



**Universidad Autónoma de Querétaro  
Facultad de Ingeniería**



Ingeniería en Automatización  
Línea terminal en Sistemas Industriales.

# TESINA

“ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN (MSA) EN MÁQUINA AUTOMATIZADA,  
PARA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LUCES TRASERAS, MERCEDES BENZ”

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de Ingeniero en Automatización.

Presenta:

Sergio Olguín Sánchez.

Exp. 144658

Dirigido por:

Dr. Juan José Méndez Palacios.

Querétaro, Qro. Agosto 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.

# I. ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>II. Resumen</b>	4
<b>III. Justificación</b>	5
<b>IV. Objetivos</b>	6
4.1 Objetivo General	6
4.2 Objetivos Específicos	6
<b>V. Antecedentes</b>	7
5.1 MSA Análisis del Sistema de Medición	7
5.2 Sistemas de Medición	7
5.3 Calidad de las Mediciones	7
5.4 Definición del Problema	7
<b>VI. Introducción</b>	8
6. Marco Teórico	8
6.1 Conceptos	8
6.2 Términos	8
6.3 Proceso de Medición	17
6.4 Propiedades Estadísticas de los Sistemas de Medición	19
6.5 Puntos de Medición	25
6.6 Definiciones y Fuentes Potenciales de Variación	26
6.7 Discriminación	29
6.8 Variación del Proceso de Medición	32
6.9 Variación de Localización	32
6.10 Ancho de la Variación	37
6.11 Reproducibilidad	38
6.12 R&R o GRR del Calibre, Escantillón o Gage	40
6.13 Variación en el Sistema de Medición	42
6.14 Análisis del Problema de Medición	45
6.15 Lineamientos para determinar la Repetibilidad y Reproducibilidad	47
6.16 Método de Análisis de Varianza (ANOVA)	54

<b>VII. Desarrollo</b>	
<b>Análisis del Sistema de Medición (MSA) en Máquina Automatizada, para línea de producción de luces traseras, Mercedes Benz</b>	<b>55</b>
7.1 Fender	55
7.2 Trunk	57
7.3 Sistema de identificación de piezas y embarques	59
7.4 Puntos de medición en las piezas	60
7.4.1 Fender	61
7.4.2 Trunk	61
7.5 Maquina Automatizada (3d Online)	63
7.5.1 3d Online Fender (imágenes)	64
7.5.2 3d Online Trunk (imágenes)	65
7.6 Análisis de Repetibilidad y Variación de la Medición	66
7.7 Propuestas de Mejora y Factibilidad	68
7.8 Factibilidad	71
7.9 Validación de Mejoras y Análisis	73
7.10 Análisis de Transductores y Mejoras	74
7.11 Aseguramiento de la capacidad del proceso	75
<b>VIII. Conclusión</b>	<b>76</b>
<b>IX. Bibliografía</b>	<b>78</b>
<b>ANEXO A</b>	<b>79</b>
<b>ANEXO B</b>	<b>83</b>

## II. RESUMEN

El presente trabajo hará referencia al análisis del sistema de medición de una maquina automatizada la cual es parte de un proceso de producción de luces traseras para el cliente Mercedes Benz, el proyecto siguiente fue desarrollado en la empresa Valeo Sylvania como parte de mi estadía profesional en la empresa.

Se presenta como surge el proyecto debido a una reclamación del cliente dado que no se cumplieron las expectativas dimensionales de las piezas, originando una investigación de la causa raíz en la mala interpretación de las dimensiones sobre las partes.

Se lleva a cabo una explicación breve de la maquina y su funcionamiento así como la importancia que tiene durante el proceso dado que es la encargada de discriminar entre producto conforme o no conforme. Se dirán cuales son las características críticas de las piezas y cuáles son las que nuestro sistema de medición le incumbe.

Se interpretan análisis estadísticos para verificar cual es el estado de la maquina y por ende en que rubros está fallando el sistema, para poder formular mejoras y acciones correctivas sobre los problemas.

Las mejoras serán analizadas en cuanto a su impacto en el correcto funcionamiento del sistema, esto conlleva a cuestionarlas sobre tiempo, dinero y factibilidad. Todas las propuestas serán elaboradas por personal de la empresa y personal de la empresa proveedora de la máquina para ser más objetivos.

La validación de las mejoras seleccionadas se llevara a cabo nuevamente con análisis estadísticos para observar el cambio de antes y después de las mismas.

Al alcanzar los objetivos de tener un porcentaje menor al 30% en la repetibilidad de los puntos a medir, se crea un control del sistema esto para evitar otra falla sobre el tema y de igual forma mantener observado el proceso para futuras decisiones.

### **III. JUSTIFICACIÓN**

El análisis de mediciones está presente en todo sistema de producción en la industria, recae en la premisa de si las parte son BUENAS o MALAS, por lo cual el sistema debe ser capaz de distinguirlo, para ello se elabora un análisis de su correcto funcionamiento.

Tanto cliente como proveedor están interesados en la buena discriminación de su producto. La medición es una etapa muy importante en todo proyecto dado que nos dice como estamos, como vamos y si hemos cumplido los objetivos, para ello su sistema de medición debe ser correcto o sino todas resultados serán erróneos.

La automatización en los procesos industriales cada vez avanza con mayor rapidez por lo cual los métodos de análisis estadísticos deben ser diferentes para estos procesos que cuando lo eran en décadas pasadas.

