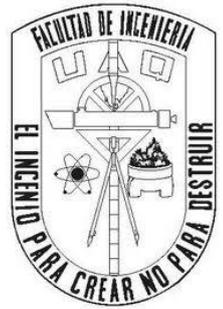




UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA



*MEDICIÓN DIMENSIONAL DE UN HEAD LAMP PARA EL ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES DE  
CAPACIDAD DEL PROCESO CP Y CPK COMO UNA HERRAMIENTA PARA EL MONITOREO  
DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO.*

**TESINA**  
PARA LA OBTENCIÓN DE GRADO:  
**INGENIERO EN AUTOMATIZACIÓN  
TERMINAL EN ELECTRÓNICA**

PRESENTA  
RICARDO SÁNCHEZ PÉREZ

ASESOR DE TESINA:

M. I. Martha Patricia Magaña Murguía

Santiago de Querétaro, Qro. A 23 de Julio de 2013

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.

## **Índice**

- 1. Capítulo 1 Introducción**
  - 1.1. Introducción.**
  - 1.2. Definiciones.**
  - 1.3. Descripción del problema.**
  - 1.4. Justificación.**
  - 1.5. Objetivo general**
  - 1.6. Objetivo particular.**
  - 1.7. Antecedentes.**
- 2. Capítulo Conceptos básicos de la medición de los índices de capacidad de proceso.**
  - 2.1. Capacidad.**
  - 2.2. Definiciones y términos de proceso.**
    - 2.2.1. Causas Comunes, Causas asignables y o especiales.**
  - 2.3. Proceso de medición para la predicción del comportamiento del proceso.**
  - 2.4. Condiciones para la medición de los índices de capacidad.**
    - 2.4.1. Fuera de control.**
    - 2.4.2. Gráficos de control.**
  - 2.5. Relación entre control estadístico del proceso y capacidad de proceso.**
  - 2.6. Beneficios de la estimación de los índices de capacidad.**
  - 2.7. Proceso para la medición de los índices de Capacidad  $C_p$  y  $C_{pk}$ .**
  - 2.8. Conceptos básicos de estadística.**
- 3. Capítulo 3.- Aplicación del  $C_p$  y  $C_{pk}$  para la validación de head lamp para sector automotriz (caso de estudio).**
  - 3.1. Selección problema.**
  - 3.2. Metodología.**
  - 3.3. Resultados.**
  - 3.4. Conclusiones**

**Título del trabajo:**

Medición dimensional de un Head Lamp para el análisis de los índices de capacidad del proceso Cp y Cpk como una herramienta para el monitoreo de la capacidad del proceso.

**Alumno:**

Ricardo Sánchez Pérez

**Directora de Tesina:**

M.I. Martha Patricia Magaña Murguía

**1. Capítulo 1 Introducción:**

**1.1. Introducción:**

Las exigencias de los clientes en la industria automotriz han llevado al análisis de datos que expliquen el comportamiento de un proceso en cuanto a capacidad y calidad de los mismos.

El 100% de la industria automotriz hoy está enfocado a buscar la satisfacción del cliente por lo cual es muy importante tener parámetros que nos expliquen si el proceso está dentro de especificación o simplemente, si el proceso va a ser capaz de producir dicho producto.

Como el enfoque es de satisfacción al cliente, en este caso debe asegurarse con datos y con una metodología, que el proceso será capaz de entregar productos de calidad y que determine mediante parámetros que nos hablen del comportamiento de este. Esto direccionado con algunas técnicas de evaluación de la capacidad y rendimiento del proceso con respecto a las especificaciones del producto.

En general para comenzar a evaluar un proceso es necesario que sea estable. Es decir que se encuentre bajo control estadístico. Sin embargo, enfoques razonables se han desarrollado para evaluar la capacidad de los procesos que presentan causas especiales de variación sistemática de estos, tales como desgaste de la herramienta (ver Spring, F. A. (1991)).

Si desea conocer cómo se encuentra un proceso necesitamos hacer un muestreo de piezas en las cuales se tomen mediciones de puntos importantes por lo cual se busca conocer los índices de capacidad del proceso Cp y Cpk, entonces si nuestro proceso

tiene una gran variabilidad y está fuera de especificaciones, tendremos que tomar una mayor cantidad de muestras, pero si nuestro proceso es tiene un  $C_{pk}$  suficiente nuestra cantidad de muestras disminuirá.

Por lo cual se debe revisar lo siguiente al proceso:

- ✓ Medición de nuestro proceso que se encuentren dentro de especificaciones del cliente o no.
- ✓ Búsqueda de posibles fallas dentro del proceso y encontrar soluciones a este problema y realizar acciones correctivas o modificaciones en un proceso.
- ✓ Planeación de las acciones permitidas en el proceso si las actividades dentro de este afectan sucesivamente.
- ✓ Reducir la variabilidad de los procesos de manufactura.

Lo anterior son acciones que pueden ser tomadas para conocer el proceso y que permite el conocimiento del mismo así como poder empezar a definir algunos términos de capacidad de proceso y la interpretación de estos índices.

La capacidad de un proceso está dada por las variaciones que vienen de causas comunes. En general representa el desempeño del proceso mismo. Esto es demostrado cuando el proceso comienza a operar en estado de control sin importar las especificaciones. En este sentido el proceso debe primero ser llevado a un estado de control y después por la detección de la variación de las causas especiales. Entonces el rendimiento es predecible y es posible que el cliente conozca las expectativas del producto.

## **1.2. Definiciones:**

Capacidad del Proceso: La capacidad de un proceso está dada por las variaciones que vienen de causas comunes. En general representa el desempeño del proceso mismo.

$C_p$ : Este es un índice de capacidad. Este compara la capacidad del proceso con la máxima variación permitida como es indicada por las tolerancias. Este índice contiene una medición de que tan bien los procesos podrán satisfacer los requerimientos de variación  $C_{pk}$ .

$C_{pk}$ : Este es un índice de capacidad. Este toma en cuenta la localización del proceso así como la capacidad en una cuenta.

Gage o Fixture: Es un componente usado para obtener mediciones. Frecuentemente usado para referencia de especificaciones de los productos.

BIAS:

- Diferencia entre el valor promedio observado de las mediciones y el valor de referencia.
- Un error sistemático componente de los sistemas de medición.

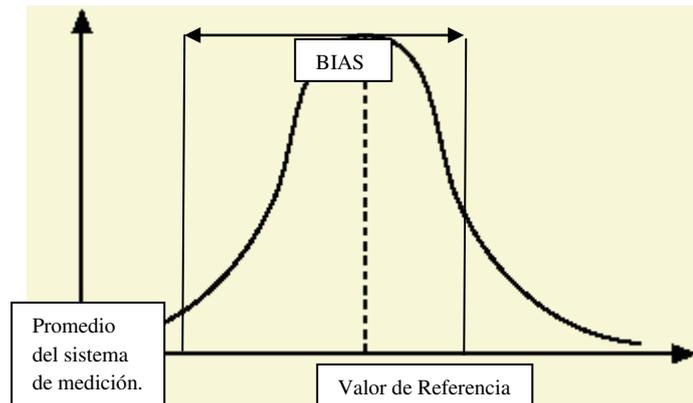


Figura 1.

Descripción de concepto de BIAS.

Flush y Gap:

Como se observa en la figura 2 el Flush (F) es la diferencia entre dos partes ensambladas en este caso la parte A y la parte B en cuanto al nivel, el Flush puede ser positivo o negativo esto depende de si queda desplazado hacia dos distancias sobre el limite.

Como se observa en la figura 2 el Gap (G) es la distancia existente entre la parte A y la parte B

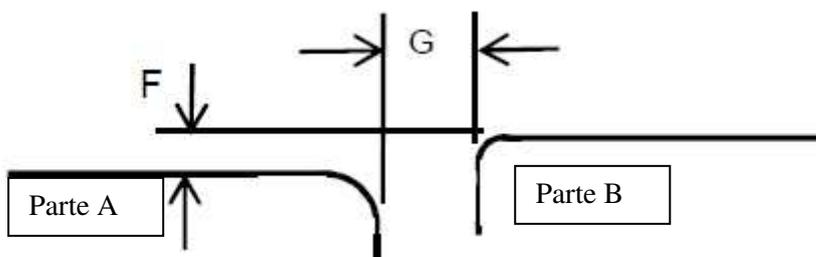


Figura 2. F (Flush) y G(Gap)

Medición: Es definida como la asignación de valores numéricos que representan una relación con los materiales a través de sus propiedades particulares. Esta definición fue dada por Eisenhart en 1983.

Sistema de medición: Es la introducción de instrumentos o Gages, estándares, operaciones, métodos, fixture, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o reparar una función de la evaluación de las características que se comienzan a medir. El proceso completo es la obtención de las mediciones.

Scrap: Producto no conforme.

### **1.3. Descripción del problema.**

Dentro de los procesos industriales del sector automotriz hoy en día el aseguramiento de la calidad de los productos es muy importante. Por lo cual, mediante el monitoreo del proceso, haciendo mediciones de parámetros que sean de alto impacto para la calidad del producto. Los principales son los índices de capacidad del proceso  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

Los parámetros de  $C_p$  y  $C_{pk}$  describen el comportamiento de un proceso mediante estudios estadísticos de distribución y la comparación de estos con las especificaciones del cliente.

En Valeo Sylvania Services los problemas dimensionales e incidentes con el cliente por los mismos son constantes ya que los Head Lamp no ensamblan perfectamente porque presentan algún hallazgo dimensional. Con el análisis de los índices de capacidad se busca encontrar la raíz del problema y ejercer acciones preventivas y correctivas sobre este.

Los principales hallazgos son:

Problemas en dimensionales de Flush y Gap.

### **1.4. Justificación:**

Con el desarrollo de esta tesina se explicara la importancia de la aplicación de los índices de capacidad  $C_p$  y  $C_{pk}$  como parte de las herramientas de calidad, en la

medición y análisis de la calidad de los procesos respecto de las especificaciones del cliente.

El análisis de los índices de capacidad del proceso puede variar en función de las características especiales de cada proceso y sus puntos a medir, pero no deja de ser importante que los clientes también soliciten el estudio de índices de capacidad.

La capacidad de un proceso está dada por las variaciones que vienen de causas comunes; ya que aunque un proceso esté bajo control no significa que se encuentre dentro de especificación, debido a que no se toman en cuenta los límites de especificación, por eso la importancia de hacer el estudio de la capacidad del proceso.

Este estudio permitirá tomar decisiones:

- ✓ En cuanto número de toma de muestras.
- ✓ Conocer si nuestro proceso se encuentra dentro de especificaciones del cliente.
- ✓ Buscar los principales problemas que provocan la No Calidad dimensional.

Las mediciones dimensionales de un Head Lamp son llevadas a cabo para tener un historial documentado del producto para cualquier incidente que llegue al cliente, y además tener una reacción rápida en la empresa donde se pueda validar exactamente cuál fue el error de esta, si no rechazar la no conformidad.

Estas mediciones colaboran a las mejores prácticas de calidad que son especificadas en el manual de calidad SPC (Statistical Process Control) de la empresa y que se requieren para la certificación ISO TS 16949. Así, estos son indicadores que le darán la evolución y el comportamiento del producto al cliente desde la etapa de diseño hasta la etapa de producción.

Por otro lado, se debe tener una planificación de la producción en cualquiera de las etapas ya que si no se lleva a cabo esta, al aparecer un problema de calidad en este caso dimensional, detectarlo desde etapas tempranas en el proceso de diseño así como en las etapas de aprobación, para que este producto no llegue a las líneas de ensamble y pueda llegar al cliente final y pueda ocasionar problemas mayores.

Existe la liberación de la primera pieza en las cuales se especifica que características deben ser aprobadas para comenzar a producir. En este caso todas las dimensiones

tienen que estar dentro del rango de tolerancias para asegurar que los productos que se comenzaran a producir o el lote de donde vienen esta dentro de especificación.

### **1.5. Objetivo General:**

- ✓ Medir y aplicar los índices Cp y Cpk como una herramienta de los sistemas de calidad en el dimensional de un Head Lamp y describir el método de medición.

### **1.6. Objetivo Particular:**

- ✓ Medir y aplicar el Cp y Cpk para dimensionales de un Head Lamp.
- ✓ Llevar a cabo la recopilación y análisis de los datos a medir y dar recomendaciones posibles, así como la describir la metodología a seguir en un sistema dimensional.

### **1.7. Antecedentes:**

El “Control Estadístico de Procesos” nació a finales de los años 20 en los Bell Laboratories. Su creador fue W. A. Shewhart, quien en su libro “Economic Control of Quality of Manufactured Products” (1931) marcó la pauta que seguirían otros discípulos distinguidos (Joseph Juran, W.E. Deming, etc.). Sobre este libro han pasado más de 70 años y sigue sorprendiendo por su frescura y actualidad. Resulta admirable el ingenio con el que plantea la resolución de problemas numéricos pese a las evidentes limitaciones de los medios de cálculo disponibles en su época.

Los ingenieros de Bell Telephone’s habían estado trabajando para mejorar la fiabilidad de sus sistemas de transmisión. Debido a que los amplificadores y otros equipos tenían que ser enterrados, había una necesidad comercial de reducir la frecuencia de las fallas y reparaciones. Cuando el Dr. Shewhart se unió a la Western Electric Company Inspection Engineering Department en Hawthorne Works en 1918, la calidad industrial estaba limitada a la inspección de productos terminados y la remoción de artículos defectuosos. Todo eso cambió el 16 de mayo de 1924. El jefe del Dr. Shewhart, George D Edwards, recuerda: "El Dr. Shewhart preparó un pequeño memorandum de sólo una página de longitud. Casi un tercio de la página lo ocupaba un sencillo diagrama que todos reconocemos hoy día como un diagrama de control esquemático. Ese diagrama, y el corto texto que lo precedía y lo seguía,

establece todos los principios esenciales y consideraciones encerrados en lo que hoy conocemos como Control Estadístico de Procesos.” El trabajo de Shewhart remarcaba la importancia de reducir la variación en un proceso de manufactura y entender que el continuo proceso de ajuste en reacción a no-conformidades en realidad incrementaba la variación y degradaba la calidad (*British Deming Association SPC 1992*).

Shewhart enmarcó el problema en términos de variación por Causas Normales o Aleatorias y Causas Especiales o Asignables e introdujo las gráficas de control como una herramienta para distinguir entre las dos. Shewhart enfatizaba que llevar un proceso de producción a un estado de control estadístico, donde solo hay variación por Causas Normales o Aleatorias, y mantenerlo controlado, es necesario para predecir el resultado futuro y administrar un proceso económicamente. Dr. Shewhart creó las bases para el gráfico de control y el concepto de un "Estado de control estadístico por medio de experimentos diseñados cuidadosamente". Aunque el Dr. Shewhart se basó en teorías estadísticas matemáticas puras, él entendió que los datos de un proceso físico nunca produce una "curva de distribución normal" (una distribución Gaussiana, conocida también como una "curva de campana"). Él descubrió que la variación observada en datos de manufactura no siempre se comportaba igual que los datos en la naturaleza (movimiento Browniano de partículas). El Dr. Shewhart concluyó que aunque todo proceso muestra variación, algunos procesos muestran variación controlada que es natural al proceso, mientras que otros muestran variación sin control que no está presente en el sistema causal de proceso todas las veces.

En 1931, Walter Shewhart publicó "Economic Control of Quality of Manufactured Products" (Control Económico de la Calidad de Productos Manufacturados), en el que se plantean los principios básicos del control de la calidad, sobre la base de métodos estadísticos, centrándose en el uso de Cuadros de Control. Convirtiéndose así en el padre del Control de Calidad Moderno (aunque algunos autores dan esta paternidad a Deming, debemos considerar que los estudios de Deming se basaron inicialmente en los de Shewhart).

Después del aporte de Shewhart, en 1941 y 1942 se aprobaron y publicaron los "Estándares Z" conocidos como los estándares de la Guerra, que enfocaban el uso de los Cuadros de Control para el análisis de datos y su aplicación durante la producción. Y

también en 1941 Leslie E. Simons publicó "Un Manual de Métodos Estadísticos para Ingenieros".

Estos tres aportes eran lo único con que se contaba en el campo del control de calidad durante los años cuarenta en el mundo occidental, donde hasta ese momento la calidad y el mejoramiento no tenían ninguna importancia para las empresas, sino hasta 1947, en que un grupo de empleados de Johns-Manville terminaron de rodar y editar un video llamado "Control de Calidad Moderno" con el objetivo de promover los aspectos básicos del control de calidad en su empresa entre los empleados e indirectamente a la gerencia: cuadros de control, histogramas, límites para gráficos de barras y cuadros R, así como muestreo. Fue tan exitoso, que trascendió a la empresa y fue utilizado en muchas otras durante décadas. Sin embargo, la concientización real sobre la importancia de la calidad no se asentó en occidente sino hasta los años 80.

Al Dr. W. Edwards Deming, el más conocido de los "primeros" precursores, se le acredita el haber popularizado en Japón el control de la calidad, en los albores de la década de los 50. Hoy se le aprecia como a un héroe nacional en este país y es el padre del mundialmente famoso Premio Deming a la Calidad. Se le admira sobre todo por la creación de un sistema de control estadístico, pero sus aportaciones van mucho más allá de sus técnicas. Su filosofía comienza con la alta gerencia, pero él sostiene que las compañías deben adoptar sus catorce puntos de su sistema en todos los niveles. Deming considera también que la calidad se debe incorporar al producto en todas las etapas, a fin de alcanzar un alto nivel de excelencia. Aun cuando no se puede decir que Deming haya sido el autor de la elevación de la calidad en Japón o en los Estados Unidos de América, él desempeñó un papel muy apreciable para dar visibilidad al proceso y para despertar la conciencia en torno a la necesidad de mejorar.

Deming define la calidad como cero defectos o menos variaciones, y se basa en el control estadístico del proceso como la técnica esencial para la resolución de problemas, con el fin de distinguir las causas sistémicas y las causas especiales. La búsqueda de la calidad se traduce en costos más bajos, mayor productividad y el éxito en el plano competitivo. Si bien es cierto que a fin de cuentas, quien elabora los productos de calidad es el trabajador, Deming hace más énfasis en el orgullo y la satisfacción de éste en la imposición de metas que sea posible medir. El enfoque general se centra en el

mejoramiento del proceso, considerando que la causa de las variaciones en el proceso radica en el sistema, más que en el trabajador.

Los catorce puntos universales postulados por Deming para la administración se resumen en esta forma:

- Crear en el propósito de mejora del producto y servicio, con el plan para hacer competitivos y permanecer en el campo de los negocios.
- Adoptar una nueva filosofía, eliminar los niveles comúnmente aceptado de demoras, errores, productos defectuosos.
- Suspender la dependencia de la inspección masiva, se requiere evidencia estadística de que el producto se hace con calidad.
- Eliminar la práctica de hacer negocio sobre la base del precio de venta, en vez de esto, mejore la calidad por medio del precio, es decir minimice el precio total.
- Buscar áreas de oportunidad de manera constante para que se puedan mejorar los sistemas de trabajo de manera permanente.
- Instituir métodos modernos de entrenamiento en el trabajo.
- Instituir una supervisión para que fomente el trabajo en equipo con el objeto de mejorar la calidad lo cual automáticamente mejore la productividad.
- Eliminar el temor, de modo que todos puedan trabajar efectivamente para una empresa.
- Romper barreras entre los departamentos. Debe existir comunicación entre todos los integrantes de la empresa, ya que todos tienen un objetivo común.
- Eliminar eslogan y metas enfocadas a implementar la productividad sin proveer métodos.
- Eliminar estándares de trabajo que prescriben cuotas numéricas ya que si la principal meta es la calidad, la calidad se va a ver afectada.
- Eliminar las barreras que se encuentran entre el trabajador y el derecho a sentirse orgulloso de su trabajo.
- Instituir un vigoroso programa de educación y entrenamiento que permita desarrollar nuevos conocimientos y habilidades para tener personal más calificado en beneficio de la empresa.

