plan de acciones

Action	Responsible	Due date
Identify the variables in the process map	All	Dec 11 th
Select the important "Xs"	All	Dec 11 th
Stablish the Hypotesis	All	Dec 11 th
Obtain data of each variable chosen	All	Dec 18 th

De acuerdo al plan de acciones, se seleccionaron las variables en el mapa de proceso y se obtuvieron las Xs que para el equipo son las que más afectan a Y (desbalanceo). A continuación se muestran:

- Condiciones del proceso
- Posición de los tornillos balanceadores
- Índice Melt Flow de la resina
- Humedad de la resina

- Corte de la rebaba
- Condiciones de empaque y embarque

En otro punto, se recibe retroalimentación del cliente y se tiene que en la figura 32 se observa la distribución del peso donde uno puede visualizar hacia donde están saliendo más cargados los datos del balanceo y en que parte se encuentran los que están fuera de especificación. En la figura 32 y 33 se tienen graficados datos de 1er y 2do spin del ventilador M3.

En Nov 28 Los datos graficados alcanzan a llegar hasta 50 gr-mm y están cargados la mayoría hacia el ángulo de 30 grados. Pero cuando se revisan los datos de Nov 29 tenemos que los datos ahora son muy pocos los que alcanzan 40 gr-mm, la mayoría está concentrada dentro de 30 gr-mm cargados casi equilibradamente.

Posteriormente el cliente manda un nuevo muestreo del comportamiento de la distribución de los datos (ver figura 33) la primera imagen es del muestreo del día 6 de diciembre donde se tienen la mayoría de los datos están dentro de 20 gr-mm, esto es bueno, ya que solo unos cuantos ventiladores están por arriba de ese límite, pero para el día 7 de diciembre vuelve a cambiar todo teniendo nuevamente datos del balanceo llegando a 60 gr-mm inclusive pasando de ese límite.

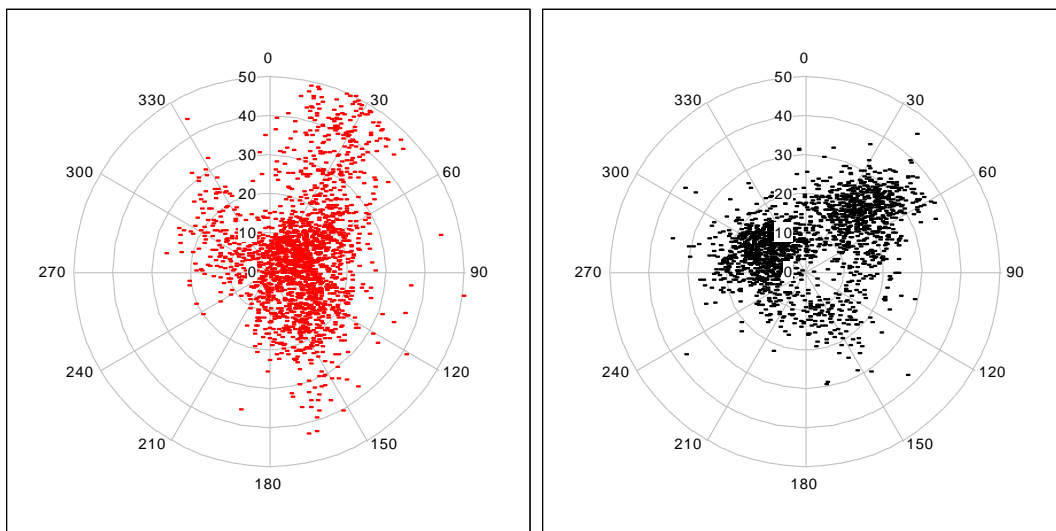


Fig. 32. Distribución de los datos 1er y 2do spin, Nov 28 (rojo) y Nov 29 (negro)

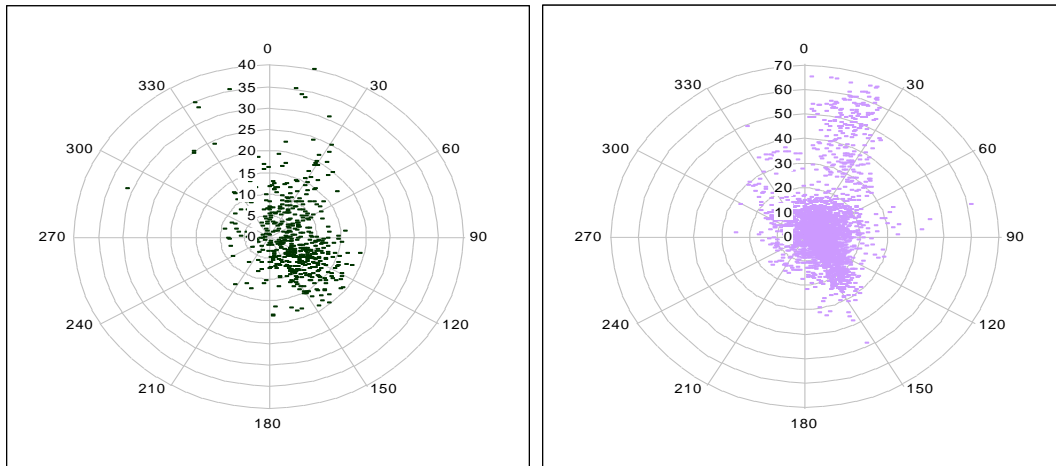


Fig. 33. Distribución de los datos 1er y 2do spin, Dic 6 (verde) y Dic 7 (purpura)

Hasta aquí se llegó a la conclusión de que estas gráficas muestran alta variación, pero incluyen los datos del 1er y 2do spin. Lo que significa:

- 1er spin contiene partes sin ajustar
- 2do spin contiene partes después del ajuste del balanceo (con grapa).

Ahora con lo recibido por el cliente, se grafica el balanceo con la posición de los tornillos balanceadores (figura 34) que no son más que 8 tornillos localizados en la parte de atrás del ventilador que llevan un cierto ajuste (torque) determinado por el cliente y que en cierta manera contribuyen al balanceo del ventilador.

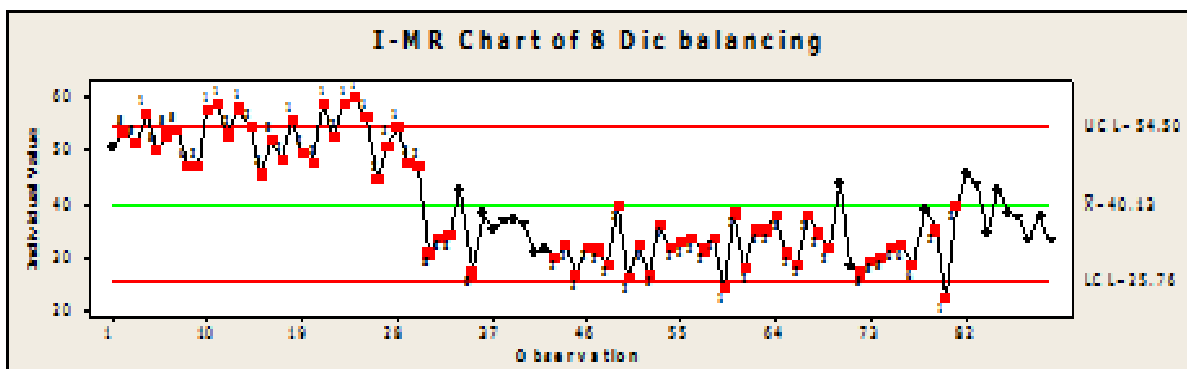


Fig. 34. Balanceo de la posición de los tornillos.

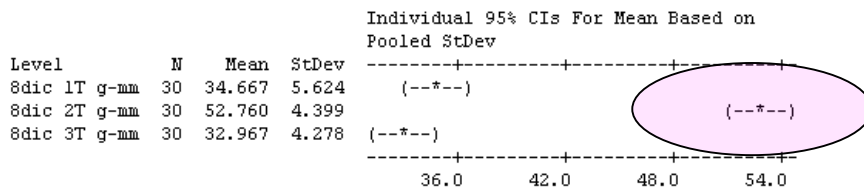
Esta gráfica muestra diferentes comportamientos pero no se visualiza que turno es el que afecta. Esto se puede saber más a detalle en la siguiente tabla donde se realiza un ANOVA para determinar cuál de los tres turnos esta diferente.

Tabla 7. Anova de los tornillos balanceadores. Todos los turnos

One-way ANOVA: 8dic 1T g-mm, 8dic 2T g-mm, 8dic 3T g-mm

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	2	7220.3	3610.2	156.30	0.000
Error	87	2009.5	23.1		
Total	89	9229.8			

S = 4.806 R-Sq = 78.23% R-Sq(adj) = 77.73%



Y de esta manera es fácil detectar que el 2do turno es diferente a los otros dos. ¿Qué paso aquí?

Se encontró que los tornillos balanceadores fueron ajustados en el 3er turno mejorando el resultado del balanceo para el primer spin.

Antes de continuar, Se explica el funcionamiento de los tornillos balanceadores. ¿Para qué sirven estos tornillos balanceadores?, los tornillos balanceadores se encuentran en el ventilador y en total son 8, estos tornillos se pueden ajustar como cualquier otro tornillo que se aprieta o se afloja pero la finalidad de que se encuentren en el ventilador es para modificar el centro de gravedad y obtener un resultado favorable cuando es instalado el ventilador en el ensamble final realizado por el cliente, estos tornillos son ajustados antes de la inyección del ventilador, cuando el ventilador sale del molde ya trae los tornillos a una determinada altura de acuerdo a especificaciones del cliente.

Retomando el tema, las acciones de mejora que se tomaron son:

- Determinar el máximo valor del balanceo del primer spin para ajustar la posición de los tornillos balanceadores.

- Una vez que el valor optimo fue identificado, incluirlo en la instrucción de trabajo para reducir la variación del proceso.