La variación aportada por el operador / usuario ya es nula con la automatización, por lo cual a la hora de evaluar la variación aportada por la reproducibilidad ya no es importante en estudios de medición.

La norma ISO/TS 16949 marca que se deben utilizar estudios estadísticos para analizar la variación en cada sistema de medición. La etapa de medición se hará presenta en todas las metodologías de resolución de problemas, además de ser un requisito en el ramo automotriz.

La satisfacción del cliente es un aspecto importante en una empresa de clase mundial, por lo cual cuando se presenta un problema en la calidad del producto este debe ser resuelto de una forma eficiente y efectiva.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivo General**

El propósito del siguiente proyecto es analizar y resolver los problemas que se encuentran en un sistema de medición referente a una línea de producción. Que el sistema sea capaz de discriminar entre producto conforme y no conforme respecto a las características de calidad que el cliente requiere. Una evaluación a los sistemas de medición para equipos automatizados o en los que la variación aportada por el usuario es nula. Optar por las acciones correctivas con mayor factibilidad respondiendo favorablemente a los criterios de tiempo y dinero, así como elaborar un sistema de control el cual sea capaz de medir la efectividad del sistema de medición y su desgaste.

### **4.2 Objetivos Específicos**

- Análisis de los puntos defectuosos que el cliente ha encontrado sobre el producto.
- Evaluación y análisis del sistema de medición y posibles fallas.
- Encontrar mejoras y acciones correctivas para el sistema de medición, con el soporte de los especialistas que elaboran el equipo.
- Validación de mejoras realizadas por medio del estudio de medición nivel tipo 1.
- Elaboración de sistema de control y comparación, el cual sea monitoreado para futuras fallas o toma de decisiones.
- Alcanzar un porcentaje de repetibilidad menor al 30% en cada una de las características críticas del producto.

## **V. ANTECEDENTES**

### **5.1 MSA Análisis del Sistema de Medición**

El propósito del Manual MSA es proporcionar una guía para evaluar la calidad de un sistema de medición. Esta herramienta al igual que el APQP, PPAP, AMEF y SPC es considerada parte de las Core Tools del sector automotriz y es un requerimiento de la especificación técnica ISO/TS 16949.

### **5.2 Sistemas de medición.**

El Manual MSA desarrollado por la AIAG, trata con sistemas de medición, entendidos estos como el conjunto de instrumentos o gages, patrones, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos usados para cuantificar una unidad de medida o preparar la evaluación de una característica o propiedad a ser medida. Es el proceso completo usado para obtener mediciones.

### **5.3 Calidad de las mediciones.**

El concepto básico del MSA es la calidad de las mediciones, que son las propiedades estadísticas de mediciones múltiples obtenidas de un sistema de medición operando en condiciones estables.

### **5.4 Definición del problema**

Se presentan anomalías en las dimensiones de las luces traseras, estos excesos y faltas de material en la pieza no pudieron ser detectados por el sistema de medición de la línea de producción, lo cual nos lleva a elaborar un análisis y una corrección del problema en el equipo, siendo efectivos y eficientes a la hora de resolverlo así también generar un sistema de control para evitar futuras fallas.



## VI. INTRODUCCIÓN

### 6. MARCO TEÓRICO

#### 6.1 CONCEPTOS

**Medición:** asignación de números [o valores] a cosas materiales para representar las relaciones entre ellos con respecto a propiedades particulares. Esta definición fue dada por C. Eisenhart (1963). El proceso de asignación de números es definido como el proceso de medición, y el valor asignado es definido como valor de medición.

**Calibre o escantillón (gage):** dispositivo utilizado para obtener mediciones; utilizado frecuentemente para referirse específicamente a los dispositivos utilizados en el piso de manufactura.

**Sistema de medición:** es el grupo de instrumentos o calibres, estándar, operaciones, métodos, dispositivos, software, personal, medio ambiente y supuestos utilizados para cuantificar una unidad de medida o valoración determinada al rasgo de la característica medida; proceso completo utilizado para obtener mediciones.

De estas definiciones podemos decir que un proceso de medición puede ser visto como un proceso de manufactura que produce números (datos) para sus producciones.

#### 6.2 TÉRMINOS

##### Estándar

- Base aceptada para comparación
- Criterio de aceptación
- Valor conocido, dentro de límites establecidos de incertidumbre, aceptado como un valor verdadero
- Valor de referencia

Un estándar debe ser una definición operacional: una definición la cual produce los mismos resultados cuando es aplicado por el proveedor o cliente, con el mismo significado ayer, hoy y mañana.