Crear una estructura en la alta dirección que impulse directamente los 13 puntos anteriores.

El Dr. Joseph M. Juran es el fundador del Instituto Juran de Wilton, Connecticut. Él preconiza un concepto conocido como Calidad del Proceso de Administración de Empresas, que es una técnica para la aplicación del mejoramiento de la calidad a través de todas las funciones. A la larga, la aportación de Juran puede ser mayor que la de Deming, porque aquél tiene un concepto más amplio que éste, aún cuando es cierto que el enfoque de Deming centrado en el control estadístico del proceso está más orientado hacia los aspectos técnicos.

Juran en sus conferencias, expuso las dimensiones administrativas de la planificación, la organización y el control, centrandó la atención en el logro de la calidad como una responsabilidad de la gerencia y en la necesidad de establecer metas. Juran define la calidad como la adecuación para el uso en términos de diseño, conformación, disponibilidad, seguridad y uso práctico. De este modo, en su concepto se incorpora más íntimamente el punto de vista del cliente. Él está dispuesto a medirlo todo y se basa en sistemas y técnicas para la resolución de problemas. A diferencia de Deming, Juran enfoca su atención en la administración vista de arriba hacia abajo y en métodos técnicos, antes que en el orgullo y la satisfacción del trabajador.

Los 10 pasos de Juran para mejorar la calidad son:

- Despertar la conciencia en torno a las oportunidades de mejorar.
- Establecer metas de mejoramiento.
- Organizarse para alcanzar esas metas.
- Impartir capacitación.
- Llevar a cabo proyectos para la resolución de problemas.
- Informar los progresos.
- Dar el debido reconocimiento a cada persona.
- Comunicar los resultados.
- Llevar un recuento del proceso.

Mantener el ímpetu haciendo que el mejoramiento manual sea parte integral de los sistemas y procesos habituales de la compañía.

Igual que Deming y Jurán, Armand Feigenbaum se hizo célebre a través de su trabajo con los japoneses. Sin embargo, a diferencia de sus colegas, éste aplicó un enfoque para el control de la calidad total que bien podría ser los precursores de la Gestión de la

Calidad Total (GCT) de hoy. Él promovió un sistema para integrar los esfuerzos de los diversos grupos que forman una organización y para orientarlos hacia la meta de adquirir, mantener y mejorar la calidad. Según Feigenbaum, el enfoque contrario consistiría en inspeccionar y controlar la calidad después de los hechos, en lugar de incorporarla al proceso en una etapa más temprana.

El enfoque hacia la calidad del sistema administrativo japonés ha madurado hasta convertirse en un nuevo modelo administrativo con una filosofía muy especial. Si, en los comienzos el control de calidad consistió en la aplicación de métodos estadísticos para mejorar el proceso de manufactura, actualmente es todo un sistema estratégico para ofrecer en forma competitiva bienes y servicios que satisfagan los requerimientos de los consumidores. La implementación de este sistema solo se hace con la cooperación de todos en la compañía, e incluye todas las funciones: las de marketing, las de investigación y desarrollo, las de manufactura y servicio al cliente: involucra, además, a todas las organizaciones relacionadas con la empresa: las que proveen la materia prima, las que distribuyen el producto y las que ofrecen el servicio de posventa. Este sistema administrativo se conoce como Company Wide Quality Control (CWQC).

La filosofía de Feigenbaum sirvió de base para este modelo administrativo japonés. Se considera que son cuatro los elementos principales de CWQC:

El involucramiento de todas las funciones (y no sólo de las de manufactura) en las actividades de la calidad (este primer elemento fue una idea tomada directamente de Feigenbaum).

La participación de los empleados en todas las actividades de la calidad; este segundo elemento es una modalidad típicamente japonesa, que se vincula con los círculos de control de calidad a través de una educación y entrenamiento masivos.

El propósito de mejorar continuamente; este tercer elemento es la filosofía del mejoramiento continuo, mejoramiento que produce resultados incalculables a largo plazo.

La atención cuidadosa de la definición de calidad desde el punto de vista del consumidor (este cuarto elemento los japoneses lo aprendieron de las primeras conferencias de Deming).

El doctor Kaoru Ishikawa, contribuyó en forma importante al desarrollo de la administración de la calidad en Japón, afirmó que la calidad es una filosofía revolucionaria de la administración que se caracteriza por las siguientes metas estratégicas:

Busca la calidad antes que las utilidades.

Desarrolla el infinito potencial de los empleados mediante la educación, la delegación y el respaldo positivo.

Crea una orientación hacia el consumidor a largo plazo, tanto fuera como dentro de la organización.

Comunica a través de la organización hechos y datos estadísticos y utiliza la medición como una motivación.

Desarrolla un sistema en toda la compañía que hace que todos los empleados centren su atención en las implicaciones relacionadas con la calidad de cada decisión y acción, en todas las etapas del desarrollo del producto o el servicio, desde su diseño hasta la venta.

El profesor Kaoru Ishikawa señalaba:

- El Control total de calidad es hacer lo que se debe hacer en todas las industrias.
- El control de calidad que no muestra resultados no es control de calidad.
- Hagamos un control total de calidad que traiga tantas ganancias que no sepamos qué hacer con ella.
- El control de calidad empieza con la educación y termina con la educación.
- Para aplicar el control total de calidad tenemos que ofrecer educación continua para todos desde el presidente hasta los obreros.
- El control total de calidad aprovecha lo mejor de cada persona.
- Cuando se aplica el control total de calidad, la falsedad desaparece de la empresa.
- El primer paso del control total de calidad es conocer los requisitos de los
- Consumidores.
- Proveer los posibles defectos y reclamos.
- El control total de calidad llega a su estado ideal cuando ya no requiere de inspección.

- Eliminase la causa básica y no los síntomas
- El control total de calidad es una actividad de grupo.
- Las actividades de círculos de calidad son partes del control total de calidad.
- El control total de calidad no es una droga milagrosa.
- Si no existe liderazgo desde arriba no se insiste en el Control Total de Calidad.

Philip Crosby, autor del popular libro *Quality is Free* (la calidad es gratuita) alcanzó tal vez más éxito comercial al promover sus opiniones y al fundar la Escuela Superior de la Calidad en Winter Park, Florida. Él sostiene que la mala calidad en la empresa término medio le cuesta a ésta casi el 20% de sus ingresos, y que esa merma se podría evitar casi en su totalidad con la adopción de buenas prácticas de calidad. Sus conceptos “absolutos” sobre la calidad son los siguientes:

- La calidad se define como el fiel cumplimiento de los requisitos y no como lo “bueno”.
- El sistema adecuado para lograr la calidad se basa en la prevención, no en la evaluación.
- La norma de desempeño consiste en reducir a cero los defectos y no sólo en lograr una “buena aproximación”.
- La medición de la calidad es el precio que se paga por las discrepancias en relación con los requisitos; y no un medio de obtener índices útiles.

Crosby hace énfasis en la motivación y la planificación, y no presta atención ni al control estadístico del proceso ni a las diversas técnicas que Deming y Juran proponen para la resolución de problemas. Él afirma que la calidad es gratuita porque el modesto costo de la prevención siempre será menor que los costos derivados de la detección, la corrección y el fracaso. A semejanza de Deming, Crosby plantea también sus catorce puntos para la buena administración:

- Compromiso de la gerencia.
- Equipo para el mejoramiento de la calidad.
- Medición de la calidad.
- Costo de la calidad.
- Conciencia de la calidad.
- Acción correctiva.

- Planificación para lograr la meta de cero defectos.
- Capacitación del supervisor.
- El día de cero defectos.
- Establecimiento de metas.
- Eliminación de las causas de error.
- Reconocimiento.
- Consejos de calidad.
- Hágalo todo otra vez.

Todos estos precursores han llegado a la conclusión de que la administración y el sistema son la causa de la mala calidad, no son los trabajadores. Estos autores y otros descubridores de nuevos derroteros han absorbido y sintetizado en gran parte sus ideas en forma recíproca, pero en términos generales pertenecen a dos escuelas de pensamiento: los que enfocan su atención en los procesos e instrumentos técnicos y los que se centran en las dimensiones administrativas.

Deming aporta métodos para que los fabricantes puedan medir las variaciones en el proceso de producción, con el propósito de determinar las causas de la mala calidad. Juran hace énfasis en la adopción de metas anuales específicas y en la formación de equipos que trabajen para alcanzarlas. Crosby insiste en un programa para reducir a cero los defectos. Feigenbaum nos enseña el control de la calidad total, encaminado a basar las actividades de dirección en métodos estadísticos y de ingeniería en todos los sectores de la compañía.

A pesar de las diferencias entre estos expertos, se percibe en todos ellos varios temas en común:

La inspección nunca es la solución para el mejoramiento de la calidad, ni tampoco lo es la actitud “policial”.

La participación y el liderazgo de la alta gerencia son esenciales para generar la tan necesaria cultura en la que todos se comprometen a lograr la calidad.

Un programa para elevar la calidad requiere el esfuerzo y un compromiso de largo plazo de toda la organización, además de la inversión necesaria para la capacitación.

La calidad es lo primero y los calendarios de trabajo son secundarios.

En 1988 Motorola alcanzó el prestigioso Malcom Baldrige National Quality Award. Una de las bases fundamentales de su estrategia de calidad era el “Programa 6σ”. El objetivo de este programa fue reducir la variación de los procesos de manera que el intervalo de tolerancia fuera igual a  $12\sigma_c$  ( $6\sigma_c$  a cada lado). De acuerdo con la definición del índice de capacidad de proceso ( $C_p = \frac{12\sigma}{6\sigma} = 2$ ).

### **Las siete caras del desperdicio y cómo eliminarlas:**

Todo empieza con el desperdicio. Aunque las empresas a menudo buscan mejoras incrementales en los pasos que agregan valor, los mayores ahorros se pueden encontrar atendiendo primero el desperdicio en sus procesos –entendiéndose como desperdicio todo aquello que los clientes no valoran–. La mayoría de los procesos presentan un desperdicio considerable, lo cual genera costes en muchas dimensiones.

Nuestra experiencia con clientes ha identificado los siete tipos de desperdicio más comunes. Unos tienden a ser muy visibles, mientras que otros pueden ser más difíciles de detectar, por lo que exigen un mapeo y un análisis de la cadena de valor para descubrirlos:

- **Transporte:** las entradas, las salidas o los movimientos intermedios que implica un proceso. El desperdicio en el transporte en general se produce por el diseño y la disposición de las instalaciones, pero también puede provenir de la falta de fluidez entre distintos pasos de los procesos. Una solicitud interna que debe ir de departamento en departamento y de individuo en individuo se puede perder durante días en el laberinto de cubículos y edificios, con el consiguiente coste en tiempo y capital. El Lean Six Sigma elimina esas transferencias de desperdicio por medio del rediseño de procesos hacia disposiciones celulares y flujos racionalizados que reducen el tamaño de los lotes.
- **Inventario:** una mala sincronización en toda la cadena de suministro, que muchas veces da como resultado un desequilibrio entre la demanda y la oferta. La falta de sincronización proviene de la mala comprensión de las necesidades de los clientes, de la previsión irracional y de los intentos de gestionar el control de producción con software ERP, entre otras causas. Los «productos parciales» aparecen incluso en procesos transaccionales, como una respuesta lenta a ventas extraordinarias. Solo un

conocimiento profundo de las fuentes de variabilidad en una cadena de suministro puede llevar al equilibrio óptimo de los inventarios.

- **Movimiento:** es decir, el movimiento ineficiente de personas. Si sigue diariamente a un trabajador, probablemente verá que cada vez sigue un camino diferente, lleno de búsquedas inútiles, posturas corporales extrañas e incomodidad. Solo el síndrome del túnel carpiano hizo que una generación de mecanógrafos y operarios de fábricas sufrieran dolores, pérdidas de tiempo y menos productividad, hasta el punto de necesitar caras operaciones quirúrgicas. El Lean Six Sigma va en la dirección opuesta, con flujos celulares que incluyen rutas establecidas para el desplazamiento, procedimientos operativos optimizados y un diseño ergonómico del entorno de trabajo.

- **Esperas:** implican costes, que se acumulan con cada interrupción del proceso. El proceso de solicitud de una hipoteca normalmente pasa el 99 % del tiempo encima de diferentes escritorios. El Lean Six Sigma puede identificar los pasos susceptibles de generar restricciones a través del mapa de valor y la comparación de las capacidades del proceso con la demanda de los clientes.

- **Sobreproducción:** es decir, fabricar y almacenar más productos y materias primas de los necesarios. En los procesos transaccionales, la sobreproducción puede pasar desapercibida mientras aumenta de manera significativa los gastos indirectos, con partidas como gastos de envío, órdenes especiales que fracasan a la hora de aprovechar las economías de escala y pagos adelantados. Por ejemplo, los directivos de una empresa pagaban 350 dólares por consulta a un bufete de abogados externo; un análisis Lean Six Sigma demostró que, para la mayoría de las consultas, los abogados de la empresa tenían soluciones estándar que prácticamente no suponían ningún coste.

- **Sobrepcesamiento:** es decir, proporcionar más de lo que el cliente quiere o de lo que está dispuesto a pagar. Para evitar el sobrepcesamiento, es necesario comprender las necesidades del cliente en todo el ciclo de valor, desde el diseño hasta la producción y la entrega. Si es posible, hay que enfocarse en el diseño original y en los departamentos de I+D con el fin de incorporar calidad y facilidad de fabricación, además de gastar menos recursos en la etapa de desarrollo.

- **Defectos:** se trata de errores en productos destinados a los clientes. Ya que usted paga por fabricar defectos, no solo por arreglarlos, debe enfocarse en áreas de desperdicio de

alto coste, rediseñar y reparar en lugar de intentar aumentar la calidad de los pasos del proceso que ya aportan valor. Por ejemplo, el centro de venta telefónica de una empresa implementó un proyecto de Lean Six Sigma con el fin de aumentar las ventas y reducir los costes. La dirección pensaba que las ventas dependían de los años de experiencia del vendedor y de la cantidad de tiempo que dedicaba a cada cliente. Una prueba estadística demostró que esta percepción no era correcta: los factores más importantes para el aumento de las ventas fueron los guiones de venta de los operadores, así como el uso de una estrategia de precios flexible.

La mejor estrategia para atender los siete tipos de desperdicio es centrarse en un proceso en lugar de hacerlo en las máquinas, los recuentos o las cuentas del balance. Los profesionales terminan acostumbrándose tanto al esfuerzo que deben hacer para completar sus tareas que ya no son capaces de ver el desperdicio. En la mayoría de los casos, solo un proyecto de Lean Six Sigma permite que las personas sean conscientes del proceso de principio a fin y que después asuman la responsabilidad de toda la cadena de valor.

## **2. Capítulo 2.- Conceptos básicos de la medición de los índices de capacidad de proceso.**

### **2.1. Capacidad:**

La salida de un proceso estable puede ser descrita por una distribución estadística. El proceso debe ser estable, es decir debe estar bajo control, además esto puede ser usado para predecir estados futuros. Una distribución se describirá en términos de características estadísticas, estas son calculadas por la toma de muestras y sus mediciones. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

La estadística es frecuentemente estimada por la localización y distribución relativa de los requerimientos del cliente. Usualmente, la dispersión de las muestras es estimada usando el rango de las muestras o la desviación estándar. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

El proceso de centralizado y la dispersión de los datos interactúa con la producción de un producto aceptable. Conforme la distribución se mueve hacia el centro, permite llevar las variaciones del proceso a un menor nivel (dispersión). *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Un cambio en la localización del proceso, un incremento en la dispersión de del mismo o la combinación de estos factores puede producir partes fuera de los límites de especificación.

Un proceso con una distribución tal no debe ser calificada hasta no conocer adecuadamente los requerimientos del cliente.

En general es necesario para poder comenzar a evaluar un proceso en cuanto a capacidad este debe ser estable, (es decir en control estadístico).

Por otro lado, un proceso fuera de control se asocia a índices de capacidad pequeños. Sin embargo, los enfoques han sido desarrollados para evaluar la capacidad del proceso exhibiendo las causas especiales del proceso de variación. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

En adición, es generalmente asumido que las lecturas individuales del proceso a analizar tiene una distribución aproximadamente normal:

- ✓ Índice de proceso únicamente de variación, relativo a las especificaciones,  $C_p$  y  $P_p$ .

Índices de capacidad que miden si un proceso puede cumplir con las especificaciones, al calcular una relación entre la dispersión de la especificación y la dispersión del proceso. En general, mientras mayores sean sus valores de  $C_p$  y  $P_p$ , más capacidad tendrá su proceso. Para calcular los valores de  $C_p$  y  $P_p$ , debe conocer los límites de especificación superior e inferior.

Los índices de  $C_p$  reconocen el hecho de que sus muestras representan subgrupos racionales, lo que indica cómo se comportaría el proceso si se pudieran eliminar los cambios rápidos y graduales entre subgrupos. Por lo tanto, calcula la dispersión del proceso utilizando la variación dentro del subgrupo.

$P_p$  por su parte, ignora los subgrupos y considera la variación general de todo el proceso. Esta variación general explica los cambios rápidos y graduales que pueden ocurrir entre subgrupos y, por lo tanto, es útil al medir la capacidad en el tiempo. Si su valor de  $P_p$  difiere considerablemente de su valor de  $C_p$ , puede concluir que existe una variación significativa de un subgrupo a otro.

Compare sus valores de  $C_p$  y  $P_p$ , con los valores de referencia para determinar si debe mejorar su proceso; muchas industrias utilizan valores de referencia de 1.33. Si los valores de su índice son menores que el valor de referencia, debe tomar acciones para mejorar su proceso.

Por ejemplo, un fabricante de mantequilla utiliza una máquina automática de llenado para fabricar envases de mantequilla de 500 gm. El gerente desea asegurar que el proceso de llenado cumpla con las especificaciones de 498 gm a 502 gm de mantequilla en cada envase. Para evaluar la capacidad de este proceso, el gerente recolecta y pesa al azar cinco contenedores por día durante 20 días: la recolección de cada día es un subgrupo para este análisis. Una inspección adicional revela una fuga en la máquina; de esta manera, el gerente resuelve el problema y recolecta otros 20 subgrupos de 5 contenedores después de la mejora del proceso.

Una desventaja de los índices de  $C_p$  y  $P_p$  es que comparan sólo la dispersión del proceso con la dispersión de la especificación, pero no sus ubicaciones. En otras palabras, no describen cuánto se aleja el proceso de la región objetivo. Por ejemplo, ambos procesos siguientes tienen los mismos valores de  $C_p$  y  $P_p$ , aunque uno no puede cumplir con las especificaciones. Para evitar errores, utilice gráficas en combinación con otros índices de capacidad (tales como  $C_{pk}$  y  $P_{pk}$ , etc.) para sacar conclusiones significativas a partir de sus datos.

- ✓ Índice de variación y centralidad combinado, relativos a las especificaciones,  $C_{pk}$  y  $P_{pk}$ .