Como anteriormente se realizó el estudio de R & R para primer spin, ahora se realiza el mismo estudio pero para segundo spin (sometiendo a la prueba a la misma balanceadora) de la misma manera obteniendo lo siguiente:

Tabla 8. Gage R&R 2do spin

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.62574	10.71
Repeatability	0.53231	9.11
Reproducibility	0.09343	1.60
Operators	0.00000	0.00
Operators*Parts	0.09343	1.60
Part-To-Part	5.21704	89.29
Total Variation	5.84278	100.00

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)
Total Gage R&R	0.79104	4.7462	32.73
Repeatability	0.72960	4.3776	30.18
Reproducibility	0.30566	1.8340	12.65
Operators	0.00000	0.0000	0.00
Operators*Parts	0.30566	1.8340	12.65
Part-To-Part	2.28408	13.7045	94.49
Total Variation	2.41718	14.5031	100.00

Number of Distinct Categories = 4

Tomando el valor que interesa nuevamente en la intersección “Total Gage R&R vs % Study Var” donde se tiene el valor de 32.73, Esto indica que se debe rechazar el sistema R & R cuando el balanceo es evaluado después del ajuste (con grapa).

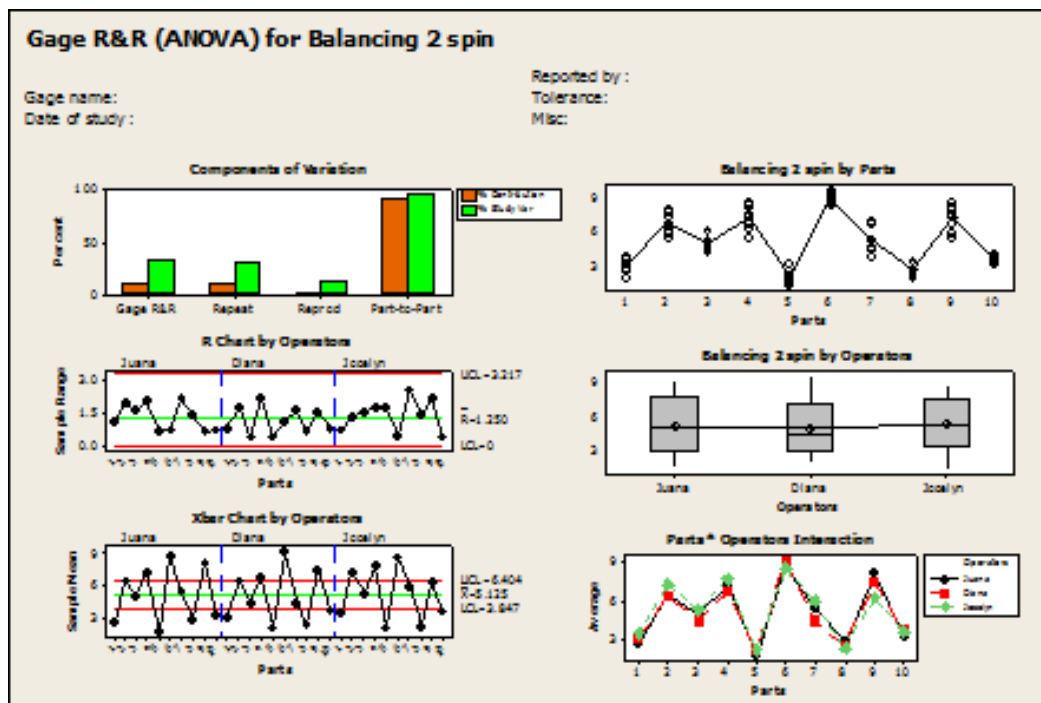


Fig. 35. Sixpack Gage R&R (ANOVA) 2do spin

Ahora ya se sabe interpretar el Sixpack Gage R&R (figura 35), resumiendo se tiene que los operadores ahora tienen un mismo comportamiento cuando miden las piezas y en cuestión de reproducibilidad los tres operadores obtienen buenos resultados ya que como anteriormente se mencionó, el estudio de X-bar nos muestra el comportamiento de la reproducibilidad y es conveniente ver que las mediciones van más allá de los límites de control. A simple vista se puede decir que nuestro estudio de repetibilidad de igual manera es bueno ya que no hay puntos que sobresalgan de los límites de control pero cuando se revisa la Tabla 8, se nota en la parte de “Repetibility” el valor 30.18 que no pasa el porcentaje de aceptabilidad. Es por eso que no se tiene que dejar llevar físicamente por las gráficas, ya que los números son los que entregan la mejor información.

Tabla 9. Acciones a tomar despues de estudio R&R 2do spin

Action	Responsible	Due date
Perform R&R analysis, 2nd Spin	Roberto Hernandez	Dec, 17th
Obtain data of each variable chosen	All	Dec 18 th
Determine the maximum value of balancing in the first spin to adjust the balancing screw position	Raymundo Sanchez	Dec 18th
Once the optimum value was identified, include it in the work instruction to reduce process variation	Raymundo Sanchez Juana Tovar	Dec 19th
Ask to Brose review the balancer to improve the R&R in the 2 nd spin	Raymundo Sanchez Juana Tovar	Dec 19th
Control the position of balancing screws to observe the process stability	Raymundo Sanchez	Dec 17

Se vuelven a asignar acciones (tabla 9) después de lo encontrado.

Recordando quien tiene las tareas programadas se va a la acción nuevamente.

Mientras se realizan las tareas se hace nuevamente un estudio ANOVA al balanceo. Este estudio se realiza para determinar cómo se encuentra ahora el balanceo y como se encontraba anteriormente (ver tabla 10).

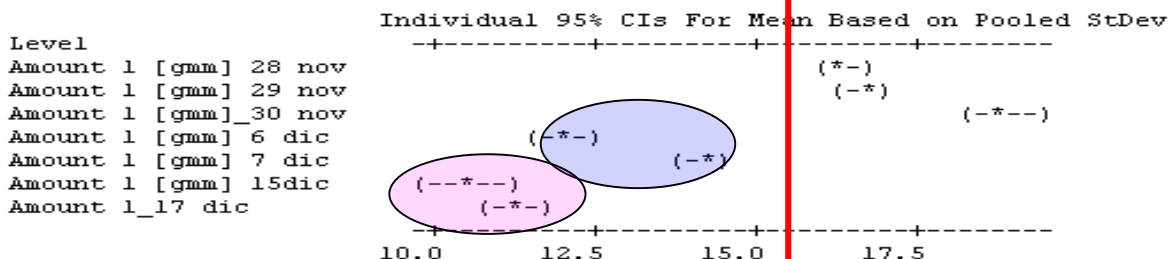
Tabla 10. ANOVA noviembre y diciembre

One-way ANOVA: Amount 1 [gm, Amount 1 [gm, Amount 1 [gm, Amount 1 [gm, ...

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	6	69604	11601	128.32	0.000
Error	10867	982435	90		
Total	10873	1052039			

S = 9.508 R-Sq = 6.62% R-Sq(adj) = 6.56%

Level	N	Mean	StDev
Amount 1 [gmm] 28 nov	1956	16.317	10.347
Amount 1 [gmm] 29 nov	1828	16.678	6.921
Amount 1 [gmm]_30 nov	1064	18.834	7.381
Amount 1 [gmm] 6 dic	1673	12.052	10.440
Amount 1 [gmm] 7 dic	2440	14.170	11.674
Amount 1 [gmm] 15dic	625	10.496	6.838
Amount 1_17 dic	1288	11.180	8.073



ID	Date	Improvement	Balancing (g-mm)
	November	Before improvement	17.12
	Dec, 6 th	Balancing compensation	13.11
	Dec, 17th	Position of Balancing screw controled	10.83

Se muestra como se ha mejorado desde noviembre antes de mejorar (tabla 10) llegando al 6 de diciembre con la mejora de la compensación del balanceo, obteniendo así 13.11 gr-mm. El 17 de diciembre después de la mejora del control de la posición de los tornillos balanceadores, se logra llegar a 10.83 gr-mm. Estas mediciones son del segundo spin.

Como conclusión hasta ahora podemos decir que con las acciones tomadas en el momento, se ha mejorado en promedio en el resultado del balanceo.

Continuando con los pendientes, para observar mejor las mejoras de forma visual, en la figura 36 se tiene como se ha logrado hacer más esbelto el conjunto de datos tomando como referencia el 28 de Nov antes del proyecto Lean Six Sigma y los datos del 17 de diciembre con el control de los tornillos balanceadores donde se ve un conjunto con más datos dentro de 0 a 20, aunque también siguen habiendo datos por arriba de 20 incluso hasta superando 70 gr-mm.

Para la gráfica de puntos del ángulo (figura 37) se tiene que para el 18 de Nov una distribución de datos más recargada hacia la izquierda donde tenemos de 0 a 150 grados, pero después de hacer el control de los tornillos balanceadores se logra obtener una distribución normal donde los datos corren desde 0 a 360 grados.

Para la prueba de igualdad de varianzas (figura 38). Las varianzas están en igualdad estadística. No hay una mejora significativa en la variación del ángulo, solo se han extendido más los datos para el 17 de diciembre. Como acciones son continuar observando la variación del proceso para identificar si los tornillos balanceadores son movidos sin intención para el proceso de moldeo.