## Equipo básico

- **Discriminación, legibilidad, resolución**
  - Alias: unidad legible más pequeña, medición de resolución, límite de escala o detección del límite
  - Una propiedad inherente fija por diseño
  - Unidad de escala más pequeña de medida o producción para un instrumento
  - Reportado siempre como unidad de medida
  - 10 a 1 de modo empírico
  
- **Resolución efectiva**
  - La sensibilidad de un sistema de medición a una variación del proceso para una aplicación particular.
  - Insumo más pequeño que resulta en una producción utilizable señal de medición.
  - Reportado siempre como una unidad de medida
  
- **Valor de referencia**
  - Valor aceptado de un artefacto
  - Requiere una definición operacional
  - Utilizado como el sustituto para el valor verdadero
  
- **Valor verdadero**
  - Valor actual de un artefacto
  - Desconocido y incognoscible

## Variación de localización

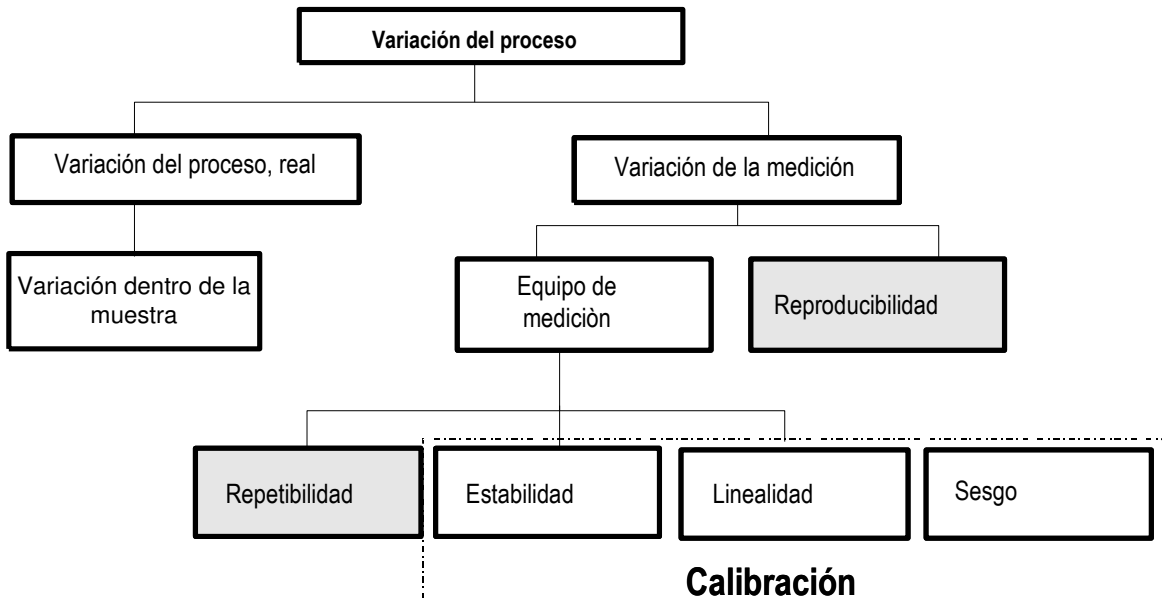


Figura 1. Mapa sobre la variación contenida en las partes debido a la variación real y la variación aportada por la medición.

- **Exactitud**

- “cercanía” al valor verdadero, o un valor de referencia aceptado
- ASTM incluye el efecto de posición y amplitud de error

- **Sesgo**

- Diferencia entre el promedio de mediciones observadas y el valor de referencia
- Un componente de error sistemático del sistema de medición

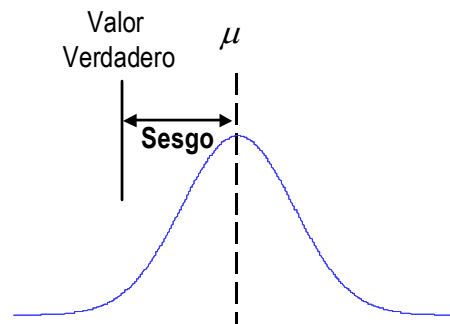


Figura 2. Diferencia entre el promedio de mediciones observadas y el valor de referencia.

▪ **Estabilidad**

- El cambio en sesgo en el tiempo
- Un proceso de medición estable está en control estadístico con respecto a la localización
- Alias: desplazamiento

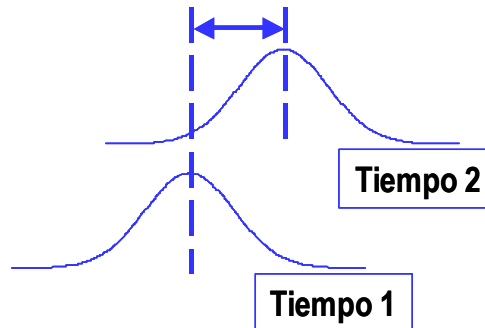


Figura 3. Cambio del sesgo con el tiempo.

▪ **Linealidad**

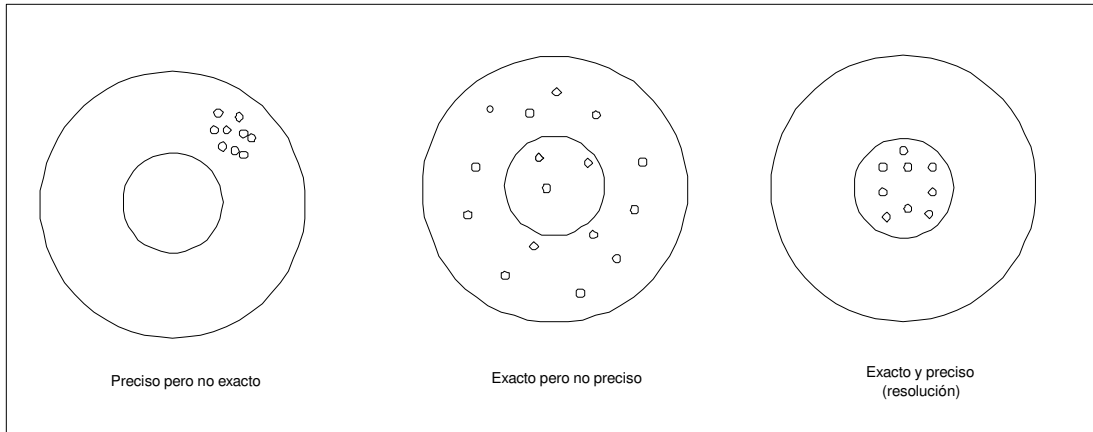
- El cambio en sesgo sobre el rango de operación normal
- La correlación de errores de sesgos múltiples e independientes sobre el rango de operación.
- Componente de error sistemático del sistema de medición



Figura 4. El cambio en sesgo sobre el rango de operación normal.