Medidas de capacidad del proceso potencial que se calculan con los datos de los subgrupos incluidos en el estudio. Miden la distancia entre el promedio del proceso y los límites de especificación, comparado con la dispersión del proceso:

- LSL mide la distancia entre la media del proceso y el límite de especificación inferior
- USL mide la distancia entre la media del proceso y el límite de especificación superior
- $C_{pk}$  es igual al valor más bajo entre USL y LSL.

Si  $C_{pk}$ , USL y USL son iguales, el proceso se centra en el punto medio exacto de los límites de especificación. Compare sus valores con los valores de referencia para determinar si debe mejorar su proceso; muchas industrias utilizan valores de referencia de 1.33.

Una desventaja del índice  $C_{pk}$  es que sólo representa un lado de la curva del proceso y no dice nada sobre el otro extremo. Por ejemplo, las dos gráficas siguientes muestran procesos con valores  $C_{pk}$  idénticos. Sin embargo, una viola ambos límites de especificación y la otra viola el límite de especificación inferior. Para evitar errores, considere todos los índices junto con un resumen gráfico para sacar conclusiones significativas.

Finalmente estos índices describirán las condiciones y suposiciones asociadas con el proceso de medición y concluyendo con una sugerencia de cómo esas mediciones pueden ser aplicadas hacia la mejora del entendimiento del proceso y la mejora continua del mismo.

## ***2.2. Definiciones y términos de proceso:***

Capacidad del proceso: es determinada por las variaciones que vienen de las causas comunes, generalmente representa el mejor rendimiento del proceso. Esto es demostrado cuando el proceso comienza a trabajar bajo control estadístico sin tomar en cuenta las especificaciones.

Capacidad del proceso: Como consecuencia de todo lo anterior, si un proceso normal está en control estadístico, la característica de calidad del 99,73% de los elementos fabricados estará comprendida entre  $\bar{R}-3\sigma_c$  y  $\bar{R}+3\sigma_c$ . El parámetro  $\bar{X}$  depende del punto en el que centremos el proceso. Sin embargo  $\sigma_c$  depende del número y variabilidad de las causas comunes del proceso y por lo tanto es intrínseca a él. Por lo tanto  $6\sigma_c$  es la Variabilidad Natural del Proceso.

Donde:

$\bar{R}$  (Es la media de un subgrupo de rangos).

$\sigma_c$  (Estimación de la desviación estándar).

$\bar{X}$  (Media del grupo de datos).

Es esencial resaltar que la variabilidad natural del proceso,  $6\sigma_c$ , es intrínseca a él e independiente de las tolerancias que se asignen. Por lo tanto, si  $6\sigma_c$  es menor que el intervalo de las tolerancias a cumplir, necesariamente algunos productos fabricados estarán fuera de tolerancia y serán no conformes. Si no se tiene en cuenta este hecho y se pretende corregir a base de reajustar el proceso, es decir modificar el centrado, lo único que se consigue es aumentar la variabilidad del mismo.

- ✓ Proceso inherente de variación: La porción de la variación del proceso debida a las causas comunes.
- ✓ Variación de subgrupo  $\sigma_c$ : Esta variación es debida únicamente dentro de los subgrupos. Si el proceso está bajo control estadístico esta variación es una buena estimación de la variación inherente del proceso.

También puede ser estimado del control de Charts por lo siguiente  $\bar{R}/d_2$  o  $\bar{s}/c_4$ .

$d_2$  (Es una constante variable conforme al tamaño de muestras).

- ✓ Capacidad del proceso: El rango de  $6\sigma$  de la variación inherente del proceso, para procesos bajo control estadístico únicamente donde  $\sigma$  es usualmente estimada por  $\bar{R}/d_2$  o  $\bar{s}/c_4$ .
- ✓ Rendimiento del proceso: El rango de  $6\sigma$  de la variación inherente del proceso, usualmente estimada por el total de la desviación estándar del proceso.

Si el proceso se encuentra en control estadístico la capacidad del proceso será muy cercana al rendimiento del proceso. Una gran diferencia entre la capacidad y el rendimiento en  $\sigma$  indica la presencia de causas especiales.

### **2.2.1. Causas Comunes, Causas asignables y o especiales**

Causas Comunes se refieren a las fuentes de variación que actúan constantemente sobre el proceso. Causas comunes con un proceso de fabricación estable y con una distribución repetitiva sobre el tiempo. Esto es llamado “un estado de control estadístico”, “en control estadístico”, o en muchas veces en control. El campo de las causas comunes es un sistema estable de causas fortuitas. Si las causas comunes de variación están presentes y no cambian, la salida de un proceso es predecible.

Causas Especiales se refieren a algunos factores causantes de variación que afectan algunas salidas del proceso. Estos son a medida intermitentes e impredecibles. Las causas especiales o asignables son señaladas por uno o más puntos más allá de los límites de control o patrones sin aleatoriedad de puntos dentro de control. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Por definición, se dice que un proceso está bajo control estadístico cuando no hay causas asignables presentes. El Control Estadístico de Procesos se basa en analizar la información aportada por el proceso para detectar la presencia de causas asignables y habitualmente se realiza mediante una construcción gráfica denominada Gráfico de Control. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Si el proceso se encuentra bajo control estadístico es posible realizar una predicción del intervalo en el que se encontrarán las características de la pieza fabricada.

### ***2.3. Proceso de medición para predicción de comportamiento del proceso:***

Los índices se describirán, serán únicamente validos cuando el proceso se encuentre bajo control.

$C_p$ : Este es un índice de capacidad. Este compara la capacidad del proceso con la máxima variación permitida como es indicada por las tolerancias. Este índice contiene una medición de que tan bien los procesos podrán satisfacer los requerimientos de variación (ver ecuación 1). *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL-LSL}{6\left(\frac{\bar{R}}{d_2}\right)} \quad (1)$$

USL: Límite superior de especificación.

LSL: Límite inferior de especificación.

$C_p$  No es impactado por la localización del proceso, este puede ser calculado por dos límites.

$C_{pk}$ : Este es un índice de capacidad. Este toma en cuenta la localización del proceso así como la capacidad en una cuenta. Para la bilateral tolerancia  $C_{pk}$  deberá ser siempre menor o igual que el  $C_p$ .

$$C_{pk} \leq C_p$$

El  $C_{pk}$  será igual al  $C_p$  únicamente si el proceso está centrado.

Como se muestra en la figura 3 la relación entre el  $C_{pk}$  y el  $C_p$  considerando un proceso controlado con un centro de 100 y una desviación estándar de 2 el  $C_p$  se mantiene constante mientras que el  $C_{pk}$  va disminuyendo conforme la media se va alejando del centro de los límites, esto es porque el  $C_{pk}$  toma en cuenta la centralización del proceso mientras que el  $C_p$  no. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

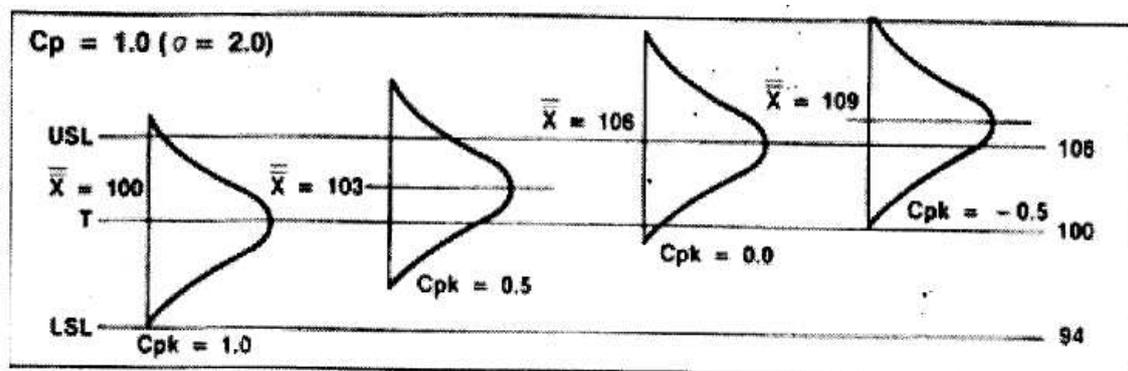


Figura 3  $C_p$  Constante y variación del  $C_{pk}$

En la figura 3 se observa un  $C_p$  constante independientemente de la posición de los datos conforme a los límites de especificación. Además se observa como el  $C_{pk}$  si se encuentra disminuyendo conforme al desplazamiento de los datos del centro de la especificación.

$C_{pk}$  Es calculado por el mínimo de CPU (ecuación 2) o CPL (ecuación 3).

$$CPU = \frac{USL - \bar{X}}{3\sigma_c} = \frac{USL - \bar{X}}{3(\bar{R}/d_2)} \quad (2)$$

$$CPL = \frac{\bar{X} - LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{X} - LSL}{3(\bar{R}/d_2)} \quad (3)$$

El  $C_{pk}$  y el  $C_p$  deben ser evaluados y analizados siempre juntos.

Un valor de  $C_p$  significativamente grande corresponde a una gran oportunidad para la centralización del  $C_{pk}$ .

Estos índices pueden ser utilizados para:

- ✓ Medir continuamente la mejora usando tendencias sobre el tiempo,
- ✓ Ordenar en base a prioridad que parte del proceso deberá de mejorar.

La habilidad de fabricar productos o proveer servicios que satisfagan las especificaciones definidas por las necesidades del cliente. Por ejemplo, un fabricante de fotocopiadoras requiere que el ancho de un rodillo de caucho esté entre 32.523 cm y 32.527 cm para evitar atascos de papel. Un análisis de capacidad revela el grado en que el proceso de fabricación satisface estas especificaciones y ofrece una visión sobre cómo mejorar el proceso y mantener sus mejoras.

Antes de evaluar la capacidad del proceso, usted debe asegurarse de que su proceso sea estable. Un proceso inestable es impredecible. Si su proceso es estable, usted puede predecir el rendimiento futuro y mejorar la capacidad del mismo.

La capacidad de un proceso se debe medir y analizar constantemente. El análisis de capacidad puede ayudar a responder las siguientes preguntas:

- ¿Cumple el proceso con las especificaciones del cliente?
- ¿Cómo funcionará el proceso en el futuro?
- ¿Se necesitan mejoras en el proceso?
- ¿Ha mantenido usted estas mejoras o ha regresado el proceso a su estado anterior a las mejoras?

Analice la capacidad del proceso con índices de capacidad tales como  $C_{pk}$ ,  $P_{pk}$ ,  $C_p$  y  $P_p$ .

#### 2.4. Condiciones para la medición de los índices de capacidad.

El índice de capacidad,  $C_p$  y  $C_{pk}$  es usado para determinar si o no un proceso es capaz de cumplir con los requerimientos del cliente, es decir a largo plazo.

Las siguientes tres condiciones son lo mínimo que debe ser satisfecho para todas las mediciones de capacidad.

El proceso del cual vienen los datos debe venir de un proceso estadísticamente estable, eso es, que las normales SPC (Estadistical Process Control) reglas no sean violadas.

Todos los procesos son clasificados en base a la capacidad y control como se muestra a continuación en la figura 4.

		<b>Control Estadístico</b>	
<i>Capacidad</i>	<b>Aceptable</b>	<i>Caso 1</i>	<i>Caso 2</i>
	<b>No aceptable</b>	<i>Caso 3</i>	<i>Caso 4</i>

Figura 4

*Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG*

Para ser aceptable el proceso debe estar en estado de control y capacidad es decir solo en el caso 1 y 2 de la figura 4, ya que las causas comunes de la variación deben ser menores que la tolerancia como se muestra en las siguientes distribuciones normales que muestra un proceso capaz.

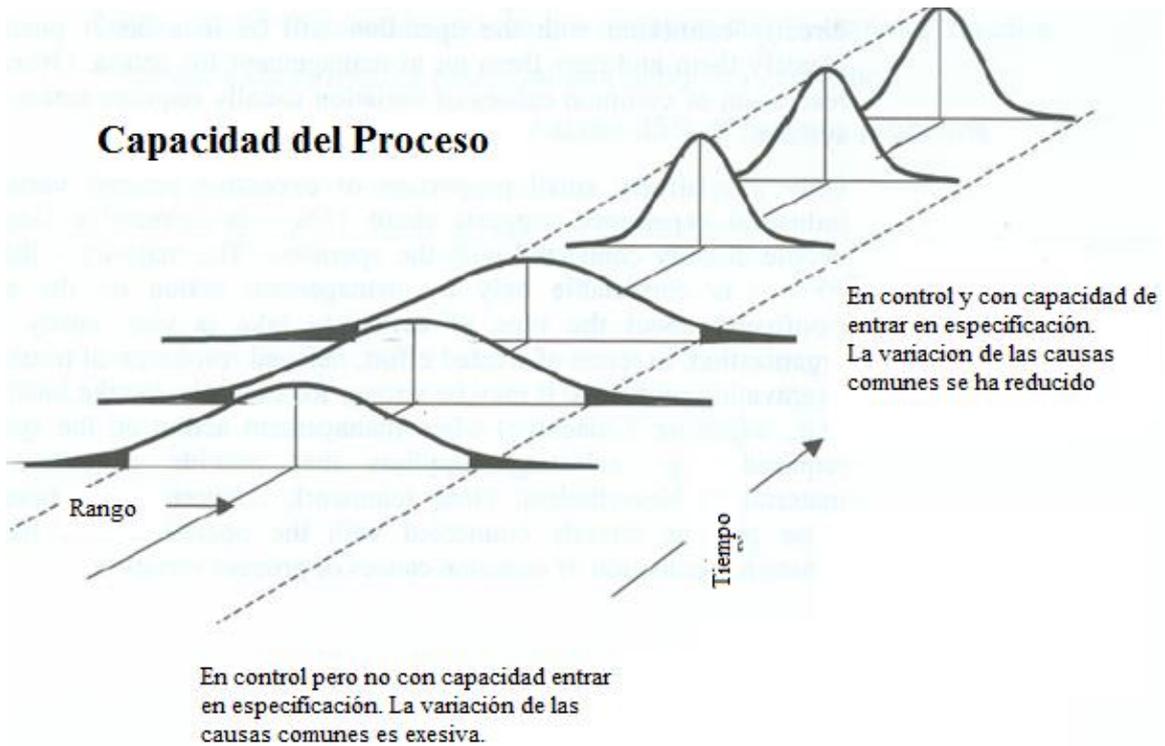


Figura 5.

*Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG*

- ✓ Las mediciones individuales del proceso deben tener una distribución normal aproximada, como se muestra en la figura 3.
- ✓ Las especificaciones son basadas en los requerimientos del cliente.

Comúnmente, el índice de  $C_{pk}$  son directamente relacionados entre cada índice y los parámetros del proceso de la porción de no conformidades o (PPM).

Asumiendo que  $C_p > 1$ , la relación del índice de capacidad está dada por:

$$\text{Proporción de las no conformidades} = 1 - \int_{-\infty}^{Z_c} e^{-\left(\frac{x}{2}\right)^2} dx$$

Donde  $Z_c = 3C_{pk}$

Y  $C_{pk} = \text{minimo de}\{CPU \text{ y } CPL\}$ .

Para poder hacer el estudio de los índices de capacidad primero que nada debemos tener un número suficiente de muestras capturados, es recomendable que al menos 125 valores individuales usados en subgrupos de 5, otro subgrupo puede ser apropiado para otra aplicación pero el tamaño total de muestras debe ser de al menos 125.

#### ***2.4.1. Fuera de Control.***

La presencia de uno o más puntos más allá de cualquiera de los límites de control es una evidencia primaria de una variación por causa especial en ese punto. Esta causa especial podría haberse efectuado antes de este punto. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Desde los puntos más allá de los límites de control es raro si única fuente de variación son causas comunes que siempre están presentes, la presunción es que es una causa especial ha representado el valor extremo. Por lo tanto, cualquier punto más allá de un límite de control es una señal de libertad de información, el análisis de la operación por la causa especial. Marque los puntos de datos que están más allá de los límites de control para investigación y medidas correctivas en función del momento en el que la causa especial en realidad comenzó. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Un punto fuera de un límite de control es generalmente un signo de uno o más de las siguientes razones:

- El límite de control o los puntos graficados son erróneos.
- La variabilidad pieza a pieza o la propagación de la distribución ha aumentado (es decir, empeorado), ya sea en ese punto en el tiempo o como parte de una tendencia.
- El sistema de medición se ha cambiado (por ejemplo, un tasador o diferente instrumento).
- El sistema de medición carece de discriminación apropiada.

Los gráficos que se ocupan de la difusión, un punto por debajo del límite de control menor es generalmente un signo de uno o más de los siguientes:

- El punto del límite de control o subgrupo está en un error.

- La distribución de la dispersión se ha reducido (ha mejorado).
- El sistema de medición ha cambiado (incluye posibles alteraciones de los datos).

Un punto más allá de cualquier límite de control es generalmente una señal de que el proceso se ha desplazado ya sea en que un punto o como parte de una tendencia. Cuando los márgenes están bajo control estadístico, variación dentro del subgrupo es considerado como estable. Los promedios pueden entonces ser analizados para ver si la ubicación de proceso se cambia con el tiempo. Desde los límites de control para  $\bar{X}$  se basan en la cantidad de variación en el oscilan los rangos entonces, si los promedios están en control estadístico, su variación es en relación con la cantidad de variación visto en los rangos de - la causa común de la variación del sistema. Si los promedios no se encuentran bajo control, alguna causa especial está haciendo que el proceso este fuera de control. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

#### ***2.4.2. Gráficos de Control.***

Grafica sus datos del proceso en una secuencia ordenada por tiempo para ayudar a identificar la variación de causa común y de causa especial. Al identificar las diferentes causas de variación, usted puede tomar acciones sobre su proceso sin controlarlo en exceso. Por ejemplo, su centro de llamadas tiene variabilidad en el tiempo de espera promedio. Esta variabilidad es en parte esperada y es característica del proceso (causa común). Otras veces, la variabilidad es diferente de la que se espera debido a alguna influencia que no forma parte del proceso normal (causa especial).

Aunque existe una variedad de diferentes gráficas que usted pueden elegir dependiendo de sus datos, todas las gráficas de control comparten los mismos componentes básicos:

- Región de variación esperada - área entre los límites de control inferior y superior. Es donde se espera que su proceso se ejecute a menos que ocurra un cambio. También se conoce como variación de causa común.
- Región de variación inesperada - área fuera de los límites de control. También se conoce como variación de causa especial. Esta variabilidad se debe investigar y corregir.

Supongamos que un proceso se encuentra bajo control estadístico y por lo tanto su distribución es  $N(\bar{x}, \sigma)$ . Si se extrae una muestra de tamaño  $n$  y su media muestral se encuentra comprendida fuera del intervalo comprendido entre  $\bar{x} - 3 \sigma / n$  y  $\bar{x} + 3 \sigma / n$  (llamados límites de control inferior y superior respectivamente),

Donde:

$\bar{x}$  = Media de los datos.

$\sigma$  = Es la desviación estándar.

El Control Estadístico de Procesos se basa en repetir esta toma de muestras de manera periódica, calcular la media muestral y representar un gráfico de una manera similar a la Figura 6 de modo que si la media cae fuera de los límites de control existe la evidencia de que hay una causa asignable presente (proceso fuera de control). A este gráfico se le denomina Gráfico de Medias o simplemente Gráfico X.