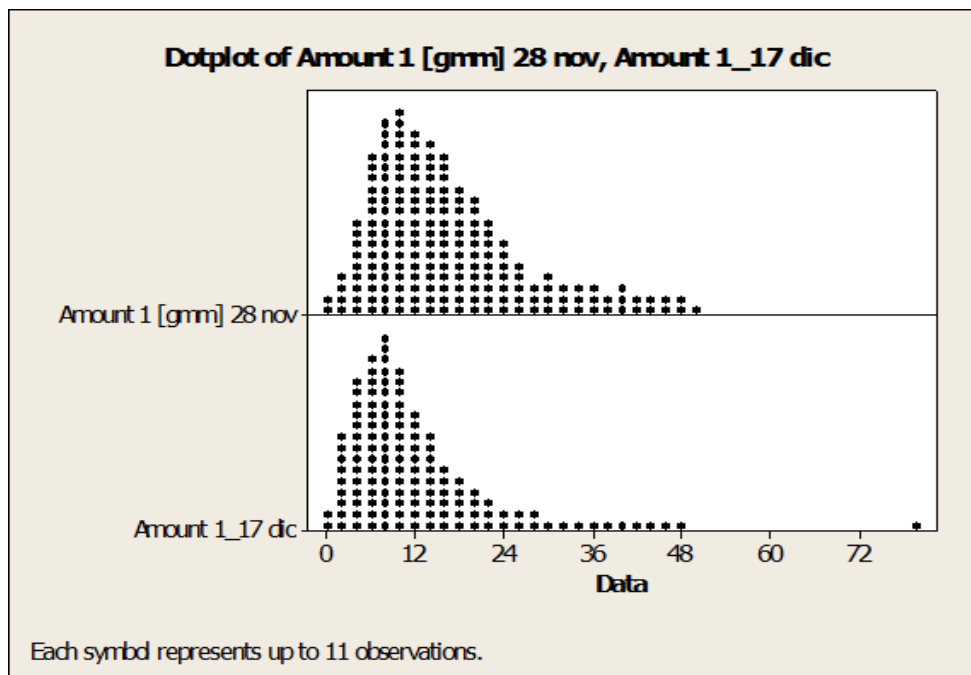


Fig. 36. Gráfico de puntos del balanceo 28 Nov a 17 Dic

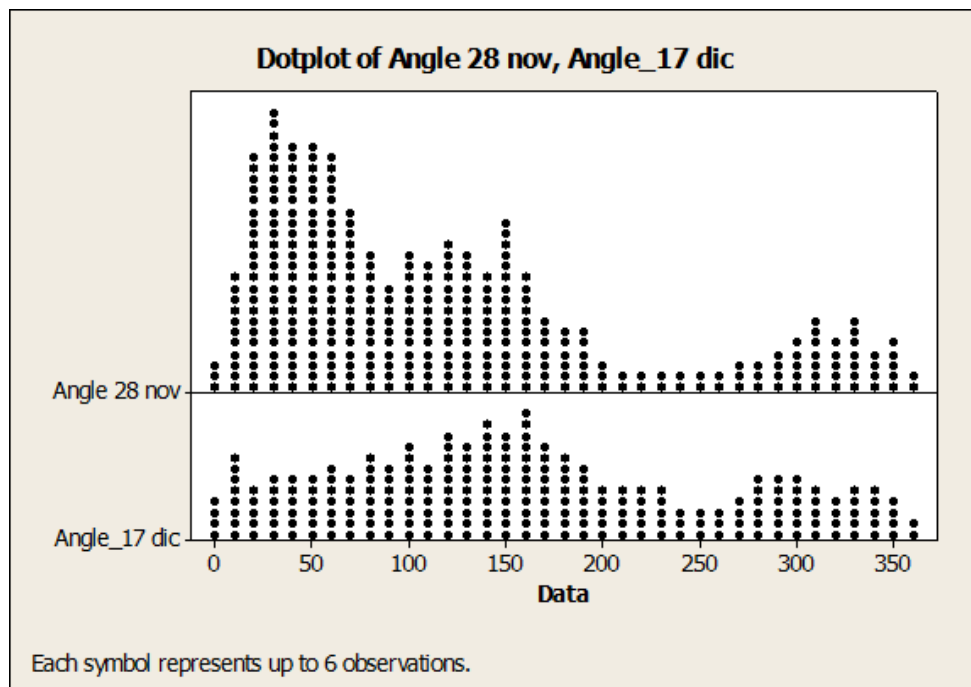


Fig. 37. Gráfico de puntos del ángulo 28 Nov a 17 Dic

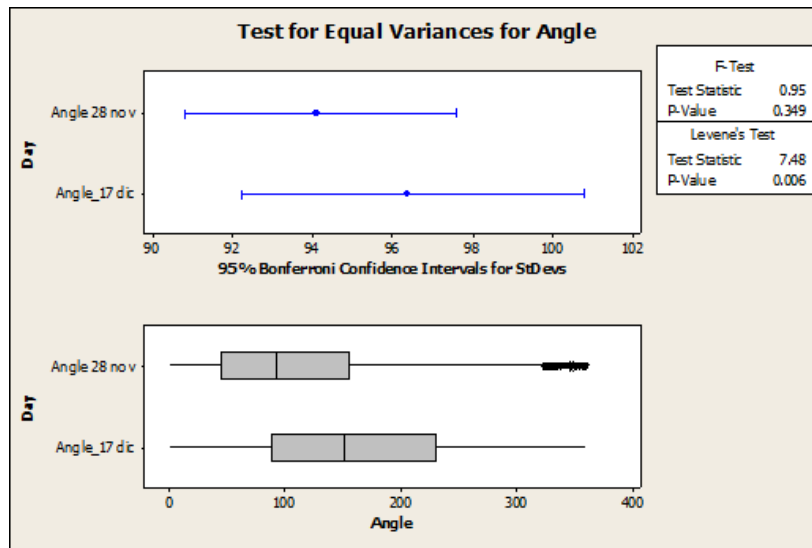
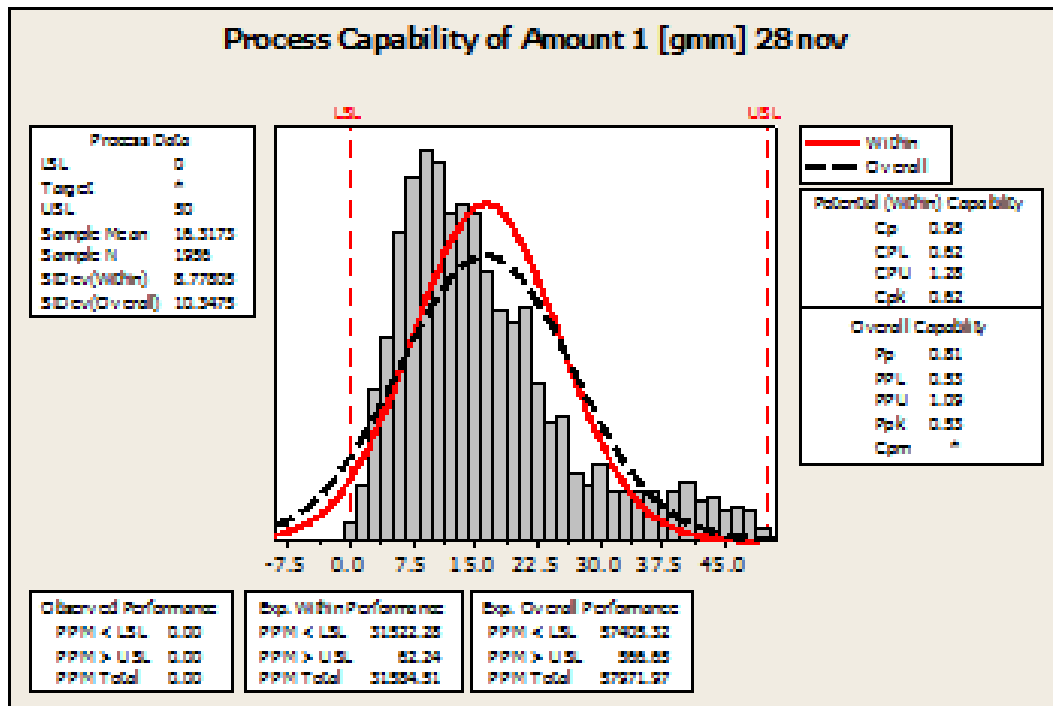


Fig. 38. Prueba de igualdad de varianzas para el ángulo

“Desempeño del Proceso o Capacidad del Proceso”

Objetivo: observar el desempeño del proceso controlando la posición de los tornillos. USL 50 gr-mm (incluido 1er y 2do spin).



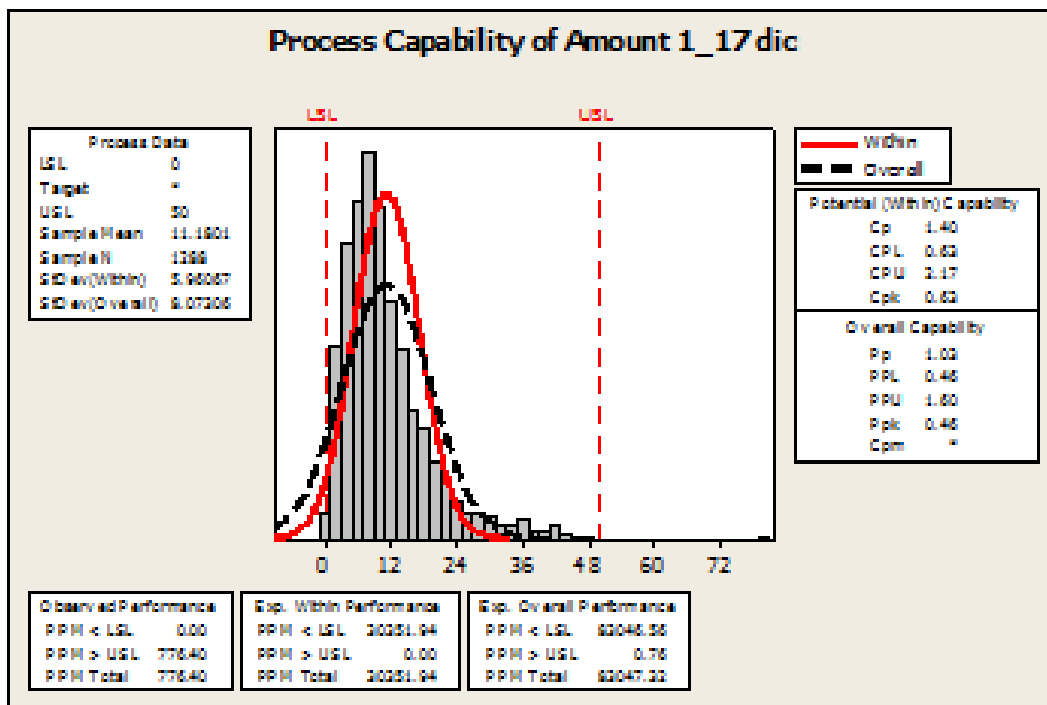


Fig. 39. Desempeño del proceso o capacidad del proceso, Noviembre y Diciembre respectivamente.

Como se puede observar en las imágenes de la figura 39, los datos del desempeño del proceso del mes de noviembre y del mes de diciembre, a simple vista se ve una mejora ya que se redujo la dispersión de los datos, pero para no ser subjetivo se observa que considerando 50 gr-mm USL para el 1er y 2do spin se tiene:

$$\text{Antes } C_p = 0.95 / \text{Después } C_p = 1.40$$

Las acciones tomadas son completar los issues abiertos para identificar las principales variables para centrar el proceso y mejorar el Cpk también.