▪ **Precisión**

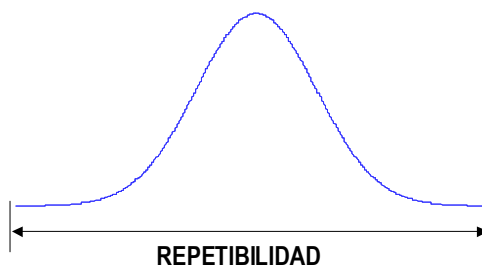
- Cercanía a lecturas repetidas unas a otras
- Componente de error aleatorio del sistema de medición



*Figura 5. Cercanía de las lecturas unas de otras.*

▪ **Repetibilidad**

- Variación en mediciones obtenidas con un instrumento de medición cuando es utilizado varias veces por un evaluador mientras se mide la característica idéntica en la misma parte.
- La variación en pruebas sucesivas (corto plazo) bajo condiciones de medición fijas y definidas.
- Referido comúnmente como variación en equipo
- Capacidad o potencial de instrumento (calibre)
- Variación dentro del sistema



*Figura 6. Variación en pruebas sucesivas bajo condiciones de mediciones fijas y definidas.*

### ▪ Reproducibilidad

- Variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores utilizando el mismo calibre en la medición de la característica de una parte.
- Para la calificación de un producto y proceso, el error puede ser el evaluador, ambiente (tiempo), o método.
- Comúnmente referido a variación por evaluador
- Variación entre el sistema (condiciones)
- ASTM E456-96 incluye la repetibilidad, laboratorio, y efectos del medio tanto como efectos del evaluador.

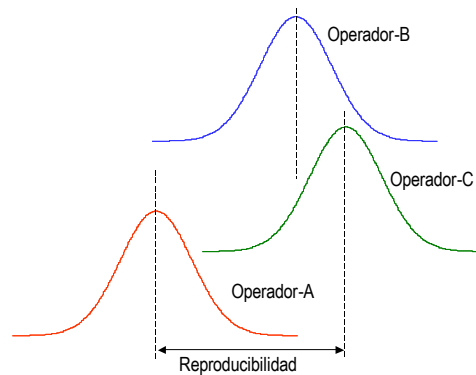
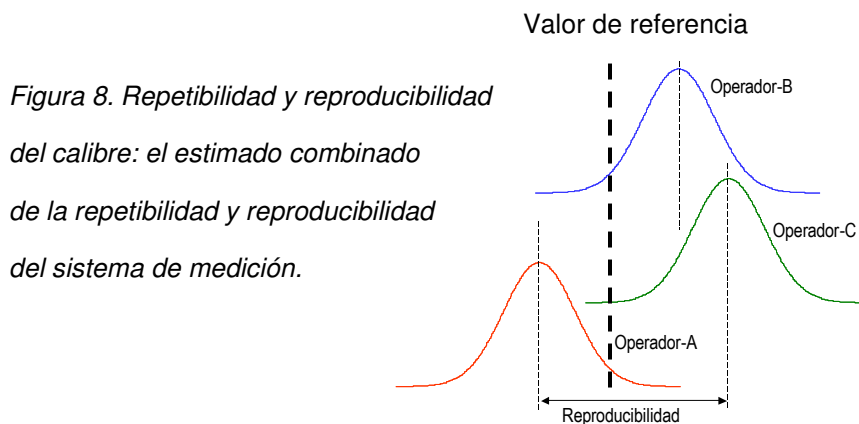


Figura 7. Variación en el promedio de las mediciones hechas por diferentes evaluadores utilizando el mismo calibre en la medición de la característica de una parte.

### ▪ GRR o R&R de Gage o calibre

- Repetibilidad y reproducibilidad de calibre: el estimado combinado de la repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición
- Capacidad del sistema de medición; dependiendo del método utilizado, puede o no incluir los efectos del tiempo



- **Capacidad del sistema de medición**
  - Estimado a corto plazo de la variación del sistema de medición (ej. “GRR” incluyendo gráficas)
  
- **Desempeño del sistema de medición**
  - Estimado a largo plazo de la variación del sistema de medición (ej. Método de gráficas de control a largo plazo).
  
- **Sensibilidad**
  - Entrada más pequeña que resulta en una señal detectable de salida.
  - Respuesta del sistema de medición a cambios en características medidas.
  - Determinada por el diseño (discriminación) de calibre, calidad inherente (OEM), mantenimiento en servicio, y condición de operación del instrumento y estándar.
  - Siempre reportada como unidad de medida
  
- **Consistencia**
  - Grado de cambio de repetibilidad con el tiempo
  - Un proceso de medición consistente es en control estadístico con respecto a la amplitud (variabilidad)
  
- **Uniformidad**
  - El cambio en repetibilidad sobre el rango normal de operación
  - Homogeneidad de repetibilidad

La variación del sistema de medición es caracterizado como:

- **Capacidad**
  - Variabilidad en lecturas tomadas sobre un periodo de tiempo corto.
  