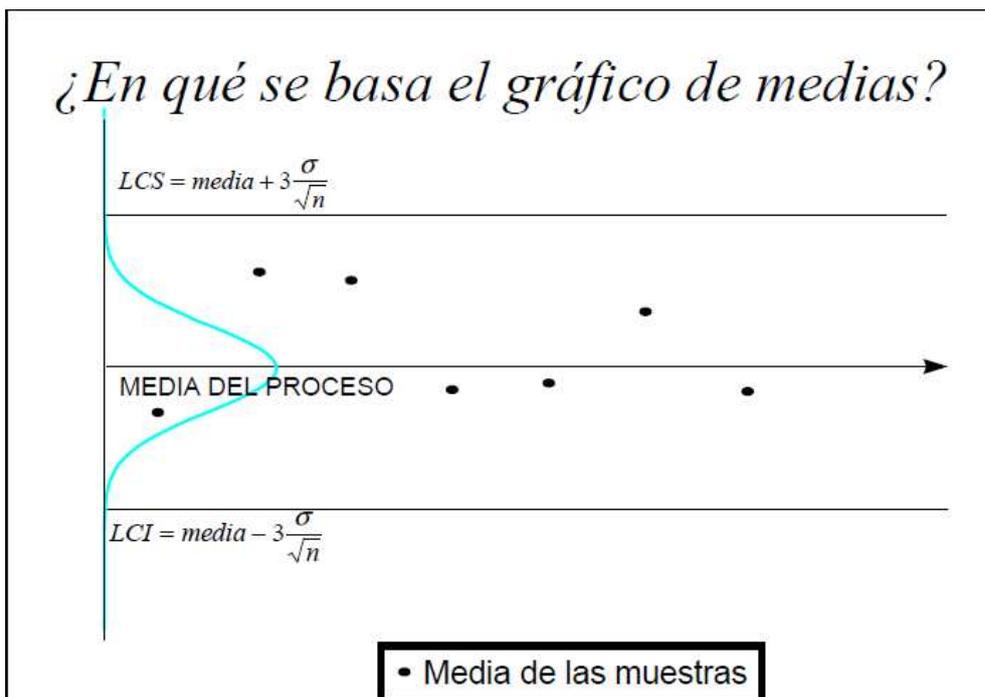


Figura 6.

Control estadístico del proceso. Recuperado de  
(<http://web.cortland.edu/matresearch/controlprocesos.pdf>).

El análisis de las muestras no se debe detener simplemente construyendo un Gráfico de Medias ya que aún pueden proporcionar más información del comportamiento del

proceso. En efecto, la dispersión de los valores muestrales nos puede proporcionar una estimación de la dispersión del proceso y realizar un seguimiento de su evolución. Es sabido que la dispersión de los valores de una población se mide por su desviación típica  $\sigma$  y los estimadores muestrales utilizados más frecuentemente son el recorrido R (que en nuestro caso dará lugar al Gráfico de Rangos o Recorridos o simplemente Gráfico R) y la desviación típica muestral  $\sigma$  (que dará lugar al Gráfico de desviaciones típicas o simplemente Gráfico  $\sigma$ ). Antes de seguir adelante es conveniente recordar algunas propiedades de estos estadísticos con objeto de alcanzar un mejor entendimiento de la construcción de estos gráficos.

Para que tenga sentido la aplicación de los gráficos de control, el proceso ha de tener una estabilidad suficiente que, aún siendo aleatorio, permita un cierto grado de predicción. En general, un proceso caótico no es previsible y no puede ser controlado. A estos procesos no se les puede aplicar el gráfico de control ni tiene sentido hablar de capacidad. Un proceso de este tipo debe ser estudiado mediante herramientas estadísticas avanzadas hasta que el grado de conocimiento empírico obtenido sobre el mismo permita conocer las causas de la estabilidad y se eliminen.

#### Regla Descripción Probabilidad

- 1 Un punto está fuera de los límites de control 0,27%
- 2 De tres puntos consecutivos, dos o más están en una de las zonas A (la misma). 0,15%
- 2' Dos puntos consecutivos están en una de las zonas A (la misma). 0,05%
- 3 Racha de cinco puntos en la que cuatro están en la misma zona A o B. 0,27%
- 3' Racha de cuatro puntos consecutivos que están en la misma zona A o B. 0,06%
- 4 Racha de siete puntos consecutivos por encima de la línea central. 0,78%
- 4' Racha de seis puntos consecutivos por encima de la línea central. 1,56%
- 4'' Racha de ocho puntos consecutivos por encima de la línea central. 0,39%
- 5 Racha de seis puntos consecutivos se presentan de manera monótona creciente. 0,14%
- 6 De diez puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótona creciente. 0,07%
- 6' De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 8 que se presentan de manera monótona creciente. 0,02%
- 6'' De nueve puntos consecutivos, existe una racha de 7 que se presentan de manera monótona creciente. 0,42%

7 Dados dos puntos consecutivos, el segundo está al menos cuatro desviaciones típicas por encima del primero (por ejemplo, el primero está en la zona A inferior y el segundo en la B ó A superior). 0,23%

8 Racha de quince puntos en la zona C 0,30%

9 Racha de catorce puntos alternativos ascendente descendente?

### ***2.5. Relación entre control estadístico del proceso y capacidad de proceso.***

Todos los productos tienen especificaciones que son críticas o importantes para el cliente. Para asegurar que se cumplan con estas, los diseñadores establecen requerimientos numéricos que se conocen como especificaciones. *Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG*

Por otra parte si un proceso se mantiene estable a través del tiempo, es decir dentro de control estadístico, se pueden obtener estimaciones de su promedio y desviación estándar. Esto nos permite calcular los límites de tolerancia natural que tiene el proceso que se está utilizando. Si el proceso cabe dentro de la especificación se dice que tienes un proceso en control y capaz, en caso de lo contrario tenemos un proceso incapaz. *Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG*

La variación que se presenta diariamente en un proceso puede cumplir con las especificaciones y aun así no estar dentro de control, se debe analizar el valor medio del proceso y tratar de situarlo en el valor objetivo para que el proceso este en su máxima capacidad. *Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG*

### ***2.6. Beneficios de la estimación de los índices de capacidad.***

Quienes en la comunidad estadística se oponían en como  $C_{pk}$  índice comenzó a ser usado, fue rápido un punto fuera que pocos “en el mundo real” procesos completamente satisfaciendo todas las condiciones y parámetros dentro de los cuales  $C_{pk}$  ha sido desarrollado.

No un simple índice o muestra deberá ser usado para describir el proceso, es ampliamente recomendado que todos los índices sean calculados con los mismos datos.

El análisis gráfico debe ser usado en conjunto con las mediciones del proceso. Un ejemplo de estas ayudas son los gráficos de control, distribución de los datos así como la función de pérdida. *Statistical Process Control (SPC) Manual* available from AIAG

Las mediciones del proceso deben ser usadas para alinear la voz del proceso con la voz del cliente.

Toda la capacidad y el rendimiento del proceso evaluado deben ser confinados a las características del proceso.

Nunca es apropiado combinar o promediar estos índices de capacidad y rendimiento.

A continuación se presenta una relación entre el índice de capacidad y las partes por millón (ppm) en defectos que se generan cuando el proceso está centrado, es decir, si el centro del proceso es igual a  $\frac{USL-LSL}{2}$  en caso opuesto no aplica.

Esto quiere decir, si se incrementan los índices de capacidad tus defectos disminuirán.

Valor del Cp	% de Capacidad	% No conforme	Partes por millón (ppm)
<b>0.50</b>	86.64%	13.360%	1336
<b>0.62</b>	93.50%	6.500%	650
<b>0.68</b>	96.00%	4.000%	400
<b>0.75</b>	97.50%	2.500%	250
<b>0.81</b>	98.50%	1.500%	150
<b>0.86</b>	99.00%	1.000%	100
<b>0.91</b>	99.35%	0.650%	65
<b>1.00</b>	99.73%	0.270%	27
<b>1.33</b>	99.99%	0.006%	60
<b>1.5</b>	99.999%	0.0001%	6.9
<b>1.67</b>	99.999%	0.0001%	0.6
<b>1.83</b>	99.999%	0.0001%	0
<b>2.0</b>	99.9999%	0.00001%	0

Tabla 1 Relación entre  $C_p$  y PPM

La tabla 2 que se presenta a continuación nos muestra las comparaciones que se realizan entre la comparación del  $C_{pk}$  y las partes por millón los porcentajes de capacidad y los porcentajes de las no conformidades. Es importante mencionar que no se encuentra centrado puede estar dentro de control, esto es cuando se variación no es mucha y es

posible que el proceso se tenga variación dentro de los límites. (Estudio de capacidad del proceso)

Valor del C <sub>pk</sub>	% de Capacidad	% No conforme	Partes por millon (ppm)
0.50	<b>93.320%</b>	<b>6.680%</b>	<b>66800</b>
0.62	<b>93.500%</b>	<b>6.500%</b>	<b>65000</b>
0.68	<b>96.000%</b>	<b>4.000%</b>	<b>40000</b>
0.75	<b>97.500%</b>	<b>2.500%</b>	<b>25000</b>
0.81	<b>98.500%</b>	<b>1.500%</b>	<b>15000</b>
0.86	<b>99.000%</b>	<b>1.000%</b>	<b>10000</b>
0.91	<b>99.350%</b>	<b>0.650%</b>	<b>6500</b>
1.00	<b>99.865%</b>	<b>0.135%</b>	<b>1350</b>
1.33	<b>99.997%</b>	<b>0.003%</b>	<b>30</b>

Tabla 2 Relación entre  $C_{pk}$  y PPM

Con el cálculo y conocimiento de los índices de capacidad podemos conocer el número de defectos que estaremos produciendo, como se muestra en la figura 3 además de interpretar que si estos índices incrementan nuestros defectos por estas características disminuirán. Esto muy relacionado con una distribución normal de una campana de Gauss que después se va acotando observar la figura 7.

Cabe mencionar que el número el porcentaje de scrap que se produce en una planta es la suma de todos los defectos en este caso estamos estudiando solo un defecto que es el dimensional pero que es de gran relevancia ya que es uno de los puntos críticos de calidad además que es altamente medible.

Además importancia de una distribución normal de nuestros datos para poder llevar a cabo un estudio del mismo y encontrar similitudes entre los software de apoyo como Minitab con los cálculos manuales.

El  $C_{pk}$  nos hablara del comportamiento respecto a un movimiento de la media respecto al centro de los límites de especificación.

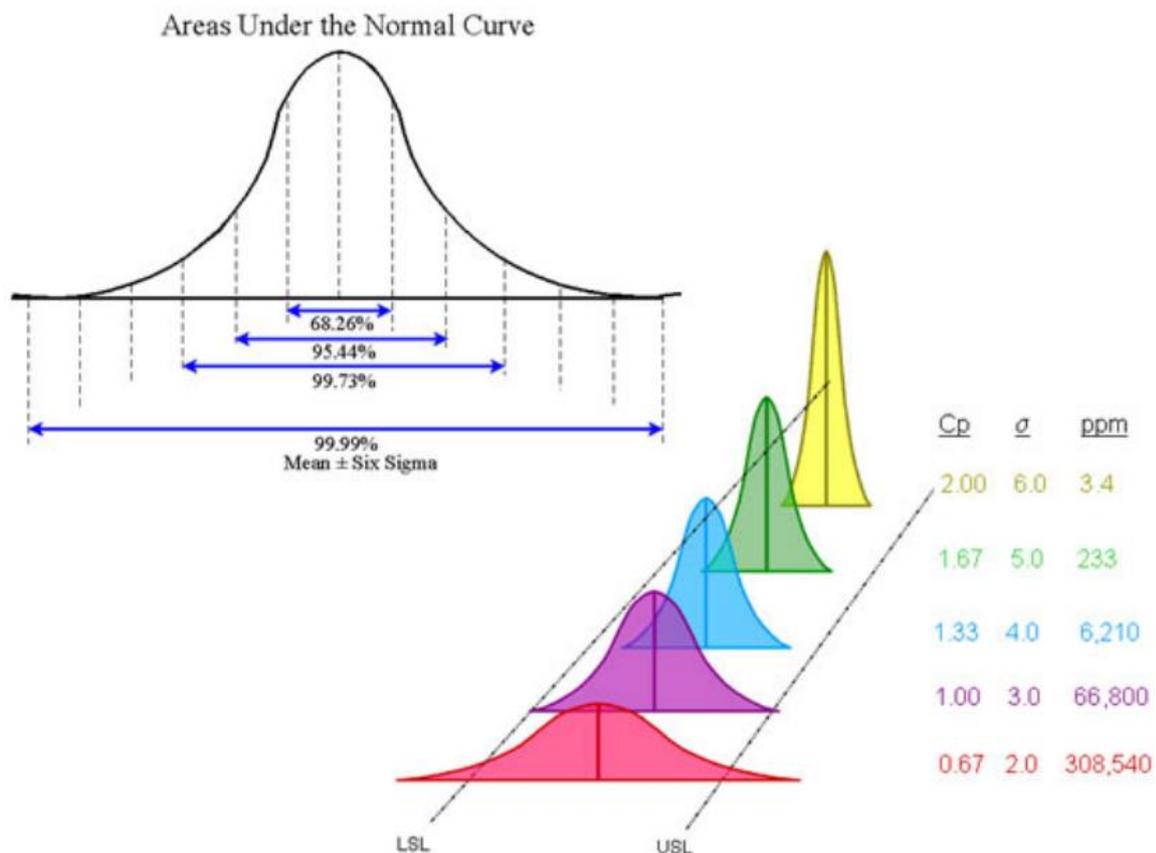


Figura 7.

Capitulo 2 Marco Teórico. Recuperado de

([http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lmnf/elizondo\\_c\\_a/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lmnf/elizondo_c_a/capitulo2.pdf)).

Como observamos llevar un proceso a la mejora tiene que ver mucho con la capacidad de este, el cual está ampliamente relacionada con el número de unidades no conformes entonces si se mejoran estos índices de capacidad se lograra un gran ahorro en cuanto a material no conforme.

Rendimiento esperado

El número de unidades en la salida del proceso que podrían violar los límites de especificación. Esta expectativa se basa en la Función de distribución acumulada (CDF) de la distribución que usted seleccione para modelar los datos. El rendimiento esperado se puede expresar en términos de Partes por millón (PPM) o por cien (por ciento) no conformes.

Por ejemplo, su compañía fabrica mechas de taladro que miden 50mm de largo. Su cliente requiere un rendimiento esperado de un máximo de 2000 PPM de defectuosos. Usted analiza la capacidad de este proceso con análisis de capacidad normal, que calcula las estadísticas siguientes de rendimiento esperado:

Rendimiento “dentro de” lo esperado	Rendimiento general esperado
PPM < 1167.13	PPM < 1755.06
LIE	LIE
PPM > 306.55	PPM > 509.58
LSE	LSE
PPM 1473.68	PPM 2264.64
Total	Total

El rendimiento general esperado es la característica que el cliente experimentará, porque explica la variación de la salida de todo el proceso. Su total de PPM supera las especificaciones del cliente de 2000 PPM y, por lo tanto, su proceso es inadecuado. Sin embargo, el rendimiento “dentro de” esperado, que se basa en la desviación estándar dentro de subgrupos, no viola la especificación del cliente. Usted decide reducir la variación entre subgrupos para acercar el rendimiento general no aceptable al rendimiento aceptable dentro de subgrupos, que se conoce también como el derecho.

### 2.7. Proceso para la medición de índices de Capacidad $C_p$ y $C_{pk}$

Para la realización de un estudio de índice de capacidad se tomara en cuenta:

1. Selección de características de alto impacto en la calidad del producto. Debemos tomar en cuenta factores medibles numéricamente para observar una distribución estadística. Además los criterios para tomar un punto como

característica crítica tendrán que ser analizados en base a calidad, funcionalidad, y costo del producto, proceso etc.

2. Para determinar la capacidad de un proceso primero este tiene que estar bajo control, para demostrar que el sistema se encuentra bajo control se van a utilizar gráficos de control.
  - a. Tiene que haber un método de recolección de datos (toma de muestras del producto) en el cual se debe analizar la cantidad necesaria de muestras para que el cálculo de los índices sea confiable.
3. Analizar de los datos recopilados.
4. Analizar las fuentes de variación.
5. Establecer un sistema periódico de monitoreo del proceso, para su verificación constante de la capacidad de este, en estos se usa muchas veces el sistema de liberación de primera pieza y la toma de muestra  $n$  veces.

## **2.8. Conceptos básicos de Estadística**

### **Distribución Normal o Campana de Gauss.**

Una curva en forma de campana que es simétrica de la media. La distribución normal es la distribución estadística más común debido a que la normalidad aproximada se presenta naturalmente en muchas situaciones de medición física, biológica y social. Muchos análisis estadísticos requieren que los datos surjan de poblaciones normalmente distribuidas.

Por ejemplo, las alturas de todos los adultos masculinos que residen en el estado de Pennsylvania están aproximadamente normalmente distribuidas. Por lo tanto, las alturas de la mayoría de los hombres estarán cercanas a la altura media de 69 pulgadas. Un número similar de hombres será apenas más alto y más pequeño que 69 pulgadas. Sólo unos pocos serán mucho más altos o más pequeños.

La media ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ) son los dos parámetros que definen la distribución normal. La media es el pico o centro de la curva en forma de campana. La desviación estándar determina la dispersión en los datos. Aproximadamente, el 68% de las observaciones está dentro de  $\pm 1$  desviación estándar de la media; el 95% está

dentro de +/- 2 desviaciones estándares de la media y el 99% está dentro de +/- 3 desviaciones estándares de la media.(Arturo Ruiz-Falcó Rojas 2006)

Donde:

Desviación estándar.

Media de los datos.

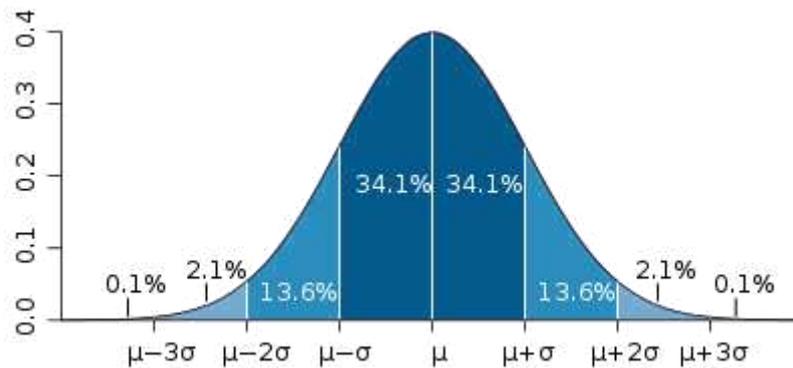


Figura 8 Recuperado de

([http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard\\_deviation\\_diagram\\_micro.svg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Standard_deviation_diagram_micro.svg))

Descripción de una distribución normal y la localización del porcentaje de datos respecto a la desviación estándar  $\sigma$  y  $3\sigma$ .

### 3. Capítulo 3.- Aplicación del $C_p$ y $C_{pk}$ para la validación de head lamp para sector automotriz (caso de estudio).

#### 3.1. Selección del problema.

El problema a investigar, es de carácter de medición en el cual se tomaran en cuenta las dimensiones del producto terminado.

Se selecciona este producto por lanzamiento del mismo, para que antes de que inicie la producción en masa se puedan detectar variaciones en el proceso y tomar acciones sobre el mismo, en cuestión de dimensiones.