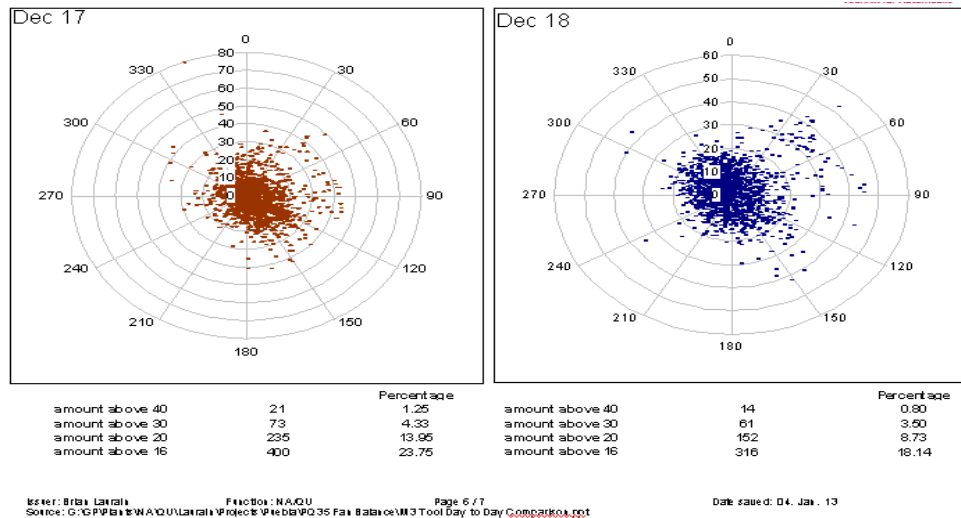


Fig. 40. Distribución de los datos después de la mejora (1er y 2do spin)

En la figura 40, está la distribución de las muestras mandadas por el cliente de los días 17 y 18 de diciembre respectivamente, se observa que para el día 17 los datos se han agrupado más hacia el centro aunque se tienen levemente recargados a la derecha, ahora notando los datos del día 18, estos están más centrados y se tienen una distribución más compacta a comparación del día anterior.

Se sigue recibiendo la retroalimentación por parte del cliente, ahora los datos del día 19 de diciembre y del 2 de enero como lo mostrado en la figura 40, para el día 19 los datos graficados nuevamente tendieron a dispersarse y para el día 2 de enero hay una distribución parecida a la del día 19 no tan centrados, cabe mencionar que ya no se tienen datos por encima de 45 gr-mm, se ha logrado contener los datos dentro del USL de 50 gr-mm.

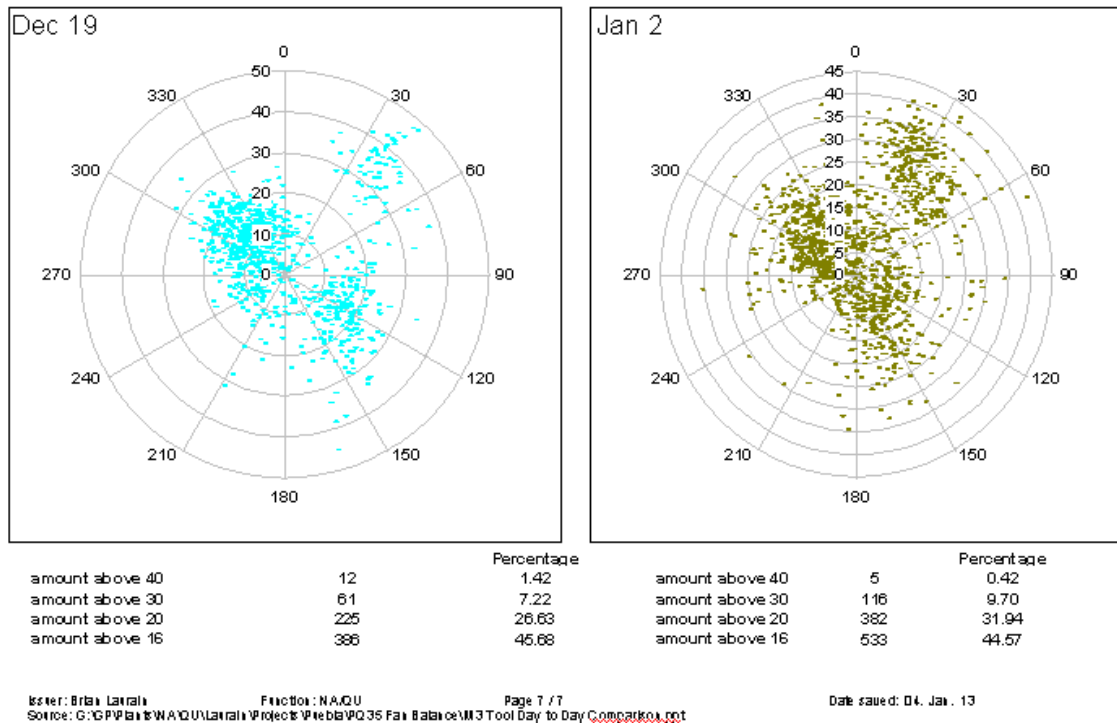


Fig. 41. Seguimiento de la distribución de los datos (1er y 2do spin)

En la siguiente tabla (tabla 11) se muestran los issues abiertos para esos días, la fase de análisis continua con: las condiciones del proceso, el proceso del balanceo, el índice de derretimiento, la humedad de la resina, el corte de colada, las condiciones de empaque y embarque, y la grapa A&B (ya que para esta etapa ya se estaban usando dos tipos de grapas que las proporcionan dos distintos proveedores).

En la tabla 12, está la Prueba de Hipótesis para algunas variables de las condiciones del proceso más adelante se evalúan, en este caso hay 4 variables; el tiempo ciclo, que es el tiempo que la inyectora tarda en producir una pieza; El tiempo de llenado, que es el tiempo en que el plástico se empieza a inyectar hasta que cubre toda la (s) cavidad (es) del molde; El tiempo de recuperación, que es cuando la pieza se terminó de inyectar y se está enfriando para ser extraída de la inyectora y por último El Melt Cushion que es cuando la materia prima se encuentra por enfrente del husillo cuando el husillo está en la posición hacia adelante, esta presión cubre hasta un 90% a 95% del total de la cavidad.

Tabla 11. Lista de issues abiertos enero

Action	Responsible	Due date
Monitoring process (balancing screw position and balancing results)	Azarel Diaz	daily
Continue the analyze phase: <ul style="list-style-type: none"> •Process conditions •Balancing process: <ul style="list-style-type: none"> •Spin direction •Position of balancer cover •Zero (Fan position) •Melt flow rate •Humidity on the resin •Trimming of the burr •Packaging and shipment conditions •Clip size (A &B) 	Azarel Diaz Juana Tovar Isidro Rodríguez	Jan 30th
Balancer revision by Brose	Damian	tbd

Tabla 12. Resultado de la prueba de hipótesis (condiciones de proceso)

Variable	Hypothesis	Pvalue	Conclusion
Cycle Time	Ho: Balancing does not depend on cycle time Ha: Balancing depends on cycle time	0.119	Pv >0.05, Ho is accepted Cycle time is not a factor
Fill Time	Ho: Balancing does not depend on fill time Ha: Balancing depends on fill time	0.862	Pv >0.05, Ho is accepted Fill time is not a factor
Recovery Time	Ho: Balancing does not depend on recovery time Ha: Balancing depends of recovery time	0.926	Pv >0.05, Ho is accepted Recovery time is not a factor
Melt Cushion	Ho: Balancing does not depend on melt cushion Ha: Balancing depends on melt cushion	0.119	Pv >0.05, Ho is accepted Melt cushion is not a factor

Los resultados en base a la evaluación del Pvalue y recordando que para una Prueba de Hipótesis se tiene que:

Si $Pvalue \leq 0.05$, Ho es rechazada.

Entonces las 4 variables no son factor para irrumpir el balanceo.

Continuando con las evaluaciones del proceso de balanceo, cuando se realiza la prueba de balanceo en la balanceadora BAL-003, esta tiene una “tapadera” de protección para el operador y además es para evitar que el aire generado por el giro del ventilador afecte la misma prueba de medición. La máquina también tiene la opción de girar hacia la izquierda y la derecha, no hay restricción. Con esto se vuelve a hacer una Prueba de Hipótesis como lo muestra la tabla 13.

Tabla 13. Prueba de hipótesis de tapadera y spin

Variable	Hypothesis	Pvalue	Conclusion
Cover (O-C) Spin OK	Ho: Balancing does not depend on cover Ha: Balancing depends of cover	0.918	Pv >0.05, Ho is accepted This is not a factor
Cover (O-C) Spin NO Ok	Ho: Balancing does not depend on cover Ha: Balancing depends of cover	0.000	Pv ≤ 0.05, Ho is rejected Spin “NO OK” affects the balancing
Spin (Ok -no ok) Cover open	Ho: Balancing does not depend of spin Ha: Balancing depends of spin	0.000	Pv ≤ 0.05, Ho is rejected Cover “Open” affects the balancing
Spin (ok –no ok) Cover closed	Ho: Balancing does not depend of spin Ha: Balancing depends of spin	0.399	Pv >0.05, Ho is accepted This is not a factor

Para este caso (O y C) significan Open y Closed, Spin Ok es el giro hacia la derecha y Spin No Ok es el giro a la izquierda.

La prueba determina que cuando se hace el giro “Ok” no importa cómo se tenga la tapadera (abierta o cerrada) no es factor para irrumpir el balanceo. Cuando se tiene la tapadera cerrada no importa si el giro es correcto o incorrecto, pero cuando se hace el giro incorrecto sí importa la posición de la tapadera al igual que cuando se tiene la tapadera abierta y el giro es correcto o incorrecto, ambos casos afectan el balanceo. De tal manera que se corrigió y se dio aviso a los operadores de que deben mantener la tapadera cerrada y también deben hacer el giro a la derecha para que el balanceo resulte satisfactorio.