- **Desempeño**
  - Variabilidad en lecturas tomadas sobre un periodo de tiempo largo
  - Basado en la variación total
  
- **Incertidumbre**
  - Un rango estimado de valores alrededor del valor medido en el cual se presume que se encuentre el valor verdadero.

Todas las caracterizaciones del sistema de medición asumen que el sistema es estable y consistente.

### **Estándares Y Trazabilidad**

El Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) es el principal Instituto Nacional de Mediciones (NMI) en los Estados Unidos. NIST, formalmente, el Buró Nacional de Estándares (NBS) sirve como la mayor autoridad para metrología en Estados Unidos. Tiene como responsabilidades proporcionar servicios de medición y mantenimiento de estándares de medición que asisten a la industria norteamericana en la elaboración de mediciones trazables.



## Institutos Nacionales De Medición

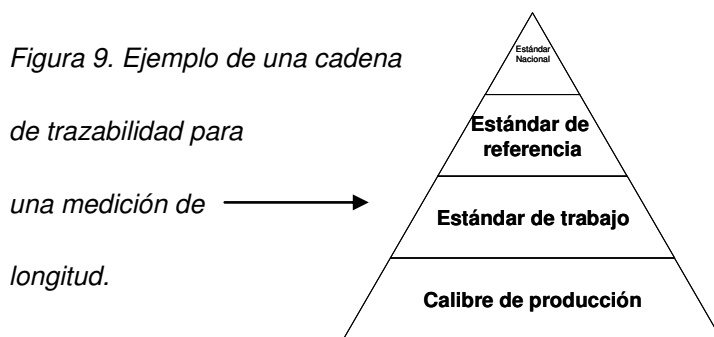
Trabajan en colaboración con otras NMIs para asegurar que mediciones hechas en un país no difieran de otras realizadas en otro país. De acuerdo a los Arreglos de reconocimiento mutuo (MRAs) y ejecutando comparaciones interlaboratorio entre las NMIs. En México se tiene como equivalente al Centro Nacional de Metrología (CENAM).

## Trazabilidad

Es un concepto importante en el comercio de bienes y servicios. La trazabilidad es definida por el ISO Internacional Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM) como:

La propiedad de una medición o el valor de un estándar por el que puede ser relacionado a referencias establecidas, usualmente estándares nacionales o internacionales, mediante una cadena continua de comparaciones siendo todas establecidas bajo incertidumbre.

Con los avances en tecnologías de medición y el uso de sistemas de medición en estado del arte en la industria la definición de cómo y dónde una medición es trazable.



NMIs trabaja de cerca con varios laboratorios nacionales, proveedores, compañías de manufactura de estado del arte para asegurar que sus estándares de referencia son calibrados apropiadamente y trazables directamente a los estándares mantenidos por el NMI.

No todas las organizaciones tienen metrología o laboratorios de calibre en sus instalaciones y dependen de laboratorios externos o independientes para proporcionar calibración de trazabilidad y servicios de medición.

### **Valor Verdadero**

El objetivo del proceso de medición es el valor “verdadero” de la parte. Es deseado que cualquier lectura individual sea tan cercana a este valor como (económicamente) sea posible. Desafortunadamente, el valor verdadero no puede conocerse con certeza. La incertidumbre puede ser minimizada utilizando un valor de referencia basado en una definición operacional bien definida de la característica, y uso de resultados de un sistema de medición con un mayor orden de discriminación y trazabilidad al NIST.

### **6.3 PROCESO DE MEDICIÓN**

Para administrar efectivamente la variación de cualquier proceso, es necesario tener conocimiento de:

- Qué debería estar haciendo el proceso
- Qué puede estar mal
- Qué está haciendo el proceso

Las especificaciones y requerimientos de ingeniería definen lo que debería estar haciendo el proceso.

El propósito de un análisis del modo y efecto de falla del Proceso (PFMEA) es definir el riesgo asociado con las fallas potenciales del proceso y proponer acciones correctivas antes de que esta falla pueda ocurrir. La producción del PFMEA es transferido al plan de control. La inspección, es el acto de examinar los parámetros del proceso, partes en proceso, subsistemas ensamblados y productos completos terminados con la ayuda de estándares y dispositivos de medición que ayudan al observador a confirmar o negar la premisa de que el proceso está operando de una manera estable con variación aceptable del cliente designado.