En este desarrollo de metodología de medición se llevarán a cabo la demostración del proceso de medición de los índices de capacidad  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

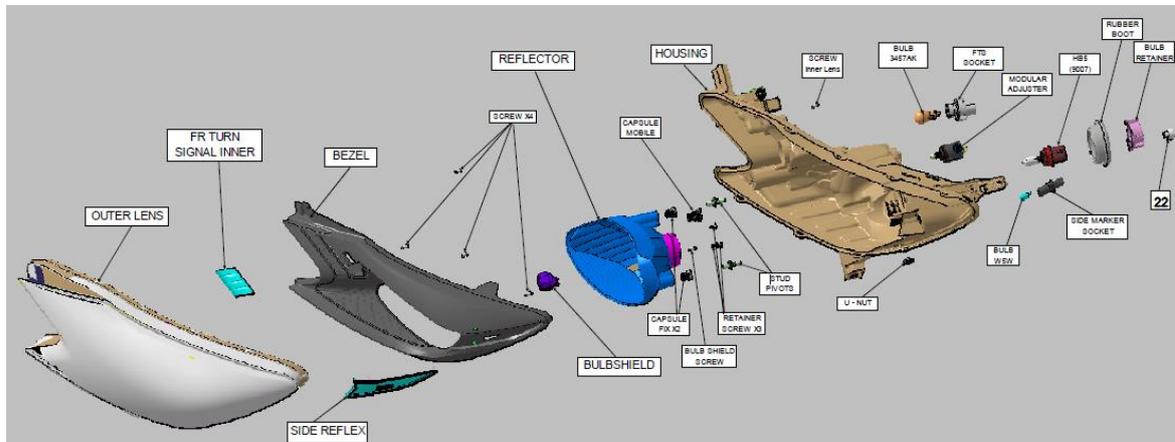


Figura 9

Dibujo de la estructura de los componentes de un Head Lamp

En la figura 9 podemos observar todos los componentes que lleva internamente y externamente el Head Lamp los principales componentes que nos afectan directamente en cuestión dimensional so el Lente (Outer Lens) y La carcasa (Housing) que son los que directamente interactúan con el GAGE en las mediciones.

### 3.2. Metodología.

Se implementaran los puntos efectuados en el punto 2.7.

1. *Selección de características de alto impacto en la calidad del producto. Debemos tomar en cuenta factores medibles numéricamente para observar una distribución estadística. Además los criterios para tomar un punto como característica crítica tendrán que ser analizados en base a calidad, funcionalidad, y costo del producto, proceso etc.*

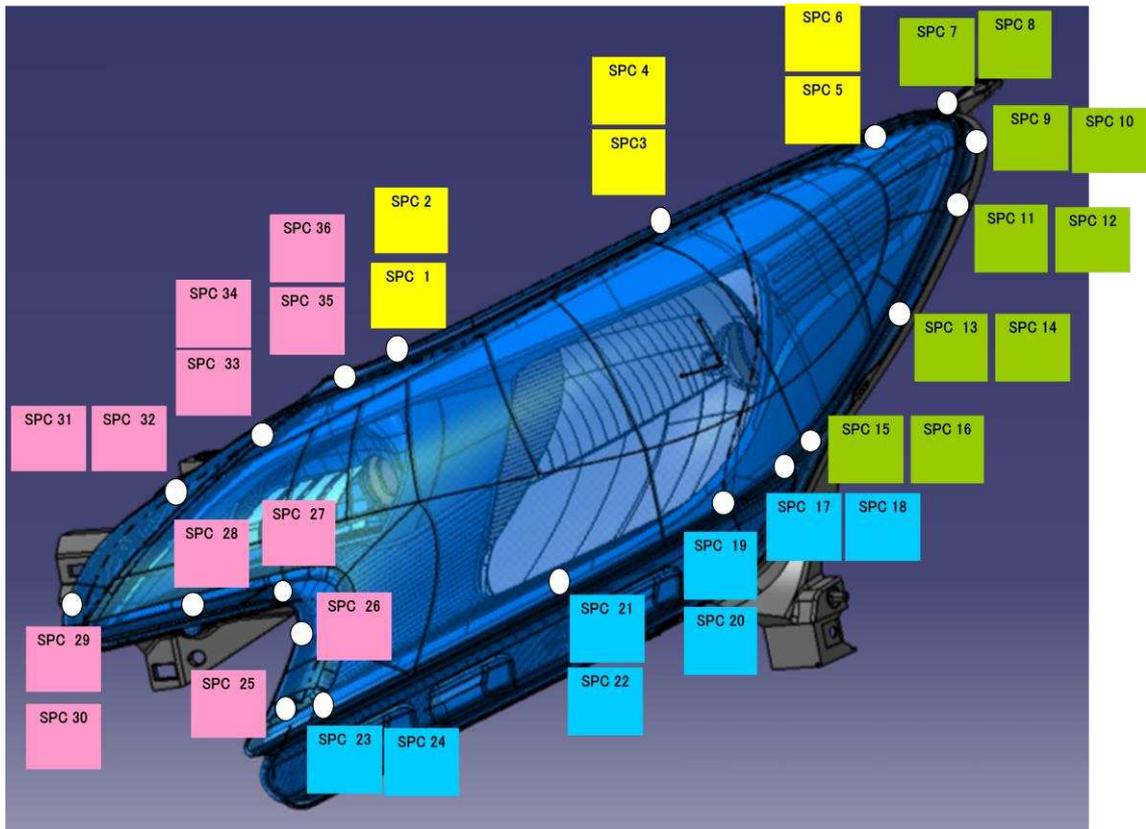
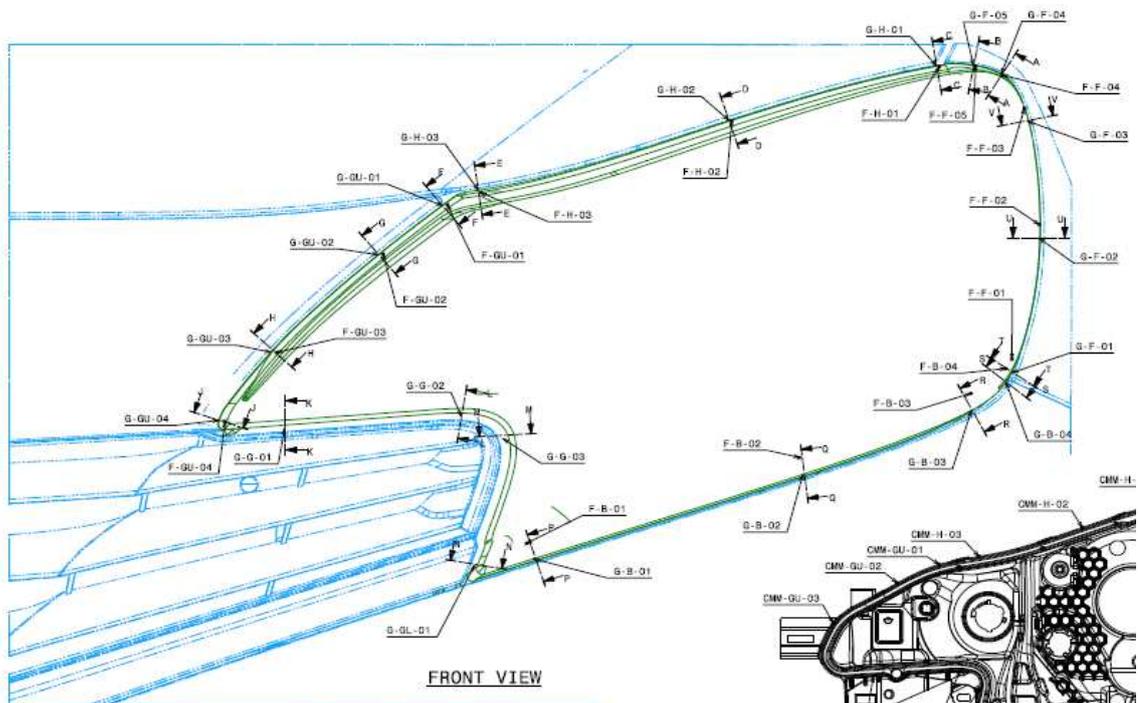


Figura 10

En esta figura observamos los 36 puntos a evaluar en el dimensional para lo cual cada punto tendrá que ser evaluado de manera independiente, esto quiere decir que tendremos que demostrar que cada punto se encuentra en bajo control estadístico y después de esto comenzar a hacer el estudio de los índices de capacidad.



## Figura 11

Esta figura describe cuales son puntos a medir el GAP y en cuales FLUSH.  
Dibujo isométrico de la colocación del Head Lamp en la Carroceria así como la vista frontal del mismo.

**2. Para determinar la capacidad de un proceso primero este tiene que estar bajo control, para demostrar que el sistema se encuentra bajo control se van a utilizar gráficos de control.**

- **Tiene que haber un método de recolección de datos (toma de muestras del producto) en el cual se debe analizar la cantidad necesaria de muestras para que el cálculo de los índices sea confiable.**

**Primero que nada se tomara en cuenta el método de recolección de datos en el cual se hace la descripción de los instrumentos de medición así como la manera de recolección de datos.**

- **Se define el sistema de medición** (ver definición).

Instrumentos:

Gage y Head Lamp:

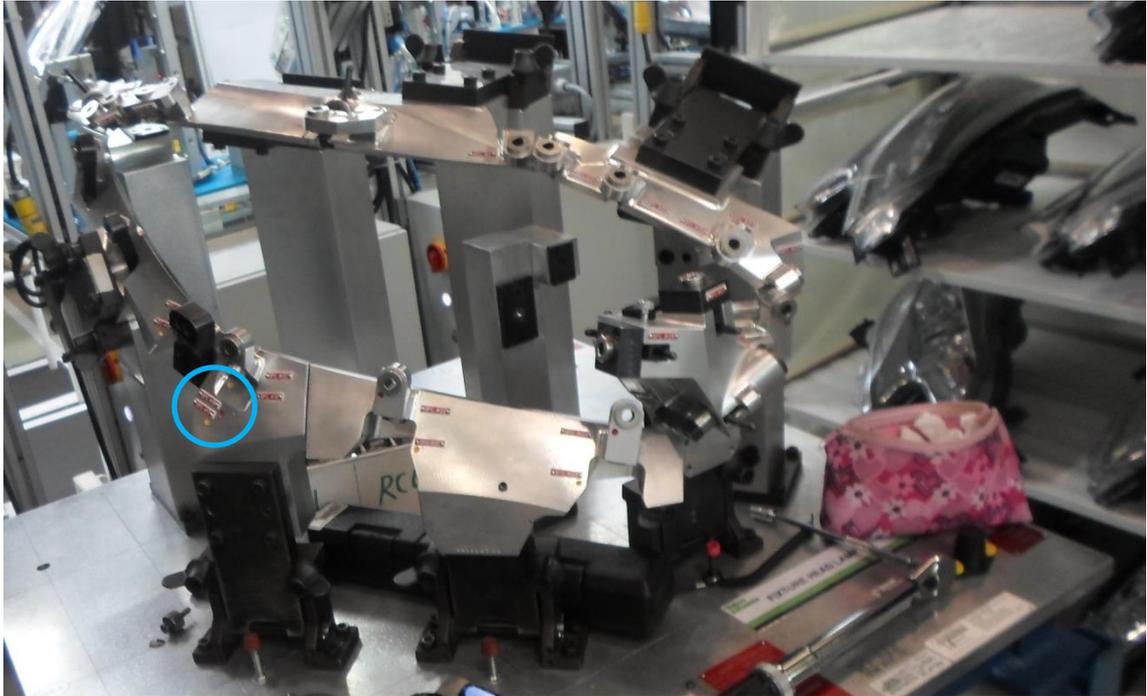


Figura 12

En la figura 12, se observa el herramental para la medición Gage, así como los puntos a medir en el, los puntos marcados con color amarillo representan puntos en los cuales se hace la medición del Gap y los puntos marcados en color rojo se hace la medición del Flush.

Las características de un Gage deben de ser validados primeramente por la empresa y después deben ser liberados por el cliente es muy importante el proceso de validación de un Gage ya que si este tiene discrepancias se pueden llegar a tener errores en las mediciones que pueden llegar a tener gran impacto aparte de generar un alto costo por el herramental y el tiempo que se lleva la fabricación y la validación del mismo.

Medidores (Micrómetro para Flush y Gap):

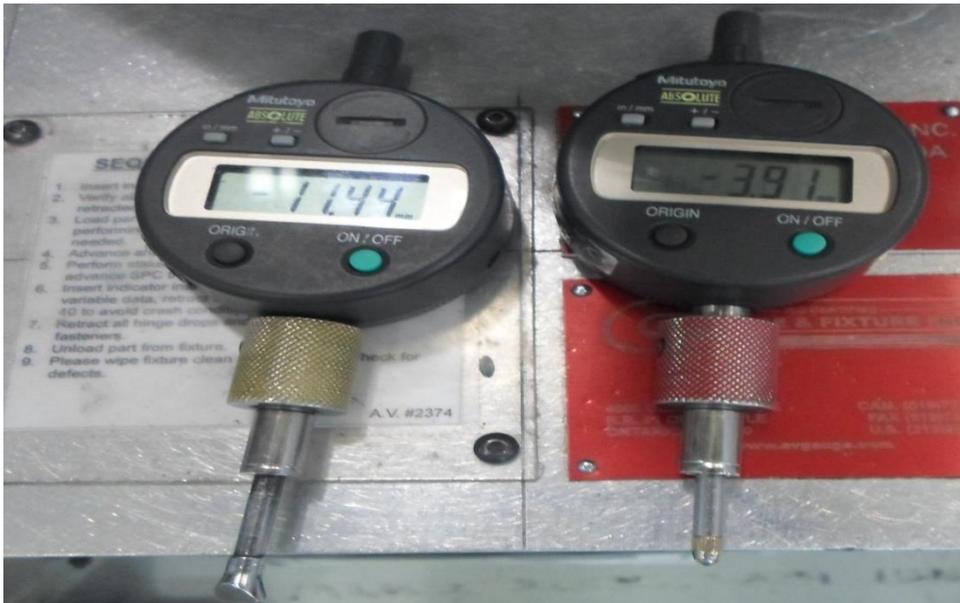


Figura 13

Medidor con herramental amarillo mide Gap

Medidor con herramental rojo mide Flush.

Observar la figura 13 las diferencias entre el medidor de Gap y el de Flush, el medidor de Gap tiene la terminación del instrumento en forma de ángulo, mientras que el medidor de Flush tiene la terminación del herramental en forma de clavo.

Esto es debido a que como en la definición de ambos el gap mide la separación entre pieza 1 con pieza dos ensamblada mientras que el Flush mide directamente la pieza.

Características de los medidores.

- ✓ Los micrómetros son usados en unidades de mm.
- ✓ Su resolución es de 0.01mm.
- ✓ La resolución suficiente es de 0.1mm
- ✓ El Flush puede ser positivo o negativo.
- ✓ El Gap solo puede ser Positivo o cero.

Torqui metro.

El torquimetro es usado para el apriete correcto de los tornillos de sujeción del Head Lamp a la fuerza de especificación del cliente en este caso a 4 libras.



Figura 14

## Torquimetro de apriete de tuercas.

- **Personal.**

SC: Por su siglas súper control o persona capacitada para realizar las liberaciones del producto conforme para su envío al cliente en cuanto a todos los criterios de calidad así como la persona encargada de hacer las mediciones cuando así se requieren como en la liberación de la primera pieza o la toma de muestras para monitoreo del proceso.

También esta persona se encarga de rechazar las piezas no conformes y analizar con el ingeniero de calidad si las piezas son OK o NOK.



Figura 15

SC (Súper control), persona que se encarga de realizar las mediciones dimensionales. Cada personal que se le asigna alguna labor debe estar capacitada para la realización de esta en este caso son datos de las mediciones que son parte de indicadores para el proyecto por lo cual la capacitación tiene que ser la adecuada, en este caso se usa el cuadro mágico de polivalencia para poder validar que el personal se encuentra capacitado así como la firma de estos en los estándares de trabajo.

- **Pieza.**

Head Lamp para la toma de mediciones.

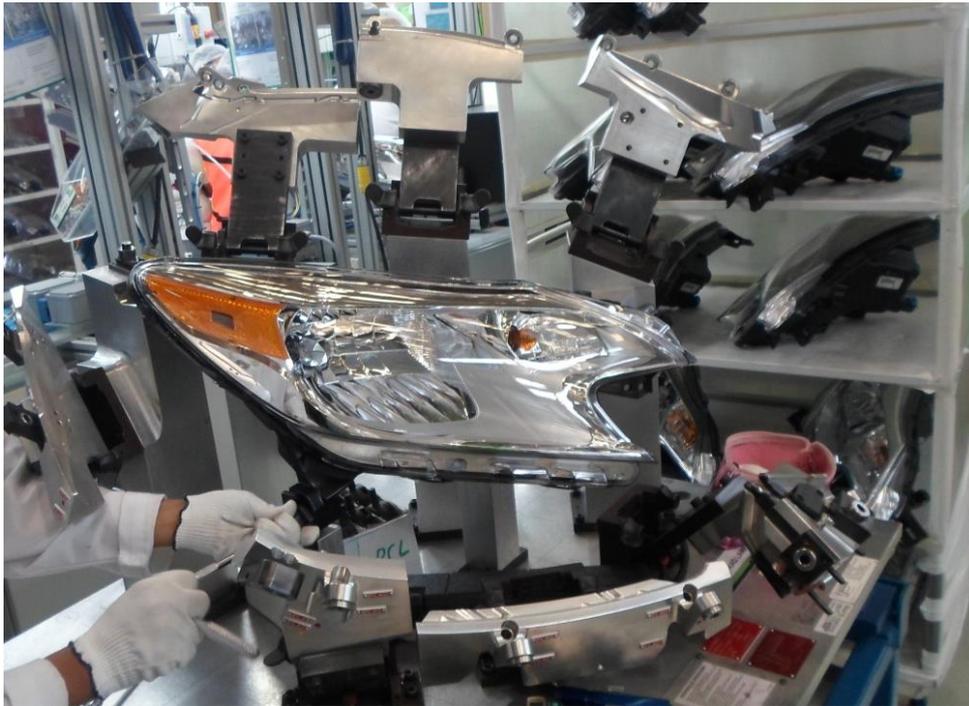


Figura 16

Head Lamp para mediciones.

Pieza colocada en el Gage para el inicio de toma de las mediciones.

- **Estándares.**

Se tomaran como las tolerancias permitidas por el cliente.

En las cuales se enumeran los 36 puntos de medición del Head Lamp para 18 para medición Flush y 18 de medición de Gap con sus medidas ideales y el rango de tolerancias en los cuales el proceso se puede mover para poder tener un producto de calidad, todo lo que se encuentre fuera de especificación será considerad como Scrap ya que un problema dimensional que llegue al cliente puede tener consecuencias de alto impacto. Además de que las medidas de contención serian de alto costo por el tiempo de medición de cada pieza.