La balanceadora tiene una posición radial que es donde los operadores colocan el ventilador; para dar una idea, es como un transportador de 360 grados dibujado en la balanceadora y ahí se tienen tres marcas que

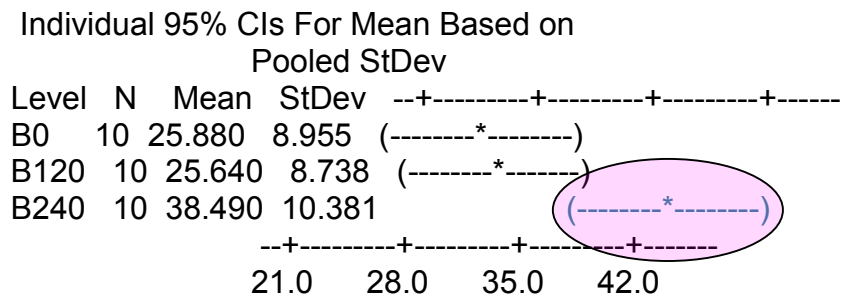
son 0, 120 y 240 grados donde el operador puede colocar el ventilador. Se realiza otra prueba de hipótesis para determinar si la posición radial afecta el balanceo, obteniendo lo mostrado en la tabla 14.

Tabla 14. Prueba de hipótesis de posición radial (posición en cero)

Variable	Hypothesis	Pvalue	Conclusion
Radial position (0, 120, 240°)	Ho: Balancing does not depend on RP Ha: Balancing depends of RP	0.006	Pv ≤ 0.05, Ho is rejected The radial position is a factor

Se llega a la conclusión de que la posición radial si es determinante para el balanceo pero ¿qué posición es la que nos está afectando? Eso se determina con un ANOVA que se muestra en la tabla 15.

Tabla 15. ANOVA de la posición radial



Ahora si se puede determinar que la posición de 240 grados es la que afecta al balanceo, de manera que se les dio aviso a los operadores que colocaran los ventiladores en la posición 0 o 120 para realizar el balanceo y así seguir mejorando en el proceso.

Hasta ahora nuestro análisis sigue en marcha con lo obtenido, se puede continuar con la siguiente fase y seguir midiendo y analizando al mismo tiempo para avanzar más rápido con el proyecto y los resultados.

FASE MEJORAR

PARTE TEORICA

Objetivo:

Implementar las propuestas de mejora establecidas en el área piloto y dar resultados estables en al menos un día de trabajo. Desarrollar un plan para el logro de las metas definidas de forma estandarizada y de documentación del nuevo sistema estandarizado.

En esta fase se usan las relaciones clave causa-efecto de la fase analizar para desarrollar soluciones alternativas al problema. Se usan tanto herramientas de calidad como Lean cuando sea adecuado.

Las soluciones alternativas son luego evaluadas en base a su efectividad en satisfacer el objetivo del proyecto, practicidad y aceptación por el dueño del proceso.

El “embudo DMAIC” resume la progresión hacia una solución óptima durante la fase “Mejorar” (ver figura 42).

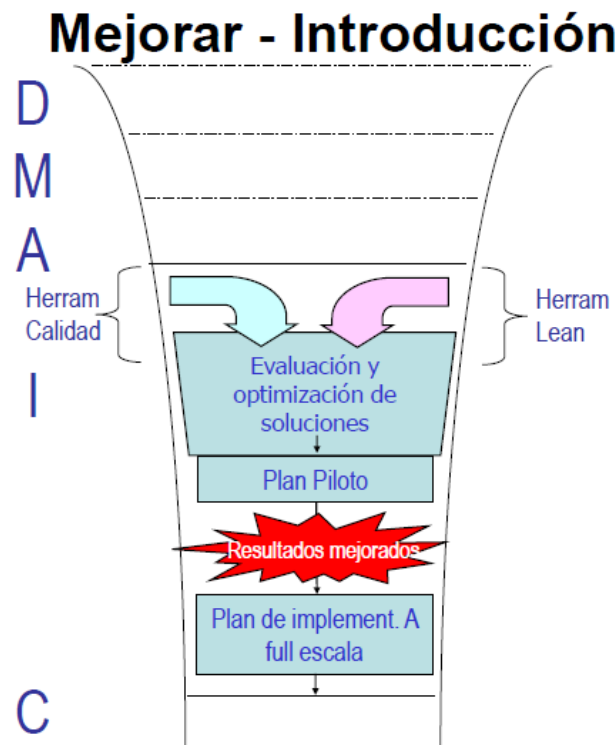


Fig 42. Embudo DMAIC

PARTE PRÁCTICA

En esta etapa se siguen monitoreando las siguientes variables pendientes que se quedaron de la fase anterior.

- Condiciones del proceso
- Proceso de balanceo
- Índice de derretimiento de la resina
- Humedad de la resina
- Corte de la rebaba
- Condiciones de empaque y embarque

Desempeño del Proceso USL 50 gr-mm 19 Febrero

Para esto se requiere saber cómo está el proceso ahora con lo ya mejorado anteriormente.

Objetivo: observar el desempeño del proceso después de las condiciones del proceso, proceso de balanceo y posición radial.

USL: 50 gr-mm (incluido 1er y 2do spin)

Obteniendo el desempeño del proceso (ver figura 44) se observa que los datos ahora ya se mantienen dentro de los límites de especificación. Concluimos que el Cp ha sido mejorado con las acciones tomadas, considerando 50 gr-mm como USL al 1er spin se tiene.

Antes Cp = 1.40 / Después Cp = 1.56

Acciones: completar los issues abiertos para identificar las principales variables para centrar el proceso y mejorar el Cpk también.

Antes Cpk = 0.63 / Después Cpk = 1.00

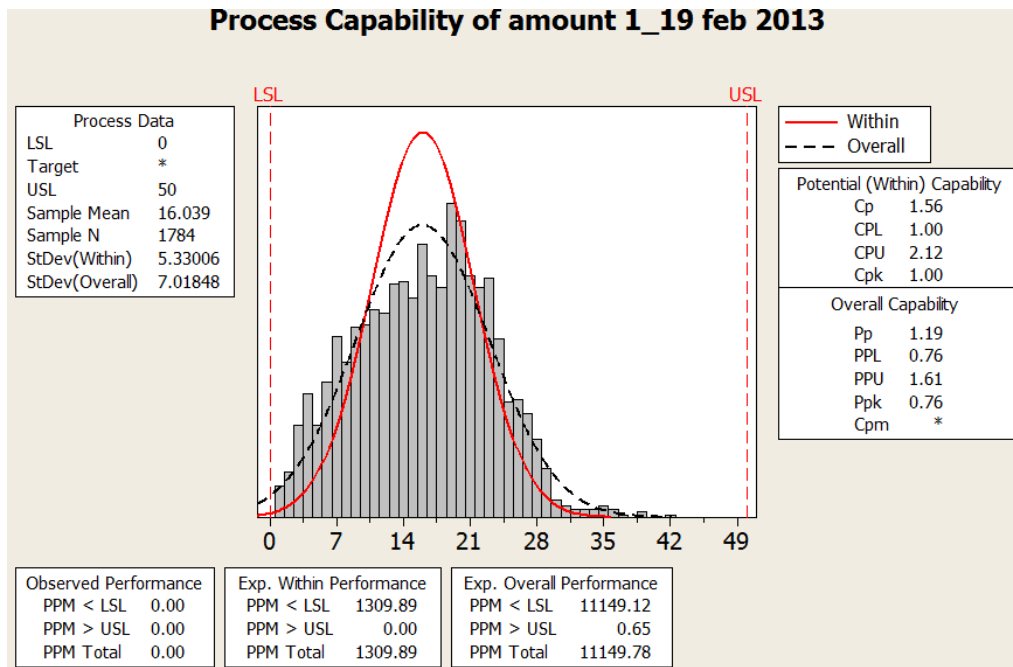


Fig. 44. Capacidad del proceso al 19 de febrero

Se necesita seguir mejorando, aún quedan acciones pendientes porque el proceso no está centrado, hay issues abiertos que se siguen encontrando a través de las juntas como se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 16. Acciones abiertas en la fase mejorar

Action	Responsible	Due date
Review data from Jan 16th.	Isidro Rodríguez	Feb 20 th
Balancer maintenance	Brose	Feb 21 th
Test on balancer asked by Christopher	Juana Tovar	Feb 20 th

Se deben revisar los datos de enero 16 nuevamente, pedir al cliente que haga un mantenimiento a la balanceadora que ellos manejan y finalmente hacer una prueba en la balanceadora solicitado por el SQA (ingeniero de calidad de proveedores). Pero además de estas nuevas acciones que han surgido se siguen llevando los issues abiertos mostrados en la tabla 17 que no se han cerrado. Se agrega una nueva variable que es el “peso”.

Se siguen monitoreando los tornillos ya que estos tienden a moverse ligeramente por la acción del molde.

Tabla 17. Lista de issues abiertos febrero

Action	Responsible	Due date
Monitoring process (balancing screw position and balancing results)	Azarel Diaz	daily
Continue the analyze phase: <ul style="list-style-type: none"> •Process conditions •Balancing process: <ul style="list-style-type: none"> •Spin direction •Position of balancer cover •Zero (Fan position) •Melt flow rate •Humidity on the resin •Trimming of the burr •Packaging and shipment conditions •Clip size (A &B) •Weight 	Azarel Diaz Jesus Avalos Isidro Rodríguez	
Balancer revision by Brose	Damian	Feb 26th

Pin Localizador Fuera de Especificación

¿Qué significa esto?

La balanceadora tiene un Pin Localizador donde los operadores colocan el ventilador para hacer la prueba de balanceo, este pin no se encontraba en las dimensiones especificadas en el dibujo.