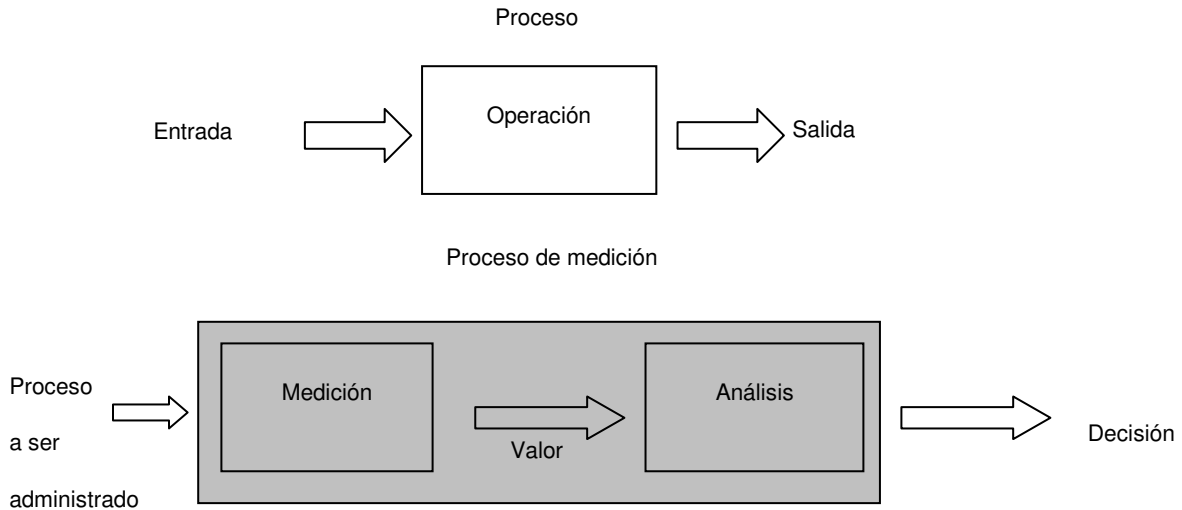


Figura 10. Diagrama de un proceso y un proceso de medición.

La industria ha visualizado tradicionalmente la medición y la actividad de análisis como una “caja negra”. El equipo era el principal enfoque – la característica más importante, la más cara el calibre. La utilidad del instrumento, su compatibilidad con el proceso y ambiente, fueron raramente cuestionados.

La medición y la actividad de análisis es un proceso – un proceso de *medición*. Pueden ser aplicadas a este, cualquiera de las técnicas de control de proceso, administración, estadísticas y lógicas. Esto significa que primero deben ser identificados los clientes y sus necesidades. El cliente, dueño del proceso quiere tomar la decisión correcta con el mínimo de esfuerzo.

El equipo es sólo una parte del proceso de medición. El dueño del proceso debe saber cómo utilizar correctamente este equipo y como analizar e interpretar los resultados. El dueño del proceso tiene la obligación de monitorear y controlar el proceso de medición para asegurar los resultados correctos y estables.

## 6.4 PROPIEDADES ESTADÍSTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDICIÓN

Un sistema ideal de medición debería producir sólo mediciones “correctas” cada vez que fuera utilizado. Cada medición debería estar de acuerdo al estándar. La calidad de un sistema de medición está usualmente determinado rara vez por las propiedades estadísticas de los datos lo que produce tiempo extra. Son las propiedades estadísticas de los datos producidos que determinan la calidad del sistema de medición.

Las propiedades estadísticas que pueden ser más importantes para un uso, pueden no ser importantes para otro uso. Una máquina de medición por coordenadas (CMM) tienen como propiedades estadísticas sesgos y varianzas “pequeños”. Con esas propiedades generaría mediciones que se encuentran “cerca” a los valores certificados de estándares que son trazables. Los datos obtenidos de esa máquina pueden ser muy útiles para analizar un proceso de manufactura. No importa que tan pequeña sea la desviación y variación del CMM, el sistema de medición que utiliza la CMM tal vez no realice un trabajo aceptable de discriminación entre un producto bueno y malo debido a las fuentes adicionales de variación introducidas por el sistema de medición.

La administración tiene la responsabilidad de identificar las propiedades estadísticas que son más importantes para el uso último de los datos. Para esto se requieren las definiciones operacionales de las propiedades estadísticas, así como los métodos de medición aceptables para medirlas. Existen ciertas propiedades fundamentales que definen un “buen” sistema de medición. Esto incluye:

- 1) Discriminación y sensibilidad adecuada. Los incrementos de medida deberían ser pequeños en relación a la variación del proceso o límites de especificación para el propósito de medición. La regla de 10 a 1, establece que la discriminación del instrumento deberá dividir la tolerancia (variación del proceso) en diez partes o más.
- 2) El sistema de medición debería estar en control estadístico, la variación en el sistema de medición se deba a causas comunes y no debido a causas

especiales. Esto puede conocerse como estabilidad estadística y se evalúa mejor por métodos gráficos.

- 3) Para *control de producto*, la variabilidad del sistema de medición debe ser pequeño comparado a los límites de las especificaciones.
- 4) Para el *control del proceso*, la variabilidad del sistema de medición trata en algo de demostrar una resolución efectiva y de ser pequeña comparada a la variación del proceso de manufactura.

### **Fuentes de variación**

Estas fuentes de variación son debido a causas comunes y especiales. En orden a controlar la variación del sistema de medición:

- 1) Identificar las fuentes potenciales de variación
- 2) Eliminar (cuando sea posible) o monitorear estas fuentes de variación.

Las causas específicas dependerán de la situación. Existen varios métodos de presentación y categorización de estas fuentes de variación tales como los diagramas de causa y efecto, diagramas de árbol, pero los lineamientos presentados aquí se enfocarán en los principales elementos del sistema de medición.

Las siglas S.W.I.P.E. son utilizadas para representar los seis elementos esenciales de un sistema de medición generalizado para asegurar la obtención de los objetivos requeridos. Las siglas significan S: estándar, W: parte o pieza de trabajo, I: instrumento, P: persona y procedimiento y E: medio ambiente.