Special Char. / Key Feature Ident'n	No.	Product Characteristic	Specification/Tolerance	Remark
Fit&Finish	SPC 1	-465Y GAP	4.05 +/- 0.7mm	
Fit&Finish	SPC 2	-465Y FLUSH	0.81 +/- 0.7 mm	
Fit&Finish	SPC 3	-400X GAP	4.09 +/- 0.7 mm	
Fit&Finish	SPC 4	-400X FLUSH	0.87 +/- 0.7 mm	

Fit&Finish	SPC 5	-245X GAP	4.04 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 6	-245X FLUSH	0.67 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 7	-705Y GAP	1.5 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 8	-705Y FLUSH	0.16 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 9	-720Y GAP	1.5 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 10	-720Y FLUSH	0.23 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 11	705Z GAP	1.5 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 12	705Z FLUSH	1.65 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 13	645Z GAP	1.55 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 14	645Z FLUSH	1.54 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 15	576Z GAP	2.02 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 16	576Z FLUSH	0.95 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 17	-418X GAP	2.16 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 18	-418X FLUSH	1.13 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 19	-455X GAP	1.99 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 20	-455X FLUSH	1.15 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 21	-565X GAP	1.99 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 22	-565X FLUSH	1.5 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 23	-685X GAP	2.1 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 24	-685X FLUSH	2.16 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 25	485Z GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 26	545Z GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 27	-460Y GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 28	-375Y GAP	1.98 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 29	555Z GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 30	555Z FLUSH	0.02 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 31	-670X GAP	2.02 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 32	-670X FLUSH	0.55 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 33	-600X GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 34	-600X FLUSH	1.04 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 35	-552X GAP	2 +/- 0.7 mm
Fit&Finish	SPC 36	-552X FLUSH	1.02 +/- 0.7 mm

Tabla 3 Especificaciones del cliente máximas permitida en cada punto de medición definido durante la etapa de diseño.

- **Supuestos.**

Se toma en cuenta que el gage esta validado y que se encuentra listo para realizar mediciones del producto.

- **Método.**

Se refiere a la parte del sistema de medición en la cual se ejecuta y se llevan a cabo el uso de los instrumentos por el personal capacitado para la toma de mediciones.

En esta parte se describirá la manera de llevar a cabo la medición de manera correcta.

Materiales e instrumentos necesarios para realizar la medición, todos estos descritos anteriormente.

- ✓ Gage.
- ✓ Medidor de Flush.
- ✓ Medidor de Gap.
- ✓ La pieza de donde se quiere tomar las mediciones.
- ✓ El formato de registro de las mediciones.
- ✓ Torquimetro.

Descripción del método.

- a) Tome la pieza, colóquela en la gage, coloque los tornillos de fijación del Head Lamp apriete con el torquimetro a 4 libras observe la figura 17.

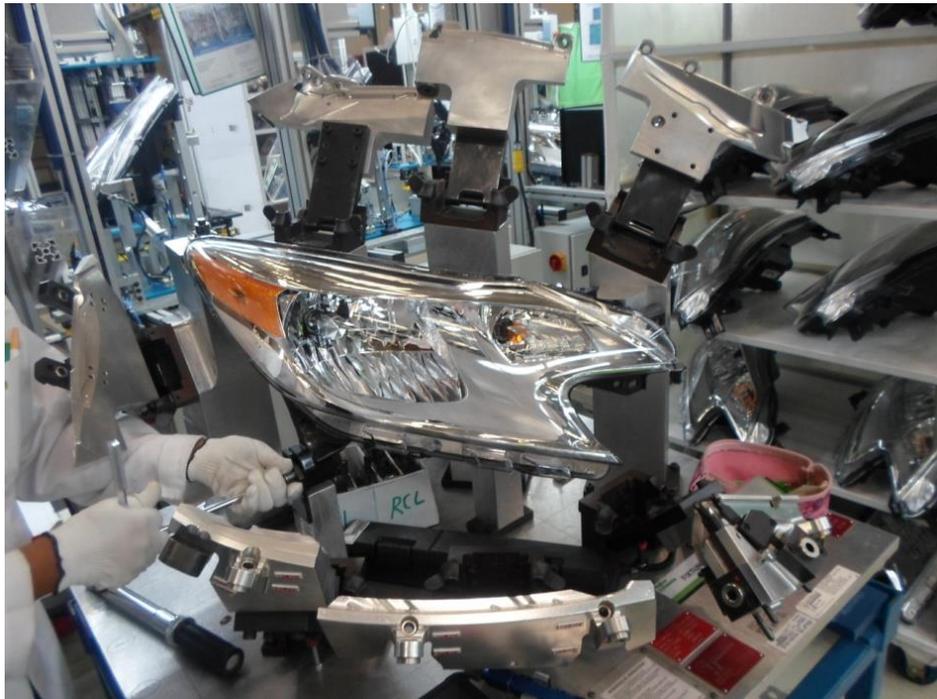


Figura 17

Colocación de Head Lamp en Gage apriete de tornillos.

- b) Cierre el gage y coloque los seguros del mismo para comenzar a hacer mediciones, no hay problema por la secuencia de cierre.



Figura 18

Persona cerrando el gage.

- c) Tome los medidores de Flush y Gap y ajústelos de acuerdo a la referencia que se encuentra en el observe la figura 17. Coloque en el master de medición, el medidor tiene que estar en 0.00 las medidas deben estar en mm, presione el botón de origen para que el calibrador se quede en ceros si este tiene una medición diferente, realice esta operación para ambos medidores. El ajuste de referencia debe llevarse a cabo a cada inicio de medición.



Figura 19

- d) Inicie con las mediciones desde el punto 1 al 36 estas mediciones tienen que ser consecutivas, es decir en orden, el gage tiene marcados los puntos consecutivos del 1 al 36 además en cada uno de ellos está marcado con el color del medidor que debe ser usado ya sea para la medición de flush o de gap observe las figuras 18 y 19.



Figura 20

Puntos de medición enumerados para tomar las mediciones.

Observe en la figura 20 como los puntos marcados por amarillo tienen un orificio por donde se introduce en este caso el medidor de GAP.



Figura 21

Inicio de mediciones del Head Lamp.

### 3.3 Resultados.

#### Medición y comprobación de proceso bajo control.

Con los datos de n piezas ahora se procede a demostrar que el proceso se encuentra bajo control se encuentra de los puntos 1 Gap y del punto 2 referente al Flush.

Mediciones del SPC 1 GAP, con los siguientes datos de especificación.

Special Char. / Key Feature Ident'n	No.	Product Characteristic	Specification/Tolerance	Remark				
Fit&Finish	SPC 1	-465Y GAP	4.05 +/- 0.7mm					
Nombre del Producto		Head Lamp	Muestra	Tamaño N=100				
Características				Intervalo 1 hora				
Unidad de medición		Mm	Punto N°	1				
Límites de especificación		Max	0.7					
		Min	-0.7					
N° de especificación	1							
N° de subgrupo	Valores Medidos					Suma de subgrupo	Media de Subgrupo $\bar{X}$	Rango de Sumgrupo R
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}_5$			
1	-0.11	-0.21	-0.1	-0.43	-0.05	-0.9	-0.18	0.38
2	-0.14	-0.12	-0.2	-0.33	-0.2	-0.99	-0.198	0.21
3	-0.08	-0.17	-0.31	-0.19	-0.19	-0.94	-0.188	0.23
4	-0.09	0.24	0.12	-0.1	-0.05	0.12	0.024	0.34
5	-0.01	0.04	-0.06	-0.01	-0.08	-0.12	-0.024	0.12
6	-0.08	-0.05	-0.4	-0.27	-0.08	-0.88	-0.176	0.35
7	-0.02	-0.08	-0.21	-0.16	-0.3	-0.77	-0.154	0.28
8	-0.1	-0.06	-0.02	-0.18	-0.23	-0.59	-0.118	0.21
9	-0.05	-0.1	-0.01	0.04	-0.06	-0.18	-0.036	0.14
10	-0.01	-0.08	-0.08	-0.05	-0.4	-0.62	-0.124	0.39
11	-0.27	-0.08	-0.02	-0.08	-0.21	-0.66	-0.132	0.25
12	-0.16	-0.3	-0.1	-0.06	-0.02	-0.64	-0.128	0.28
13	-0.18	-0.23	-0.05	-0.1	-0.06	-0.62	-0.124	0.18
14	-0.01	0.04	-0.06	-0.01	-0.08	-0.12	-0.024	0.12
15	-0.08	-0.05	-0.4	-0.27	-0.08	-0.88	-0.176	0.35
16	-0.02	-0.08	-0.21	-0.16	-0.3	-0.77	-0.154	0.28
17	-0.1	-0.06	-0.02	-0.18	-0.23	-0.59	-0.118	0.21
18	-0.05	-0.1	-0.01	0.04	-0.06	-0.18	-0.036	0.14
19	-0.14	-0.12	-0.2	-0.39	-0.01	-0.86	-0.172	0.38
20	-0.22	-0.28	-0.22	-0.13	0.18	-0.67	-0.134	0.46

	Medias	-0.1186	0.265
--	--------	---------	-------

Tabla 5

Datos de mediciones tomadas para el punto N° 1, calculo de medias y rangos.

Gráfico de control X	Gráfico de control R
UCL= $\bar{X}+A_2R$	UCL= $D_4R$
0.03431	0.56021
LCL= $\bar{X}-A_2R$	LCL= $D_3R$
-0.27151	0

Tabla 6 Cálculo de los límites de control para el grafico X-R del punto 1 Gap.

Las constantes  $A_2$ ,  $D_4$ ,  $D_3$  son tomadas de la tabla de constantes dependiendo del tamaño del subgrupo en este caso el tamaño de subgrupo es de 5, nos vamos a la tabla y buscamos en subgrupo size para tomar las constantes adecuadas.

Hay que tomar en cuenta que necesitamos un proceso bajo control para poder realizar el cálculo de los índices de capacidad. En la figura 22 se mostrara la distribución de la variación del proceso en un grafico de control X-R para el punto 1 el cual mide Gap de la pieza.

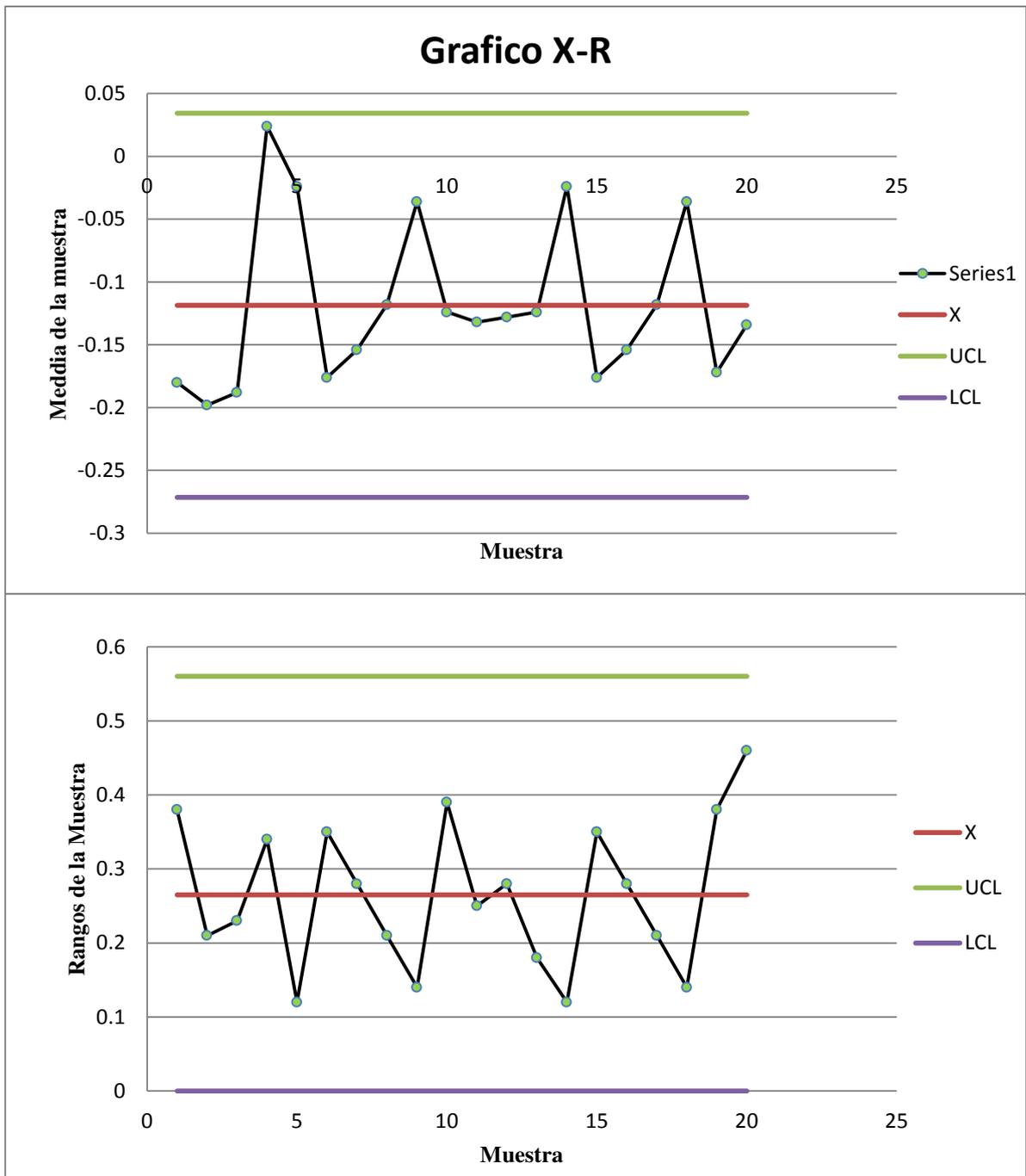


Figura 22

Grafico X-R del punto 1 del Head Lamp.

Como observamos los puntos se encuentran bajo control, ya que no hay puntos desplegados hacia los limites de control así como que se encuentran centrados con una distribución aleatoria, no se muestran tendencias ni patrones que mostrarían la aparición de causas especiales por lo cual este punto está listo para hacer medición del  $C_p$  y  $C_{pk}$ .

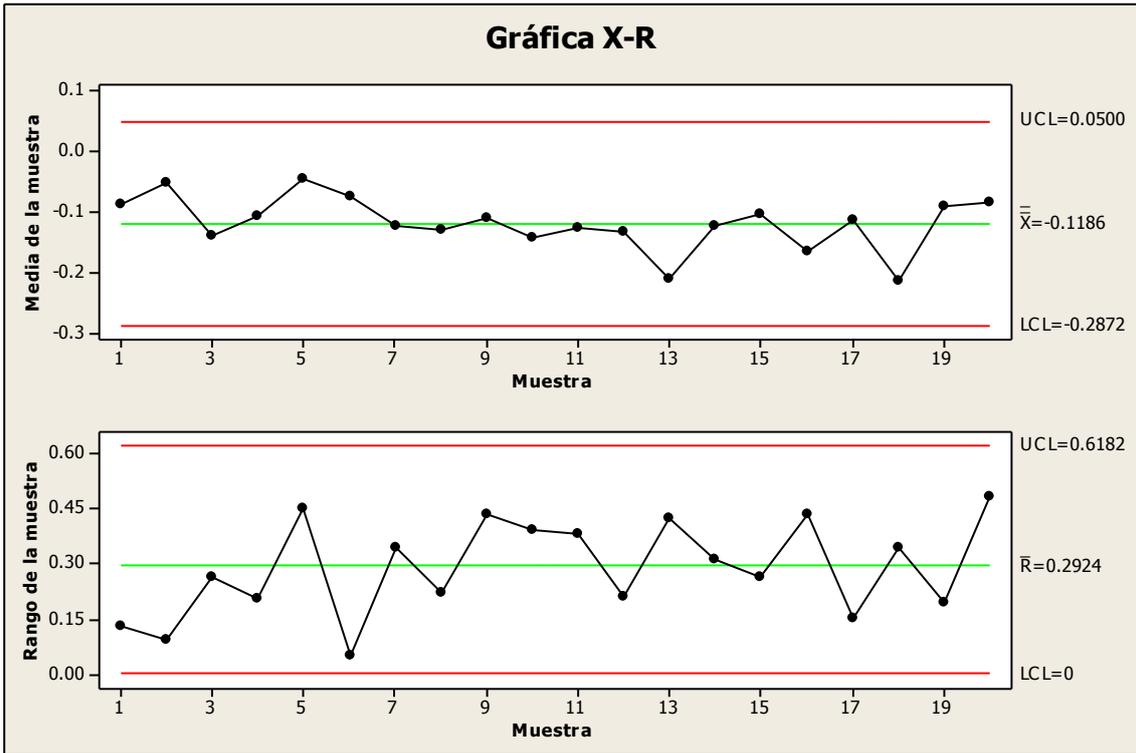


Figura 23

Grafica X-R Realizada en Minitab como observamos los datos calculados, son parecidos a los realizados por nuestros cálculos comparando con los nuestros tenemos un UCL menor la media de muestras pero aun así nuestro grafico muestra el proceso bajo control de la misma manera que el Minitab, por lo demás los resultados son parecidos ver la tabla 6 y comprar parámetros.

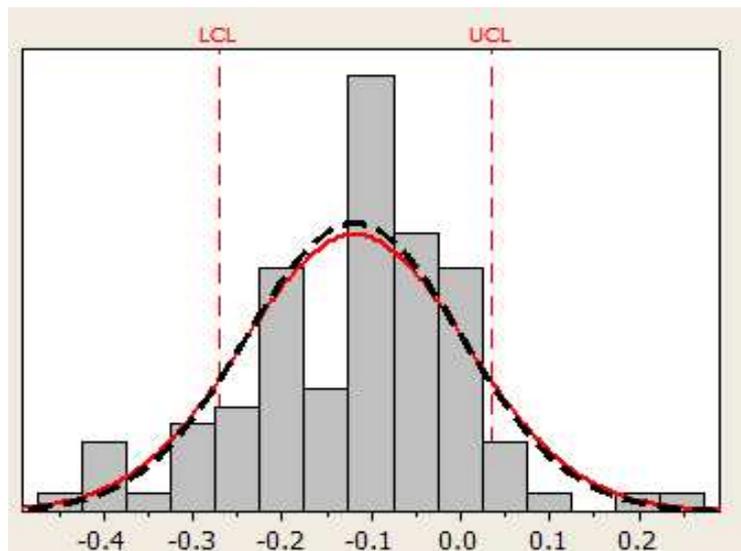


Figura 24

Distribución de la variación del proceso.

Muestra la distribución de las 100 mediciones realizadas para el cálculo de los límites de control y su grafica en la cual aunque observamos que varios puntos se distribuyen fuera de los límites de control no quiere decir que esta fuera de control ya que aquí solo mostramos la dispersión y la variación del proceso.

Medición 1 del SPC 2 Flush, con la siguiente especificación.