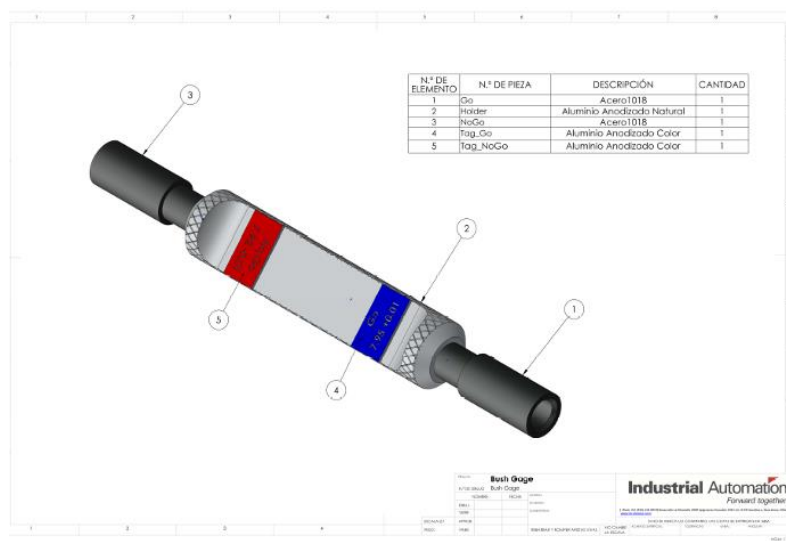


Fig. 45. Gage Go No-Go.

Factores:

El Pin Localizador fue detectado durante la verificación del Director de ingeniería de la planta que fabrica la balanceadora.

- No hay datos para confirmar la condición del pin desde la llegada a la planta
- No hay una verificación de la perpendicularidad y diámetro del pin

Hipótesis:

El Pin Localizador esta gastado por el continuo uso haciendo que la balanceadora obtenga datos incorrectos.

Cuando el pin ingresó a la planta, este llegó fuera de especificación pero no suficiente para ser una variable significativa para entregar falsos resultados.

Se solicitó un Go No-Go (ver figura 45) para poder saber cuándo el pin localizador este desgastado, de esta manera la próxima vez que se vuelva a desgastar el pin se podrá saber de una manera fácil y práctica.

Tabla 18. Lista de issues abiertos después de pin localizador

Action	Responsible	Due date
Make a gage go - no go to check the diameter and the perpendicularity of the locator Pin.	Roberto Hernandez	Feb 26th
Monitoring the locator Pin condition during the production process.	Jesus Avalos Isidro Rodríguez	
Review the incoming of equipment and include to take pictures of functional area.	Jesus Avalos Demetrio Martinez	Feb 28th

Desempeño del Proceso USL 50 gr-mm 22-25 Marzo

Objetivo: observar el desempeño del proceso después del Gage Go No-Go y el cambio del pin localizador.

USL 50 gr-mm (incluido 1er y 2do spin)

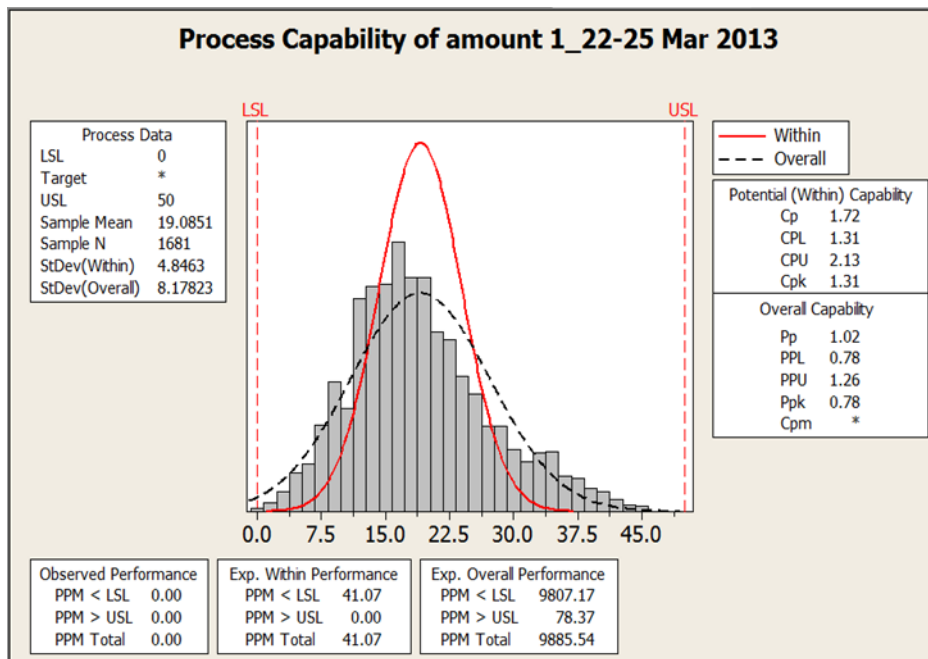


Fig. 46. Capacidad del proceso del 22 al 25 de marzo.

Después de observado la capacidad del proceso (ver figura 46) se llega a la conclusión de que el Cp ha sido mejorado con las acciones tomadas considerando 50 gr-mm como USL del 1er spin.

Antes Cp = 1.56 / Después Cp = 1.72

Acciones: completar los issues abiertos para identificar las principales variables para centrar el proceso y mejorar el Cpk también.

Antes Cpk = 1.00 / Después = 1.31

Se vuelven a hacer las pruebas de hipótesis para las variables que faltan por revisar como se muestra en la tabla 19. Revisando las variables y evaluando con el Pvalue cada una, se tiene que la única variable que importa y es factor es el tamaño de la grapa (A&B), esto es debido a que el proveedor que surtía las primeras grapas dejo de hacerlo y se pidió a otro proveedor que aparentemente cumplía las mismas especificaciones resurtirá pero finalmente resultó que si es un factor para el balanceo. La organización opta por regresar al proveedor anterior una vez notado el resultado.

Tabla 19. Pruebas de hipótesis de variables pendientes

Variable	Hypothesis test	P value	Conclusion
Cycle time	Ho: Cycle time does not affect the balancing Ha: Cyclo time affect the balancing	0.635	It is not a factor
Melt cushion	Ho: Melt cushion does not affect the balancing Ha: Melt cushion affect the balancing	0.907	It is not a factor
Weight	Ho: Weight does not affect the balancing Ha: Weight affect the balancing	0.275	It is not a factor
Fill time	Ho: Fill time does not affect the balancing Ha: Fill time affect the balancing	0.815	It is not a factor

Variable	Hypothesis test	P value	Conclusion
Packaging and shipment conditions	Ho: Packaging and shipment conditions do not affect the balancing Ha: Packaging and shipment conditions affects the balancing	0.893	It is not a factor
Clip size (A &B)	Ho: Clip size (A &B) does not affect the balancing Ha: Clip size (A &B) affects the balancing	0.001	It is a factor
Trimming of the burr	Ho: Trimming of the burr does not affect the balancing Ha: Trimming of the burr affects the balancing	0.762	It is not a factor
Humidity on the resin	Ho: Humidity on the resin does not affect the balancing Ha: Humidity on the resin affects the balancing	0.972	It is not a factor

Desempeño del Proceso USL 16 gr-mm 25 Marzo

Objetivo del proceso: observar el desempeño del proceso después de utilizar la grapa

USL 16 gr-mm (2do spin únicamente)

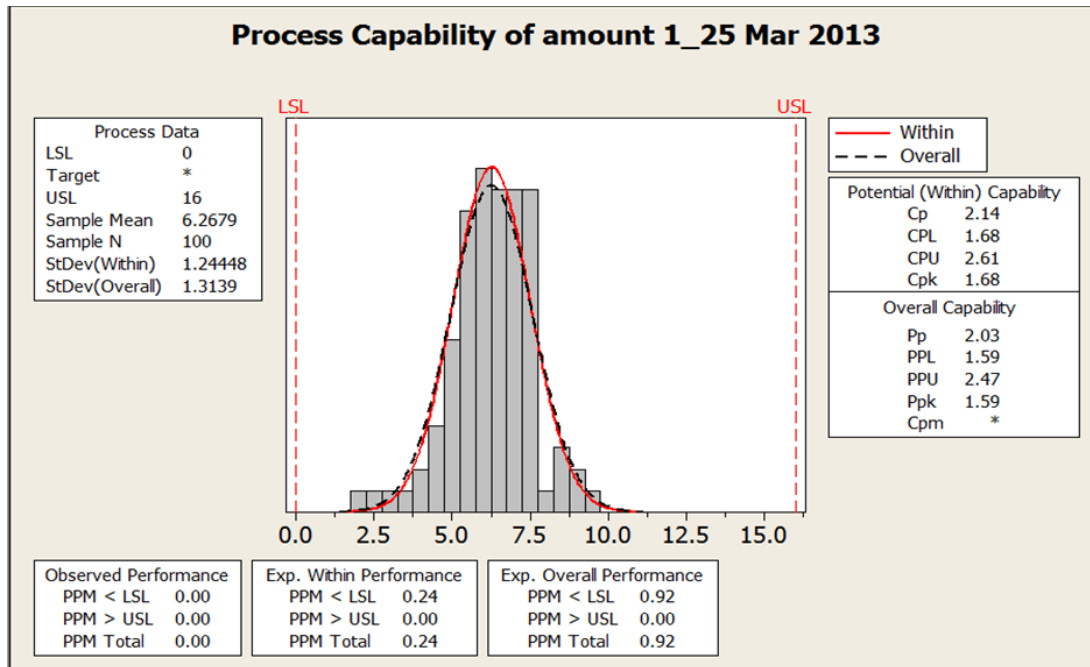


Fig. 47. Capacidad del proceso 25 de marzo

Esta vez solo se grafican los datos del día 25 de marzo pero para el 2do spin únicamente, es por eso que el USL ha bajado de 50 gr-mm hasta 16 gr-mm ya que ese es el límite que se planteó para tener un margen de 4 gr-mm que es el límite que el cliente nos maneja. Como conclusión en lo observado en la figura anterior se tiene un $Cpk = 1.68$, ahora se está por arriba del objetivo, el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación del cliente y además consiguiendo un Cpk por arriba del propuesto.

Después de realizado todas las pruebas de hipótesis y verificando todas las variables que para el equipo resultaron las más significativas y a lo largo del proyecto fueron saliendo nuevas variables. Se concluye que antes de la Fase Controlar, se ha conseguido el propósito de obtener un Cpk mayor o igual a 1.66 y que además con esto se está teniendo un proceso controlable dentro de los límites de especificación del cliente. Para la Fase Controlar se debe tratar de mantener lo obtenido hasta ahora, entrenando a los operadores para que realicen de manera correcta su labor y actualizando las instrucciones de trabajo para no tener fallos.