## Los efectos de variabilidad del sistema de medición

El efecto de varias fuentes de variación en el sistema de medición deberían ser evaluadas sobre un periodo de tiempo corto y uno largo. La *capacidad del sistema de medición* es el error (al azar) del sistema de medición sobre un periodo de tiempo corto. Es la combinación de los errores de linealidad, repetibilidad y reproducibilidad. El *desempeño del sistema de medición*, como con el desempeño de un proceso, es el efecto de todas las fuentes de variación sobre el tiempo. Esto es realizado mediante la determinación si el proceso está en control estadístico, en el objetivo o media de las especificaciones (sin sesgo), y tiene una variación aceptable de GRR sobre el rango de los resultados esperados.

## Efectos en las decisiones

Después de medir una parte, una de las acciones que pueden ser tomadas es determinar el estatus de esa parte. Históricamente, esto podría ser determinado si la parte fuera aceptable o “buena” (dentro de especificaciones) o inaceptable “mala” (fuera de especificaciones).

Bajo la filosofía de control del producto la razón principal de medir la parte es si pasa o no pasa. Con la filosofía de control del proceso el interés se enfoca en si la variación de la parte se debe a causas comunes o a causas especiales en el proceso.

Filosofía	Interés
Control del producto	¿Está la parte en una categoría específica?
Control del proceso	¿Es aceptable y estable la variación del proceso?

Tabla 1: Filosofía del control e impulsor del interés

## Efectos de las decisiones sobre el producto

Para entender mejor el efecto del error en el sistema de medición sobre las decisiones del producto, considere el caso donde toda la variabilidad en lecturas múltiples de una parte se debe a la repetibilidad de calibre y reproducibilidad. Esto es, el proceso de medición se encuentra en control estadístico y tiene cero de sesgo.

En ocasiones se toma una mala decisión cuando una parte de la distribución de la medición sobrepasa un límite. Por ejemplo, una parte “buena” algunas veces puede decirse que es “mala” (riesgo del fabricante o *falsa alarma*),

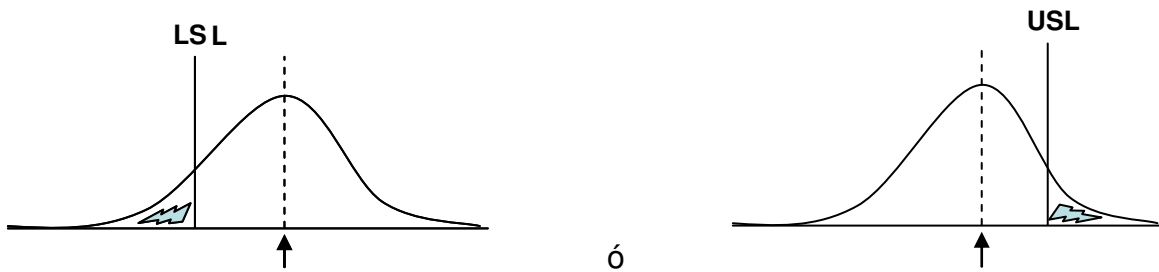


Figura 11. Decisión de pieza mala fuera de los límites.

y una parte mala algunas veces será llamada “buena” (riesgo del consumidor o índice de error).

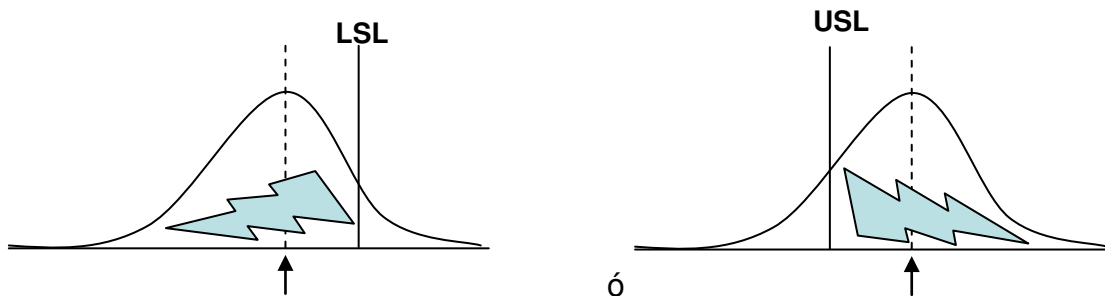


Figura 12. Decisión de pieza buena dentro de los límites.

Esto es, con respecto a los límites de la especificación, el potencial para tomar la decisión errónea sobre la parte existe sólo cuando el error del sistema de medición intercepta el límite de la especificación.

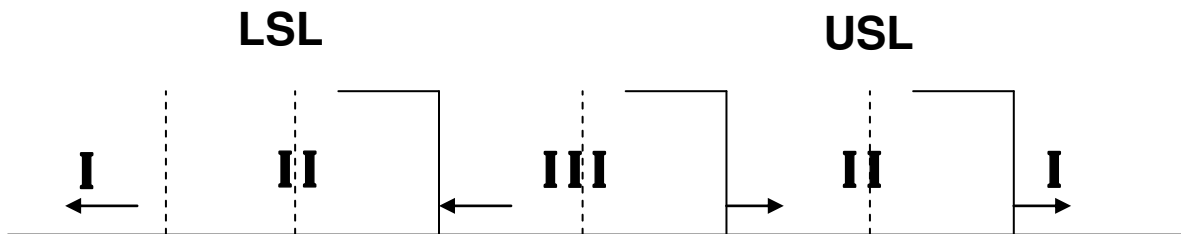


Figura 13. Posibles decisiones respecto a la ubicación de su medición.