Special Char. / Key Feature Ident'n	No.	Product Characteristic	Specification/Tolerance	Remark
Fit&Finish	SPC 2	-465Y FLUSH	0.81 +/- 0.7 mm	

Nombre del Producto		Head Lamp		Muestra	Tamaño	N=100			
Características				Punto N°	Intervalo	1 hora			
Unidad de medición		mm		Punto N°	1				
Límites de especificación		Max		0.7					
		Min		-0.7					
N° de especificación							Suma	Media de Subgrupo	Rango de Sumgrupo
N° de subgrupo	Valores Medidos								
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}_5$				
1	-0.06	0.02	0.04	-0.01	0.06	0.05	0.01	0.12	
2	0.08	-0.03	0.08	0.11	-0.03	0.21	0.042	0.14	
3	0.04	-0.04	-0.09	-0.07	-0.13	-0.29	-0.058	0.17	
4	0.14	-0.24	-0.1	-0.12	0.01	-0.31	-0.062	0.38	
5	-0.18	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	-0.41	-0.082	0.2	
6	0.09	-0.06	0.14	0.16	-0.22	0.11	0.022	0.38	
7	0	-0.06	0.01	-0.05	-0.06	-0.16	-0.032	0.07	
8	-0.09	-0.07	-0.13	-0.05	-0.07	-0.41	-0.082	0.08	
9	-0.1	-0.12	0.09	-0.06	0.14	-0.05	-0.01	0.26	
10	-0.18	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	-0.41	-0.082	0.2	
11	0.16	-0.22	0	-0.06	0.01	-0.11	-0.022	0.38	
12	-0.05	-0.06	-0.09	-0.07	-0.13	-0.4	-0.08	0.08	
13	-0.05	-0.07	-0.1	-0.12	0.01	-0.33	-0.066	0.13	
14	0.08	-0.04	0.01	-0.04	0.38	0.39	0.078	0.42	
15	0.08	-0.07	-0.14	-0.24	0.61	0.24	0.048	0.85	
16	-0.05	0.01	-0.18	0.16	0.69	0.63	0.126	0.87	
17	-0.09	-0.07	-0.13	-0.06	0.14	-0.21	-0.042	0.27	
18	-0.1	-0.12	0.01	-0.06	0.01	-0.26	-0.052	0.13	

19	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	0.02	-0.21	-0.042	0.16
20	-0.22	0	-0.06	0.01	-0.03	-0.3	-0.06	0.23
						Medias	-0.0223	0.276

Tabla 7

Datos de mediciones tomadas para el SPC 2, cálculo de medias y rangos.

Gráfico de control X	Gráfico de control R
$UCL=X+A_2R$	$UCL=D_4R$
0.13695	0.583464
$LCL=X+A_2R$	$LCL=D_3R$
-0.18155	0

Tabla 8 Cálculo de los límites de control para el grafico X-R del SPC 2 Flush.

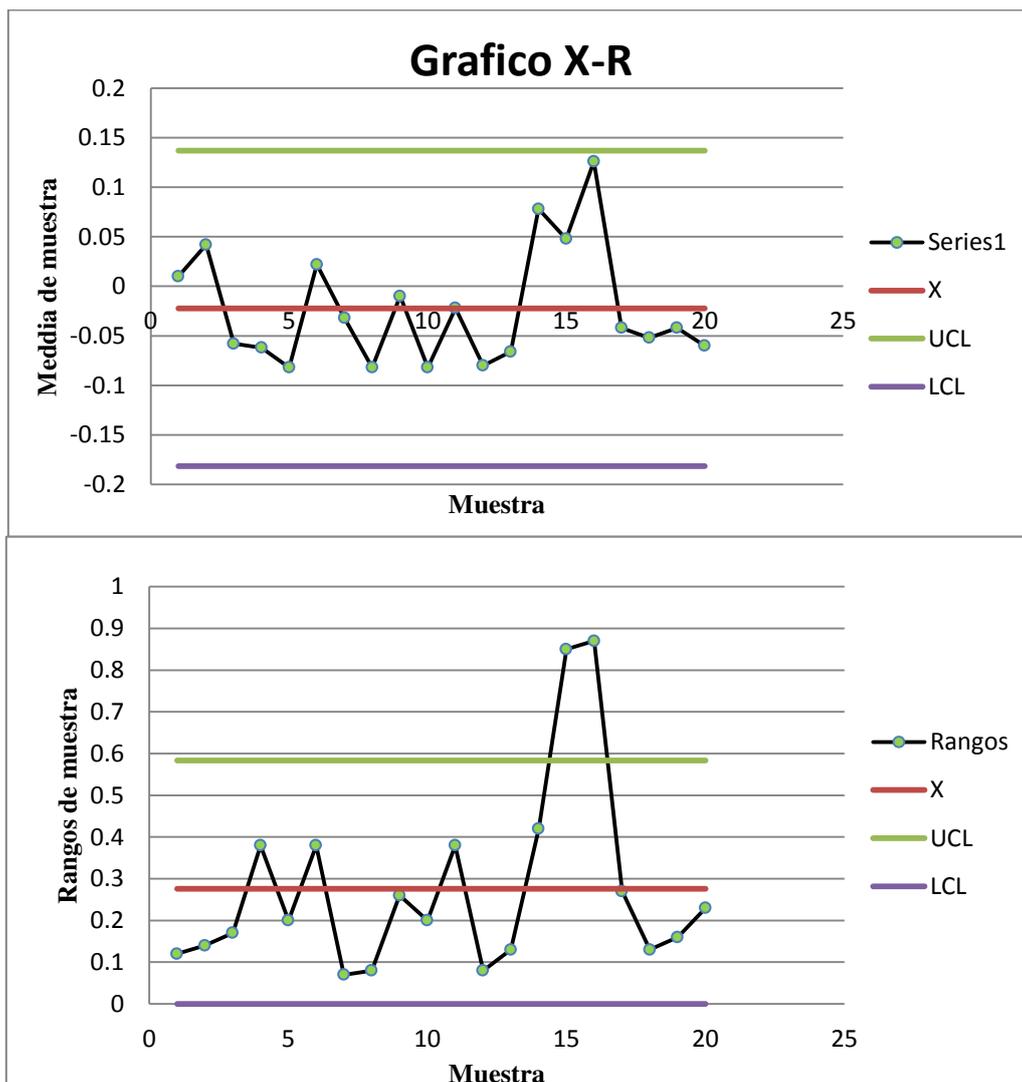


Figura 25

Grafico de control del SPC 2 referido al Flush.

Como se observa en la figura 25 se ve un proceso fuera de control ya que en el grafico X hay un punto que se acerca demasiado al límite de control mientras que en el grafico de rangos hay dos puntos fuera de los limites, por lo que se procederá a realizar acciones en el proceso para que encuentre bajo control y poder realizar los cálculos de los índices de capacidad, aunque los limites se encuentran dentro de los limites de especificación pero el proceso está fuera de control esto nos menciona que en cualquier momento el proceso se puede desplazar y salir de los limites de especificación.

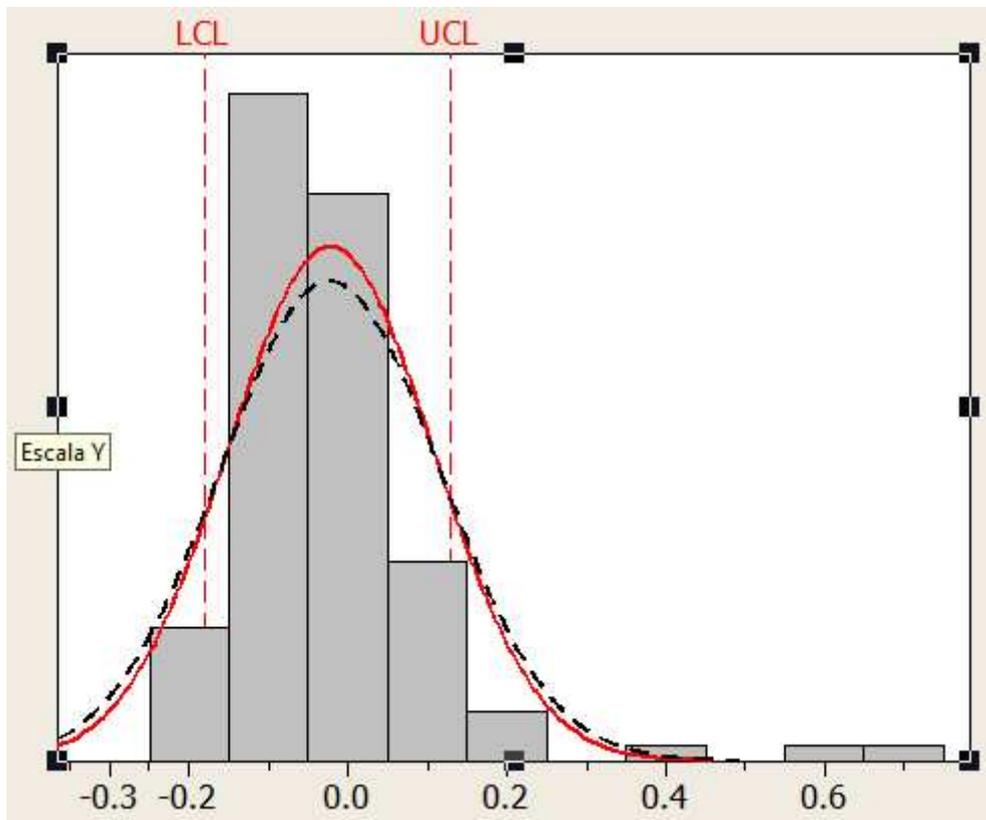


Figura 26

Se muestra la distribución de todas las muestras tomadas.

Como se muestra en la figura 26 el proceso no está centrado además muestra que hacia el límite superior tiene un sesgo y que por este lado es donde corresponde hacer llevar a

cabo las acciones correctivas para la estabilidad del proceso y llevarlo a un estado de control y poder realizar el cálculo de los índices de capacidad de proceso.

Por otro lado el grafico también muestra que hay muchos puntos fuera de los limites de control por lo cual esto requiere de acciones sobre el proceso, ya sea una modificación en el molde o en los parámetros de inyección que permitan entrar el punto en estado de control.

**Acción:**

Se volverán a tomar muestras del producto para validar este grafico de control en caso de que se siga manteniendo fuera de control se procederá a acciones directa sobre el proceso de inyección del lente y la carcasa que son las partes que forman la parte exterior del Head Lamp en caso de que el proceso este bajo control quiere decir que evoluciono o que los datos tomados fueron erróneos por alguna falta de capacitación del personal.

**Medición 2 del punto SPC 2.**

Por lo que se procederá a evaluar nuevamente el punto ya que es necesario empezar con esta investigación de la causa del descontrol que no necesariamente puede ser el proceso, también intervienen puntos de mucha importancia que son las mediciones de los operadores, además como es un producto de arranque la capacitación o el conocimiento del producto y sus procedimientos tienen una etapa de aprendizaje en la cual se ven reflejados muchas veces errores por rechazos de material Ok en este caso es el error alfa, por lo cual se tomo la decisión de volver a tomar muestras para verificar que el proceso se encuentra fuera de control.

<b>Nombre del Producto</b>	<b>Head Lamp</b>	<b>Muestra</b>	<b>Tamaño</b>	<b>N=100</b>
<b>Características</b>			Intervalo	1 hora
<b>Unidad de medición</b>	Mm	Punto N°	1	
<b>Limites de especificación</b>	Max	0.7		
	Min	-0.7		
<b>N° de especificación</b>				

<b>N° de subgrupo</b>	<b>Valores Medidos</b>					<b>Suma</b>	<b>Media de Subgrupo</b>	<b>Rango de Sumgrupo</b>
	$\bar{X}_1$	$\bar{X}_2$	$\bar{X}_3$	$\bar{X}_4$	$\bar{X}_5$			

1	-0.06	0.02	0.04	-0.01	0.06	0.05	0.01	0.12
2	0.08	-0.03	0.08	0.11	-0.03	0.21	0.042	0.14
3	0.04	-0.04	-0.09	-0.07	-0.13	-0.29	-0.058	0.17
4	0.14	-0.24	-0.1	-0.12	0.01	-0.31	-0.062	0.38
5	-0.18	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	-0.41	-0.082	0.2
6	0.09	-0.06	0.14	0.16	-0.22	0.11	0.022	0.38
7	0	-0.06	0.01	-0.05	-0.06	-0.16	-0.032	0.07
8	-0.09	-0.07	-0.13	-0.05	-0.07	-0.41	-0.082	0.08
9	-0.1	-0.12	0.09	-0.06	0.14	-0.05	-0.01	0.26
10	-0.18	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	-0.41	-0.082	0.2
11	0.16	-0.22	0	-0.06	0.01	-0.11	-0.022	0.38
12	-0.05	-0.06	-0.09	-0.07	-0.13	-0.4	-0.08	0.08
13	-0.05	-0.07	-0.1	-0.12	0.01	-0.33	-0.066	0.13
14	0.08	-0.04	0.01	-0.04	0.16	0.17	0.034	0.2
15	0.08	-0.07	-0.14	-0.24	-0.06	-0.43	-0.086	0.32
16	-0.05	0.01	-0.18	0.16	-0.24	-0.3	-0.06	0.4
17	-0.09	-0.07	-0.13	-0.06	0.14	-0.21	-0.042	0.27
18	-0.1	-0.12	0.01	-0.06	0.01	-0.26	-0.052	0.13
19	-0.07	-0.14	-0.04	0.02	0.02	-0.21	-0.042	0.16
20	-0.22	0	-0.06	0.01	-0.03	-0.3	-0.06	0.23
						Medias	-0.0405	0.215

Tabla 9.

Datos de mediciones tomadas para el SPC 2, cálculo de medias y rangos, para evaluación.

<b>Gráfico de control X</b>	<b>Gráfico de control R</b>
UCL=X+A2R	UCL=D4R
0.08356	0.45451
LCL=X+A2R	LCL=D3R
-0.16456	0

Tabla 10 Cálculo de los límites de control para el grafico X-R del SPC 2 Flush, para evaluación.

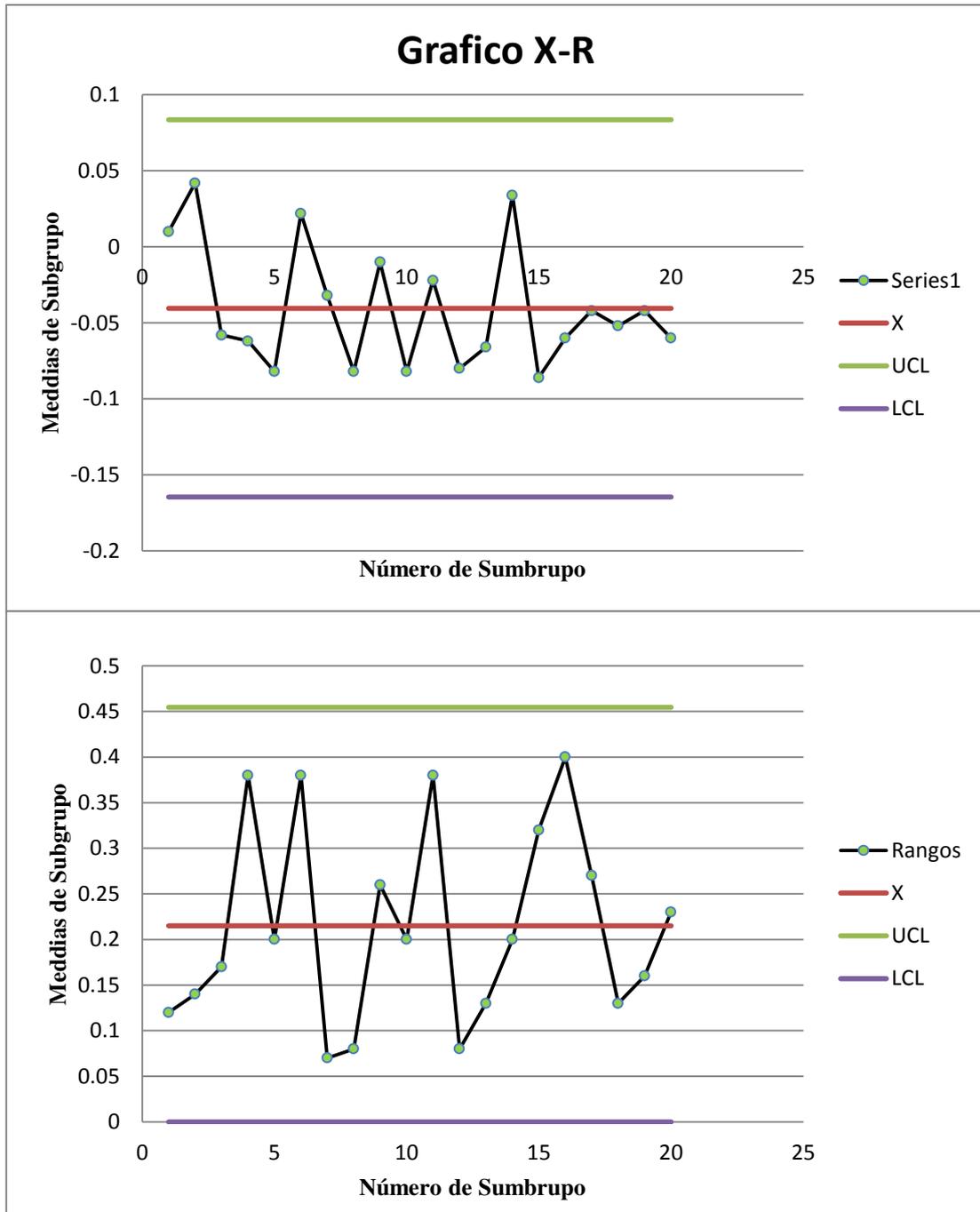


Figura 27

Grafico de control del SPC 2 referido al Flush para evaluación.

Como se observa en la figura 27 se ve un proceso controlado ya que en el grafico X (medias) ya que se monitoreo el proceso y se mostro que probablemente los datos anteriores pudieran haber sido erróneos cuando se tomaron las mediciones de esto podemos decir que fue más que nada la etapa de aprendizaje. Y que ahora como el personal encargado de tomar las mediciones conoce el producto y el manejo de los

medidores de una mejor manera, la variación de operador a operador no impacta así como la variación de pieza a pieza que para comprobarlo necesitaríamos hacer un estudio GR&R, que para esta situación no es pertinente, el grafico de R (rangos) entraron también en control como se observa en la figura 27, no se ven tendencias ni un comportamiento del cual nos comenzaríamos a preocupar, por lo cual, pasaremos a la siguiente etapa del método.

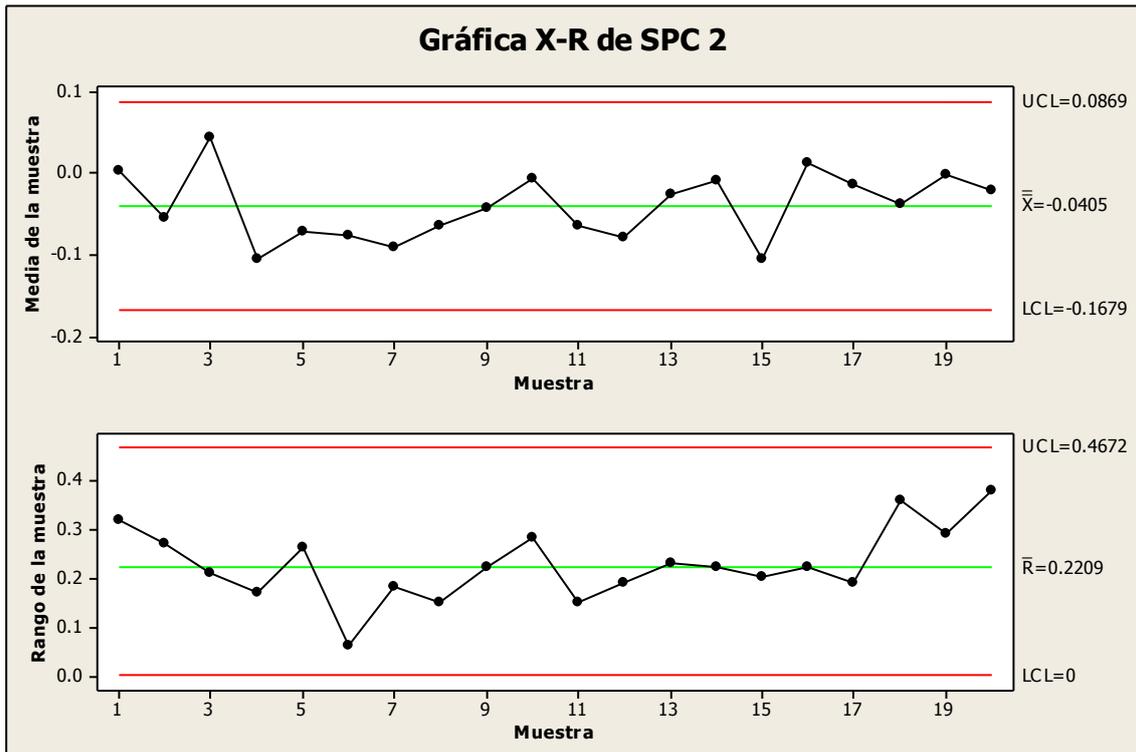


Figura 28

Grafica X-R del SPC 2 para su valoración.