FASE CONTROLAR

PARTE TEORICA

Objetivo:

Tener bajo control el proceso mejorado en al menos en un proceso corto de tiempo y continuar monitoreando en un proceso largo de tiempo.

Entender las tareas requeridas para sostener los beneficios del proyecto

PARTE PRÁCTICA

Objetivo:

Mantener el control del proceso monitoreando diariamente los ventiladores al menos en un periodo corto.

Ahora que el proyecto se encuentra en la última fase, se monitorean los datos de 13 días los cuales ya fueron mejorados gracias a todas las variables que resultaron factor. En la figura 48, se tiene la gráfica que nos informa si nuestro proceso está bajo control estadístico, y efectivamente lo está, ya que de lo contrario se tendrían marcas rojas de alerta que nos dirían que nuestro proceso no está bajo control en determinado(s) punto(s).

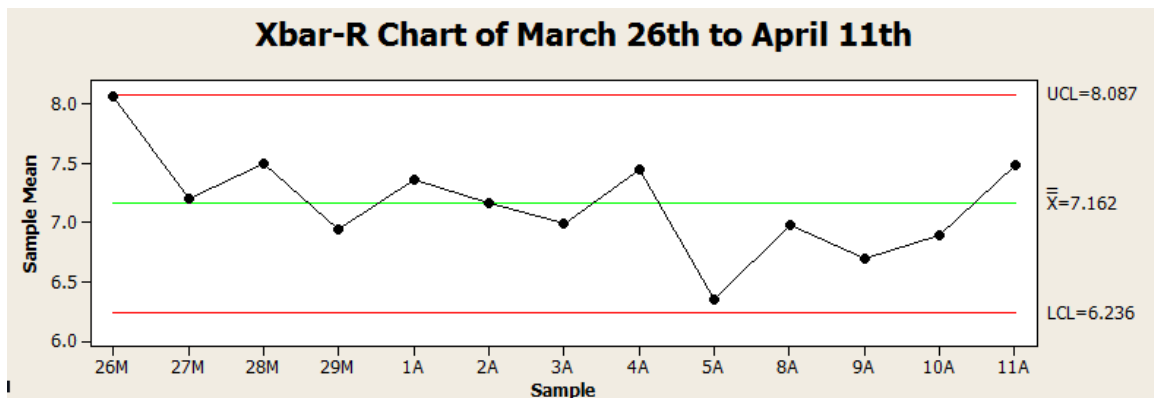


Fig. 48. Xbar-R del 26 de marzo al 11 de abril para determinar si el proceso está bajo control.

Cada muestra se encuentra bajo control estadístico con los límites $UCL = 8.087$ y $LCL = 6.23$ de acuerdo a la gráfica anterior.

En la figura 49, se observa el Histograma de los mismos datos de la gráfica anterior, el proceso se ha centrado y con una media de 7.16, a la vez que los datos están distribuidos dentro de los límites $USL = 16$ y $LSL = 0$. Siguiendo la figura, tenemos un Boxplot donde se visualiza de mejor manera en donde están mayormente concentrados los datos (entre 6 y 8 gr-mm) y cuales se alejan de la población. Por último se tiene el gráfico de puntos, este gráfico es parecido al Histograma solamente que nos muestra de manera detallada la cantidad de puntos (ventiladores) que están contenidos en cada medición.

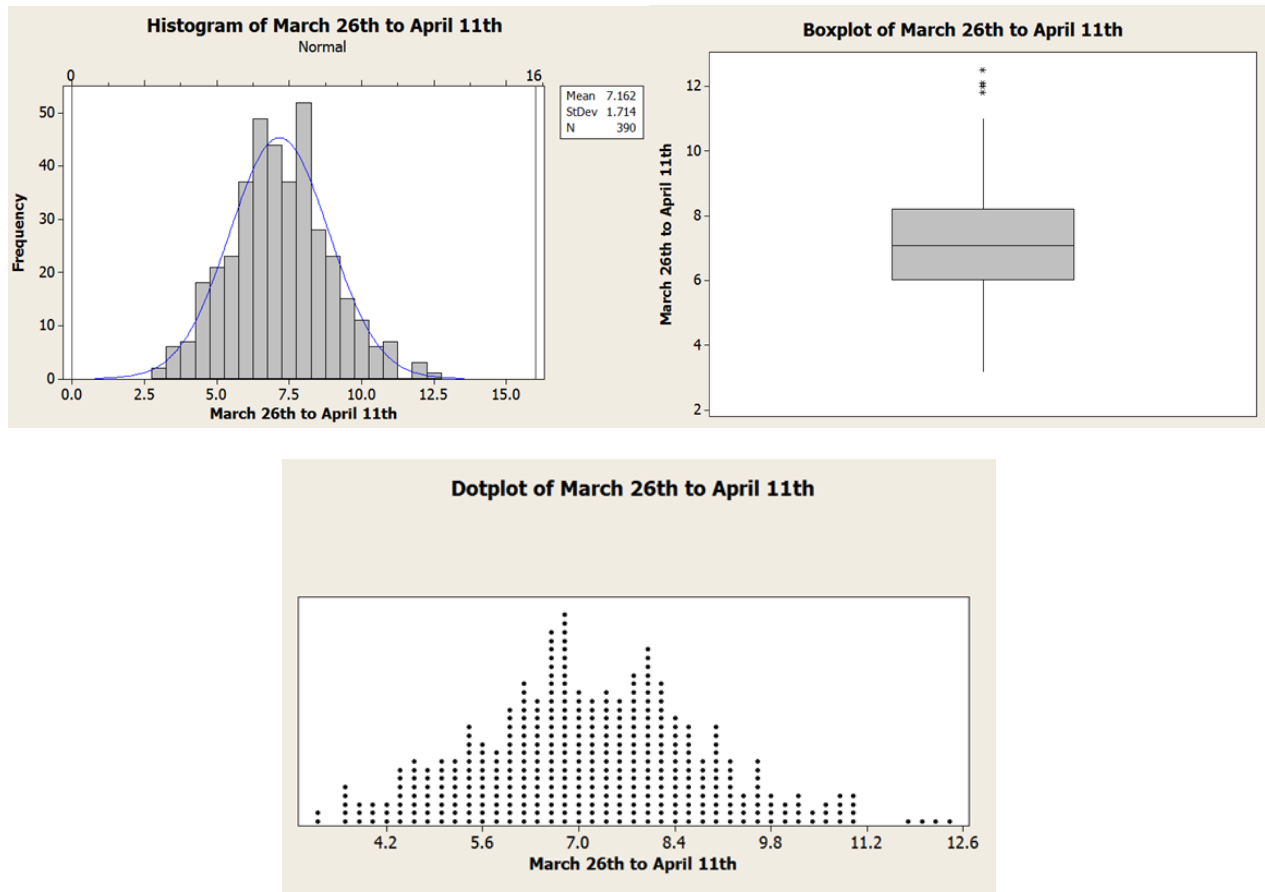


Fig. 49. Histograma, Boxplot y Dotplot de los datos del 26 de marzo al 11 de abril

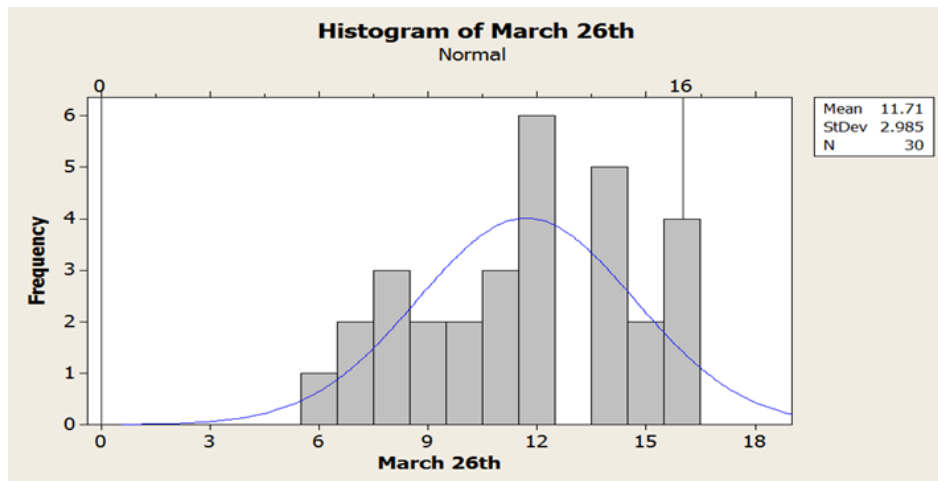


Fig. 50. Histograma del 26 de marzo

Como se observa en la figura 50, el proceso se ha movido en el día 26 ya que con una muestra de 30 ventiladores, existe una distribución más dispersa de tal manera que como estamos en la fase controlar se debe poner bajo estricto chequeo lo que se está realizando en los proceso y detectar alguna anomalía.

Llegando al día 11 de abril (ver figura 51), el proceso ha cambiado, ya que en base a supervisiones se logra volver a un proceso más esbelto con una media de 7.48 con la cual se puede concluir que para un periodo corto se puede llegar a perder lo obtenido si no se supervisa diariamente lo que está ocurriendo en piso con los operadores y los procesos de inyección.

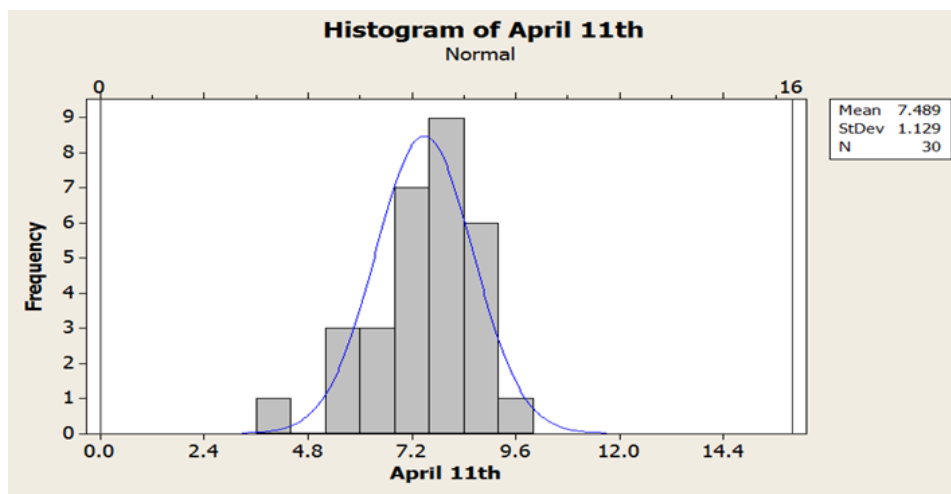


Fig. 51. Histograma del día 11 de abril

Aquí se muestran las últimas conclusiones de este proyecto y la muestra de que se pudo llegar a un objetivo aceptable al finalizar.