Grafica X-R Realizada en Minitab como observamos los datos calculados, son parecidos a los realizados por nuestros cálculos comparando con los nuestros tenemos un UCL menor la media de muestras pero aun así nuestro grafico muestra el proceso bajo control de la misma manera que el Minitab, por lo demás los resultados son parecidos ver la tabla 9.

Aunque se puede decir que proceso tiene un poco mas de movilidad en el caso uno se aprecia que los limites de control tiene un rango mucho menor esto también nos ayuda a que nuestro proceso no se salga tan fácil de control por lo cual se busca que también el

proceso no sea tan cerrado, porque como observamos en la figura 25 como el rango entre los límites de control es muy pequeño fácilmente se sale de control ante cualquier variación del proceso, en este sentido podemos también interpretar que tampoco es tan adecuado tener un proceso tan controlado ya que probablemente estés invirtiendo demás en cuanto a calidad esto quiere decir que al cliente le estás dando mayor calidad de la que te pide y eso también es muy importante mantenerlo ya que como lo estamos viendo la calidad cuesta.

## 6. Analizar de los datos recopilados.

Procederemos a calcular los índices de capacidad en de SPC 1 y del SPC 2, para el SPC 2 veremos que su índice de capacidad en las dos circunstancias dentro y fuera de control.

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL-LSL}{6(\bar{R}/d_2)} \quad (1)$$

$C_{pk}$  Es calculado por el mínimo de CPU (ecuación 2) o CPL (ecuación 3).

$$CPU = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3\sigma_c} = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3(\bar{R}/d_2)} \quad (2)$$

$$CPL = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3(\bar{R}/d_2)} \quad (3)$$

### $C_p$ y $C_{pk}$ Del SPC 1.

Tomando los datos de los cálculos de las gráficas de control, así como de las especificaciones del cliente para los límites tenemos.

USL = 0.7 Límite superior de especificación.

LSL = -0.7 Límite inferior de especificación.

$\bar{R}$  = 0.265 Media de rangos.

$d_2$  = 2.326 Constante por número de cantidad de muestras por subgrupo, tomada de la tabla del apéndice.

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL-LSL}{6(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$C_p = \frac{0.7-(-0.7)}{6(0.265/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$C_p = 2.04$$

Calculado.

$C_{pk}$  Es calculado por el mínimo de CPU (ecuación 2) o CPL (ecuación 3).

USL = 0.7 Límite superior de especificación.

LSL = -0.7 Límite inferior de especificación.

$\bar{\bar{X}}$  = -0.1186 Media de rangos.

$\bar{R}$  = 0.265 Media de rangos.

$d_2$  = 2.326 Constante por número de cantidad de muestras por subgrupo, tomada de la tabla del apéndice.

$$CPU = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3\sigma_c} = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$CPU = \frac{0.7-(-0.1186)}{3(0.265/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$CPU = 2.395$$

Calculado.

$$CPL = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$CPL = \frac{(-0.1186)-(-0.7)}{3(0.265/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$CPL = 1.7$$

Calculado.

$C_{pk} = 1.7$  Ya que el CPL fue el menor entonces se tiene un índice de capacidad muy bueno ya que aunque no se encuentre centralizado el proceso tiene una habilidad potencial muy buena.

Analizando los resultados del  $C_p$  y  $C_{pk}$ , tenemos una diferencia no muy grande pero que nos habla de un problema de centralización del proceso, esto quiere decir que la media de las mediciones no es media entre las especificaciones del cliente, por lo que hay un área de oportunidad para la mejora del proceso, por otro lado ese index nos habla que en nuestro proceso con esta capacidad tenemos poco scrap por la posibilidad de que este punto salga fuera de especificación.

Sin embargo el  $C_p$  no es válido para este caso ya que el proceso no está centrado y si se lograra centrar el proceso el  $C_p$  y el  $C_{pk}$  serian iguales, esto también se puede interpretar de acuerdo a la tabla 1 que habla de la cantidad de scrap de acuerdo con el valor del índice  $C_p$  pero especifica que es solo cuando el sistema está centrado, por otro lado tenemos el  $C_{pk}$  que este es útil cuando el proceso no está centrado, pero que nos da una valiosa información del proceso ya que aunque tenga problemas de centralidad el proceso se encuentra muy estable y dentro de especificación en el SPC 1, esto quiere decir que por problemas de este punto tendremos un scrap de aproximadamente 3PPM'S es decir 3 partes de cada millón que se produzcan, con un  **$C_{pk}$  de 1.7**, esto no significa que el producto completo no tenga ningún problema, se tiene que llevar a cabo el análisis en cada punto para determinar las condiciones del proceso.

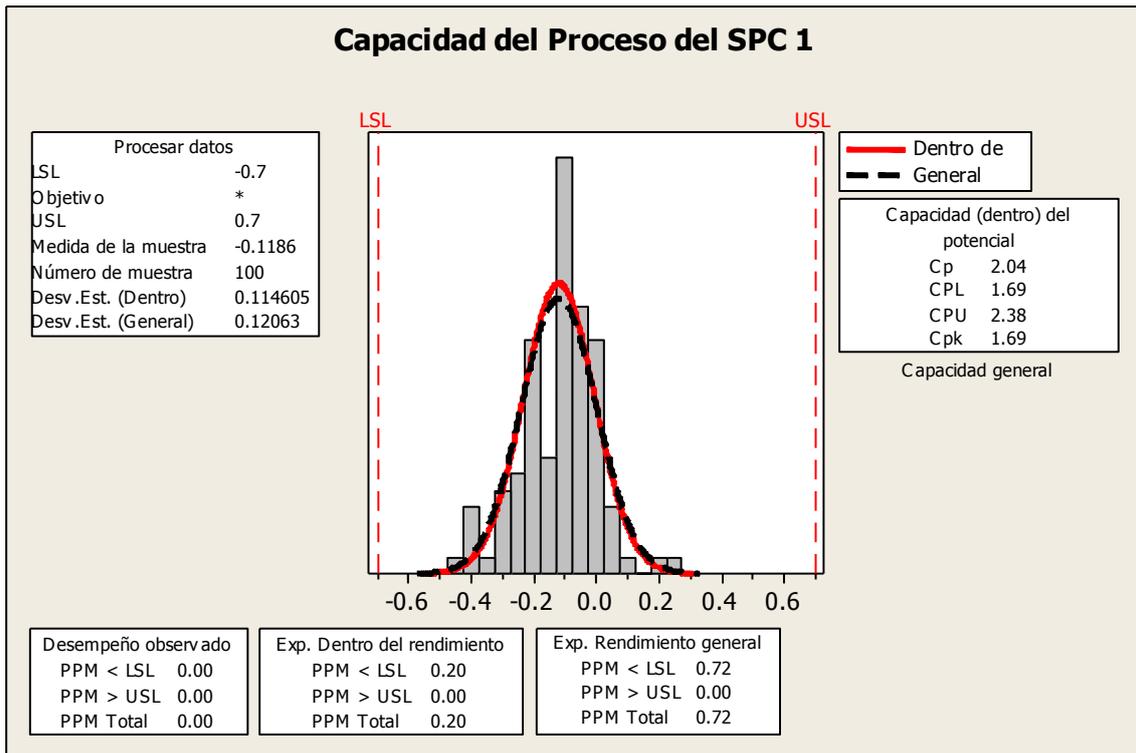


Figura 29

#### Análisis de capacidad del proceso en Minitab.

Observe la figura 29 la cual muestra la distribución de los puntos con la cual nos da un  $C_p=2.04$  y un  $C_{pk}$  de  $1.69 \approx 1.7$ , un resultado casi idéntico al nuestro, además aquí nos muestra la distribución de todos los puntos muestrales tomados, muy importante mencionar la relación del  $C_p$  y el  $C_{pk}$  con el scrap que potencialmente se puede generar observar la figura.

Como conclusión para este punto la capacidad potencial del proceso es muy buena ya que tiene un índice de capacidad superior a 1.33 en este caso el  $C_{pk}$  de  $1.69 \approx 1.7$ , nos habla de un proceso muy bueno y con bajo nivel de scrap por esta causa.

Podemos también decir que el método empleado para el cálculo de los índices es confiable ya que como comprobación se usó una herramienta estadística de calidad muy importante como lo es el Minitab.

#### $C_p$ y $C_{pk}$ Del SPC 2.

Tomando los datos de los cálculos de las gráficas de control, así como de las especificaciones del cliente para los límites tenemos.

USL = 0.7 Límite superior de especificación.

LSL = -0.7 Límite inferior de especificación.

$\bar{R} = 0.276$  Media de rangos.

$d_2 = 2.326$  Constante por número de cantidad de muestras por subgrupo, tomada de la tabla del apéndice.

$$C_p = \frac{USL-LSL}{6\sigma_c} = \frac{USL-LSL}{6(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$C_p = \frac{0.7-(-0.7)}{6(0.276/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$C_p = 1.68$$

Calculado.

$C_{pk}$  Es calculado por el mínimo de CPU (ecuación 2) o CPL (ecuación 3).

USL = 0.7 Límite superior de especificación.

LSL = -0.7 Límite inferior de especificación.

$\bar{\bar{X}} = -0.0223$  Media de rangos.

$\bar{R} = 0.276$  Media de rangos.

$d_2 = 2.326$  Constante por número de cantidad de muestras por subgrupo, tomada de la tabla del apéndice.

$$CPU = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3\sigma_c} = \frac{USL-\bar{\bar{X}}}{3(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$CPU = \frac{0.7-(-0.0223)}{3(0.276/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$CPU = 2.02$$

Calculado.

$$CPL = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3\sigma_c} = \frac{\bar{\bar{X}}-LSL}{3(\bar{R}/d_2)}$$

Formula.

$$CPL = \frac{-0.0223-(-0.7)}{3(0.265/2.326)}$$

Sustitución de datos.

$$CPL = 1.9$$

Calculado.

$C_{pk} = 1.9$  Ya que el CPL fue el menor entonces se tiene un índice de capacidad muy bueno ya que aunque no se encuentre centralizado el proceso tiene una habilidad potencial muy buena.

Hay que tomar en cuenta que este punto se encuentra fuera de control con los datos, con los cuales se están calculando por lo cual se hará una comparación entre estos valores y los obtenidos en la comprobación del SPC 2. A simple vista podríamos interpretar que el proceso se encuentra en excelente estado, pero como lo mencionamos antes en este caso el rango de variación para el proceso era muy reducido aun estando bajo control y dentro de especificación por lo cual se tuvo que hacer una revaloración del punto, cuando el proceso es demasiado esbelto puede a futuro tener algún problema, si llegas a tener un problema en el proceso tu variación permitida será muy pequeña lo cual hará que salgas de control y tus datos no te darán la certeza de que tienes un proceso confiable. También cuando te audite el cliente el proceso puede cerrarse a lo que tu capacidad alguna vez fue y exigirte, sin embargo también por eso es bueno poder mantener un rango lo suficientemente amplio pero que mantenga tus índices de capacidad iguales o mayores a 1.33.

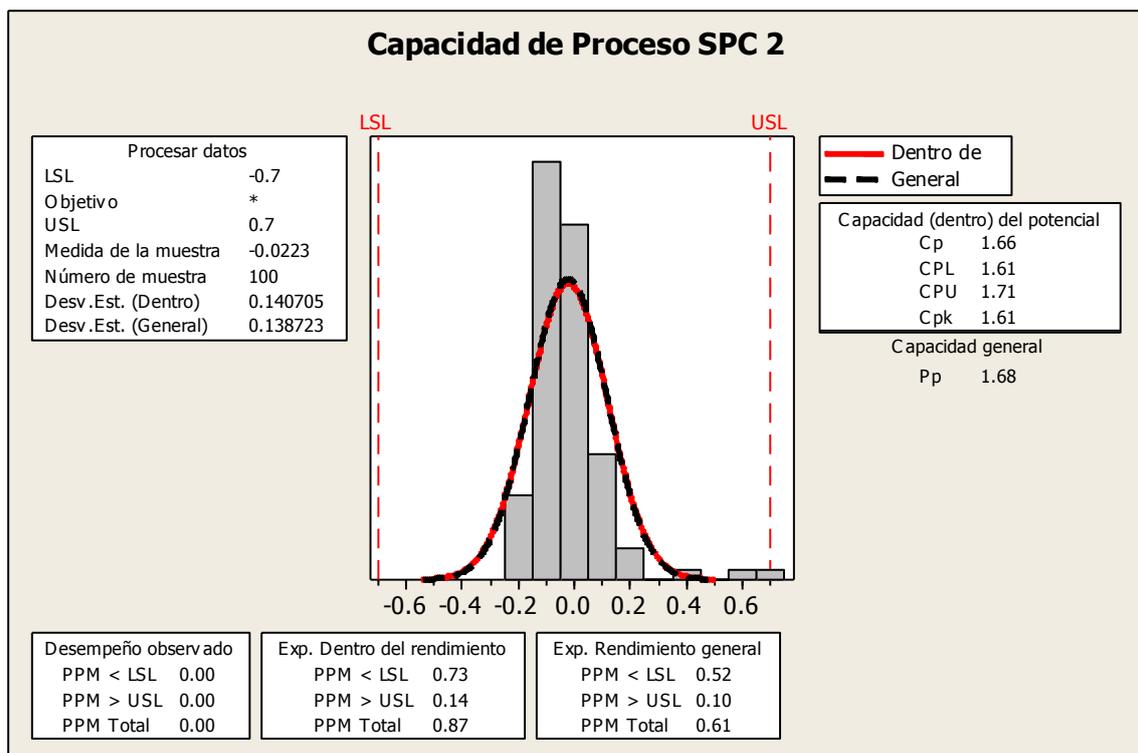


Figura 30

Análisis de capacidad del proceso en Minitab.

### ***3.4 Conclusiones***

Como conclusión debemos tomar en cuenta que hay muchas fuentes de variación en las cuales podemos encontrar las causas comunes y las asignables sin embargo estas fuentes de variación deben permitir poder tener un proceso bajo control para poder hacer las mediciones de los índices de capacidad, tomar en cuenta que el control estadístico, en este caso el uso de los gráficos de control va muy ligado con el cálculo de los índices de capacidad, además de que cuando se comiencen a analizar los datos tener una cantidad suficiente de estos además que sean aleatorios ayudara a realmente tener un dato confiable de la aleatoriedad el proceso es muy importante ya que la distribución nos hablara realmente de la característica de este.

Tomar en cuenta que  $C_p$  y el  $C_{pk}$  hablan de una capacidad potencial es decir que no es solo en el momento si no que se puede preservar. Cabe mencionar que el calculo de estos índices está ligado con la cantidad de scrap de cualquier planta o sistema de producción que te habla de los defectos.

El  $C_p$  solo lo usamos cuando los datos están centrados va ligado con él, es decir en una distribución normal entre los limites inferior y superior de especificación,  $C_{pk}$  pero este si toma en cuenta los problemas de centralidad por lo cual es mas el adecuado cuando.

Este es un ejemplo práctico en el cual se toman medidas no solo de un punto si no de varios puntos por lo cual podemos decir que el  $C_{pk}$  debe ser medido en cualquiera de los puntos que se considere una característica critica del producto en este caso que el dimensional del producto sea el adecuado y reducir los rechazos por dimensional.

Importante mencionar que al inicio de cualquier proyecto las primeras piezas antes de la aprobación de las 5 faces del proyecto, cada una de las piezas tienen que enviarse dimensionadas al 100% al cliente lo cual te guiara en cómo se comportara el proceso en producción, en estas fases se deben de tomar todas las acciones posibles para que se reduzca la variación así como entender la parte de conocimiento del proceso, etapas de aprendizaje así como.

Tomar en cuenta que en las auditorías internas como externas es muy importante tener índices de capacidad adecuados ya que estos hablan de la calidad que se le está garantizando al cliente, el cliente regularmente solicita los índices de capacidad y los comprueba en muchas de las ocasiones.

Tener una buena interpretación de los puntos fuera de control y como llevarlos o identificar si hay algún error desde los gráficos de control y la toma de muestras es muy importante.

APENDICE

Table of Constants and Formulas for Control Charts*								
Subgroup Size	$\bar{X}$ and R Charts				$\bar{X}$ and s Charts			
	Chart for Averages	Chart for Ranges (R)			Chart for Averages	Chart for Ranges (R)		
	Control Limits Factor	Divisors to Estimate $\sigma_X$	Factors for Control Limits		Control Limits Factor	Divisors to Estimate $\sigma_X$	Factors for Control Limits	
	A <sub>2</sub>	d <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
2	1.880	1.128	—	3.267	2.659	0.7979	—	3.267
3	1.023	1.693	—	2.574	1.954	0.8862	—	2.568
4	0.729	2.059	—	2.282	1.628	0.9213	—	2.266
5	0.577	2.326	—	2.114	1.427	0.9400	—	2.089
6	0.483	2.534	—	2.004	1.287	0.9515	0.030	1.970
7	0.419	2.704	0.076	1.924	1.182	0.9594	0.118	1.882
8	0.373	2.847	0.136	1.864	1.099	0.9650	0.185	1.815
9	0.337	2.970	0.184	1.816	1.032	0.9693	0.239	1.761
10	0.308	3.078	0.223	1.777	0.975	0.9727	0.284	1.716
11	0.285	3.173	0.256	1.744	0.927	0.9754	0.321	1.679
12	0.266	3.258	0.283	1.717	0.886	0.9776	0.354	1.646
13	0.249	3.336	0.307	1.693	0.850	0.9794	0.382	1.618
14	0.235	3.407	0.328	1.672	0.817	0.9810	0.406	1.594
15	0.223	3.472	0.347	1.653	0.789	0.9823	0.428	1.572
16	0.212	3.532	0.363	1.637	0.763	0.9835	0.448	1.552
17	0.203	3.588	0.378	1.622	0.739	0.9845	0.466	1.534
18	0.194	3.640	0.391	1.608	0.718	0.9854	0.482	1.518
19	0.187	3.689	0.403	1.597	0.698	0.9862	0.497	1.503
20	0.180	3.735	0.415	1.585	0.680	0.9869	0.510	1.490
21	0.173	3.778	0.425	1.575	0.663	0.9876	0.523	1.477
22	0.167	3.819	0.434	1.566	0.647	0.9882	0.534	1.466
23	0.162	3.858	0.443	1.557	0.633	0.9887	0.545	1.455
24	0.157	3.895	0.451	1.548	0.619	0.9892	0.555	1.445
25	0.153	3.931	0.459	1.541	0.606	0.9896	0.565	1.435

Statistical Process Control (SPC) Manual available from AIAG