Se tiene la capacidad del proceso (ver figura 52) para una muestra de **390 partes**, se tiene una **media de 7.16** además el proceso se encuentra dentro de los límites de especificación superior e inferior (**LSL = 0 y USL = 16**) con un **Cp de 1.57** y obteniendo un **Cpk de 1.40**, el propósito de alcanzar un **Cpk de 1.66** no se alcanzó como tal, pero esto suele ocurrir cuando se toman muestras de diferentes días como fueron en este caso **30 partes de cada día**.

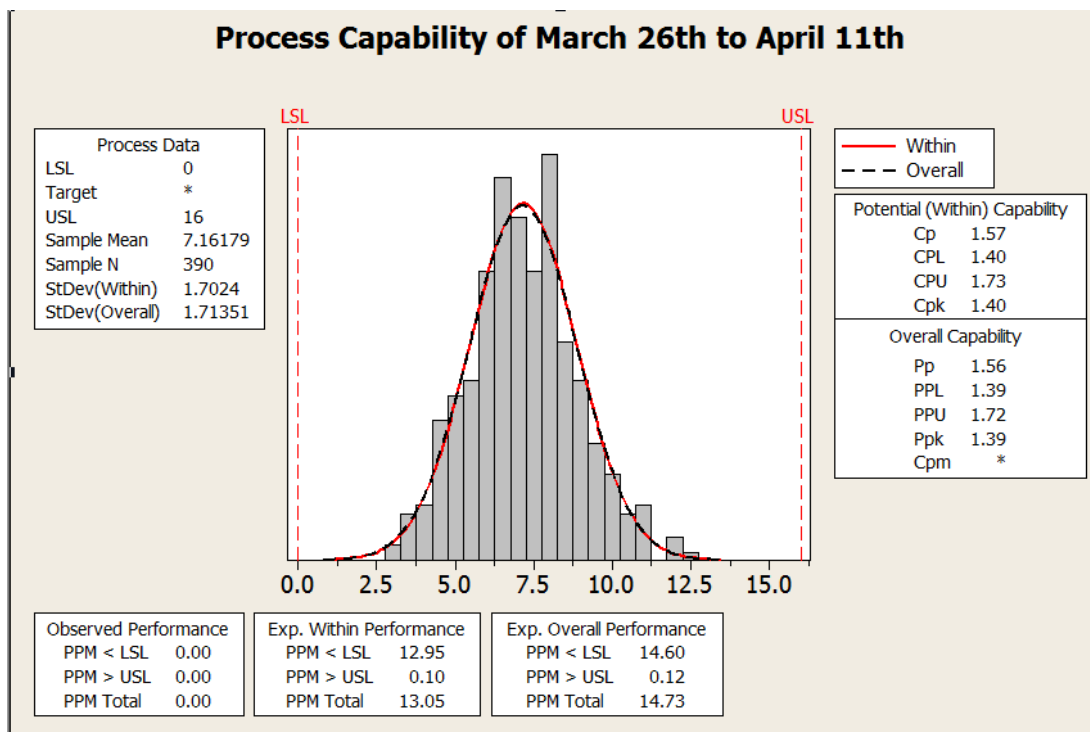


Fig. 52 Capacidad del proceso del 26 de Marzo al 11 de Abril

Para cerrar con esta fase y al mismo tiempo con este proyecto, se concluye los siguientes:

Cpk = 1.40, es un parámetro excelente ya que los objetivos manejados para el Cpk son superiores a 1.33 o 1.67 si está relacionado con seguridad.

LSL = 0 y USL = 16, se logró alcanzar que los datos estuvieran dentro de los límites que especifica el cliente para el segundo spin (utilizando la grapa permitida por el cliente).

CONCLUSIONES

CONCLUSIÓN TEORICA

Los proyectos de esta magnitud son manejados por expertos denominados Champions y su equipo de trabajo son conocedores de la metodología quienes son conocidos como Master Black Belt y/o Black Belt quienes son los que manejan al equipo y al cliente en las reuniones, son los que tienen mayor capacidad y experiencia para determinar que se va a hacer o cómo se puede atacar el problema, estas personas a su vez tienen un equipo que está conformado por los que llevan a cabo mediciones y análisis y están más metidos en piso asesorados por los Black Belt quienes son conocidos como Green Belt o Yellow Belt.

Como se puede ver, hay un gran grupo de conocedores de la metodología atacando el problema ya que el tiempo en la industria corre muy rápido y cada día que transcurre del proyecto, el auspiciador lo toma como perdida de dinero aunque al principio se le presenta cuanto va a tardar y el ahorro que tendrá aproximadamente.

Dicho proyecto como lo vimos a lo largo del caso, no solo está formado por los mencionados anteriormente, si no que se forma un equipo de los conocedores del proceso y que están en constante contacto con el producto o servicio que se va a mejorar. ¿Por qué conformar tu equipo con las personas que no conocen la metodología? Pues por el hecho de que ellos conocen el proceso, muchas veces un Black Belt o Green Belt no conoce acerca de lo que se produce o se hace en el lugar donde es requerido, el solamente sabe que hacer mediante la metodología pero del problema no, y es por eso que se tiene que apoyar de un equipo cuyos miembros si lo conocen y le pueden aportar información valiosa que el utilizara para entender a que se enfrenta y en base a esto manejar a su equipo de trabajo para llegar al objetivo que se plantearon.

CONCLUSIÓN PRÁCTICA

Una organización que está dispuesta a implementar la metodología en su organización, debe realizar grandes esfuerzos en capacitar a su personal los requerimientos de calidad. A lo largo de este proyecto se cambiaron de miembros de equipo ya que unos salían de la empresa y otros simplemente eran cambiados por uno con mayor conocimiento en el cliente y en la parte. De tal manera que el proyecto se fue atrasando, pero finalmente se logró tener de nuevo un control.

El problema principal se suponía desde antes de iniciar el proyecto, que era el molde que ya está en malas condiciones y muy viejo, de tal manera que antes que nada, ya se estaba viendo que los problemas de descompensación eran ocasionados por dicho molde. Se planeó cambiar el molde por uno nuevo pero el cliente no autorizó ya que el costo de este era demasiado y no estaban dispuestos a pagar un precio tan elevado por un problema que estaba en nuestra línea de producción.

Entonces en vista de que no se obtendría un nuevo molde, se dispuso a iniciar el proyecto, dándonos cuenta de que el molde no era el punto principal al cual deberíamos atacar. Esto deja una lección, ya que si el cliente hubiera autorizado la compra de un nuevo molde y el problema no se hubiera solucionado, se estaría en problemas ya que nuestro proceso es el que está mal, como lo comprobamos a lo largo del proyecto.

Como líder de proyecto se debe de tener una muy buena disciplina, ya que en un proyecto surgen varias respuestas que para muchas personas es alarmante y se pueden dirigir por el camino equivocado creyendo que es la solución, pero esa respuesta o ese problema puede ser consecuencia de algo más atrás que no se ha encontrado y que si no se logra seguir con el plan de la metodología podremos estar perdiendo el tiempo encontrando infinidad de variables y sin poder atacar el verdadero problema.

Este proyecto sirvió también en lo personal para desarrollo de las habilidades de manejo de estrés, manejo de juntas, disciplina, desarrollo de las habilidades necesarias en el personal responsable de procesos/áreas para asegurar el éxito del proyecto y sobre todo el obtener de un equipo lo mejor de ellos para llegar a cumplir los objetivos propuestos.

GLOSARIO

Desviación estándar: Mide cuanto se separan los datos de la media

Stock: Conjunto de productos, materiales, materia prima, etc. que se tienen almacenados para compensar la diferencia entre el consumo y la producción.

Kanban: Son un conjunto de formas de intercambiar información entre los diferentes operarios de una línea de producción, de una empresa o entre proveedor y cliente, ej. Etiquetas de producción mientras son fabricadas saber hacia dónde enviarse.

Poka Yoke: Técnica utilizada para evitar errores en la operación de un sistema, y solo tener una forma de hacer las cosas

Go No-Go: Instrumento utilizado para determinar si un producto pasa o no pasa la prueba de inspección.

Control estadístico de proceso: Son gráficos de control, que permiten usar criterios objetivos para distinguir variaciones en el proceso.

Histograma: Este gráfico sirve para la representación de distribuciones de frecuencias, se utiliza para variables continuas o discretas.

BIBLIOGRAFÍA

- Brow, S., & Morrison, G. (1991). *The Introduction to Six Sigma Methodology*. Trillas.
- Brue, & Greg. (2002). *Seis Sigma para Directivos*. McGraw-Hill.
- C. Montgomery, D. (1991). *Control Estadístico del Proceso*. Grupo Editorial Iberoamericana.
- J., J., & F., C. (1995). *Análisis y Planeación de la Calidad*. México: McGraw-Hill.
- L. George, M., Rowlands, D., Price, M., & Maxey, J. (2005). *The Lean Six Sigma Pocket ToolBook*. McGraw-Hill.
- Maya, H., Rodríguez, J., Rojas, J., & Zazueta, G. (1996). *Estrategias de Manufactura aplicando la metodología Six-Sigma*. Oceánica.
- Mikel, H., & Rochard, S. (2000). *Six Sigma The Breakthrough Management Strategy*. McGraw-Hill.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (n.d.). *The Six Sigma Handbook*. McGraw-Hill.
- Diplomado Lean Six Sigma. Universidad Iberoamericana Puebla. Año 2012