Donde:

- I Partes malas siempre serán llamadas malas
- II Toma de una decisión errónea Potencial
- III Partes buenas siempre serán llamadas buenas

Siendo que el objetivo es maximizar las decisiones correctas respecto al estatus de los productos, se tienen dos opciones:

- 1) mejorar el proceso de producción: reducir la variabilidad del proceso para no producir partes en el área II
- 2) Mejorar el sistema de medición: reducir el error del sistema de medición para reducir el tamaño del área II para que todas las partes que sean producidas caigan dentro del área III y así minimizar el riesgo de tomar malas decisiones.



## Efectos de las decisiones sobre el proceso

Con el control del proceso, se necesita tener establecido lo siguiente:

- control estadístico,
- en el objetivo,
- variabilidad aceptable.

El impacto de la medición del error sobre el proceso de decisiones puede ser:

- llamar a una causa común una causa especial,
- llamar a una causa especial una causa común.

La variabilidad del sistema de medición puede afectar la decisión respecto a la estabilidad, objetivo y variación de un proceso. La relación básica entre la variación actual y la observada del proceso es:

$$\sigma_{obs}^2 = \sigma_{actual}^2 + \sigma_{msa}^2$$

Donde:

$\sigma_{obs}^2$  = variación observada del proceso

$\sigma_{actual}^2$  = variación real del proceso

$\sigma_{msa}^2$  = variación del sistema de medición

El índice de capacidad  $Cp$  es definido como

$$Cp = \frac{\text{Rango de tolerancia}}{6\sigma}$$

Puede realizarse también la siguiente ecuación para obtener la relación entre los índices del proceso observado y del proceso actual:

$$(Cp)_{obs}^{-2} = (Cp)_{actual}^{-2} + (Cp)_{msa}^{-2}$$

Asumiendo que el sistema de medición se encuentra en control estadístico y en el objetivo, el  $C_p$  del proceso real puede ser gráficamente comparado al  $C_p$  observado.

Por ejemplo, si el índice del sistema de medición  $C_p$  fuera 2, el proceso actual requeriría un índice  $C_p$  mayor o igual a 1.79 de acuerdo a lo calculado (observado) el índice es 1.33. Si el índice  $C_p$  del sistema de medición fuera por el mismo 1.33, el proceso requeriría no variación si el resultado final fuera de 1.33 – claramente una situación imposible.

## 6.5 PUNTOS DE MEDICIÓN

Tres puntos fundamentales deben ser considerados cuando se evalúa un sistema de medición:

- 1) El sistema de medición debe demostrar sensibilidad adecuada
  - a. Primero, ¿El instrumento (y estándar) tiene una discriminación adecuada? Discriminación (o clase) es fijada por el diseño y sirve como el punto de inicio para la selección de un sistema de medición
  - b. Segundo, ¿El sistema de medición demuestra una resolución efectiva? Relativa a la discriminación, determine si el sistema de medición tiene la sensibilidad para detectar cambios en variación del producto o proceso.
  
- 2) El sistema de medición debe ser estable
  - a. Bajo condiciones de repetibilidad, la variación del sistema de medición se debe a causas comunes y no a causas especiales (caóticas)
  - b. El análisis de medición debe considerar siempre el significado práctico y estadístico.

Como los procesos cambian y mejoran, un sistema de medición debe ser reevaluado para su propósito proyectado.

## 6.6 DEFINICIONES Y FUENTES POTENCIALES DE VARIACIÓN

### Definición operacional

Una definición operacional es una con la cual las personas pueden hacer negocio. Una definición operacional de seguridad, redondeo, confiable, o cualquier otra característica de calidad debe ser comunicable, con el mismo significado tanto para el vendedor como para el comprador. Ejemplo:

1. Prueba específica de una pieza de material o ensamble
2. Criterio de juicio
3. Decisión: si o no, el objeto o el material cumple o no con el criterio.

### Estándar

Un estándar es la base para una comparación definida en consenso, una muestra aceptada. Puede ser un artefacto o conjunto – *ensamble* (instrumentos, procedimientos, etc.) establecido por una autoridad como regla para la medición de cantidad, peso, valor o calidad.

### Estándares de referencia

Un estándar, generalmente de la más alta calidad metrológica disponible en una localización dada, de la cual son derivadas las mediciones hechas en esa localización.

### Equipo de medición y prueba (M&TE)

Todos los instrumentos de medición, estándares de medición, materiales de referencia, y aparatos auxiliares que son necesarios para desempeñar una medición.

### Estándar de calibración

Un estándar que sirve como referencia en el desarrollo de las calibraciones de rutina.

### Estándar de transferencia

Un estándar utilizado para comparar un estándar separado de un valor conocido a la unidad que está siendo calibrada.

### Patrón

Un estándar que es utilizado como una referencia en el proceso de calibración.

### Estándar de trabajo

Un estándar cuyo uso intencionado es realizar mediciones de rutina dentro del laboratorio, no proyectado como un estándar de calibración sino más bien utilizado como un estándar de transferencia.

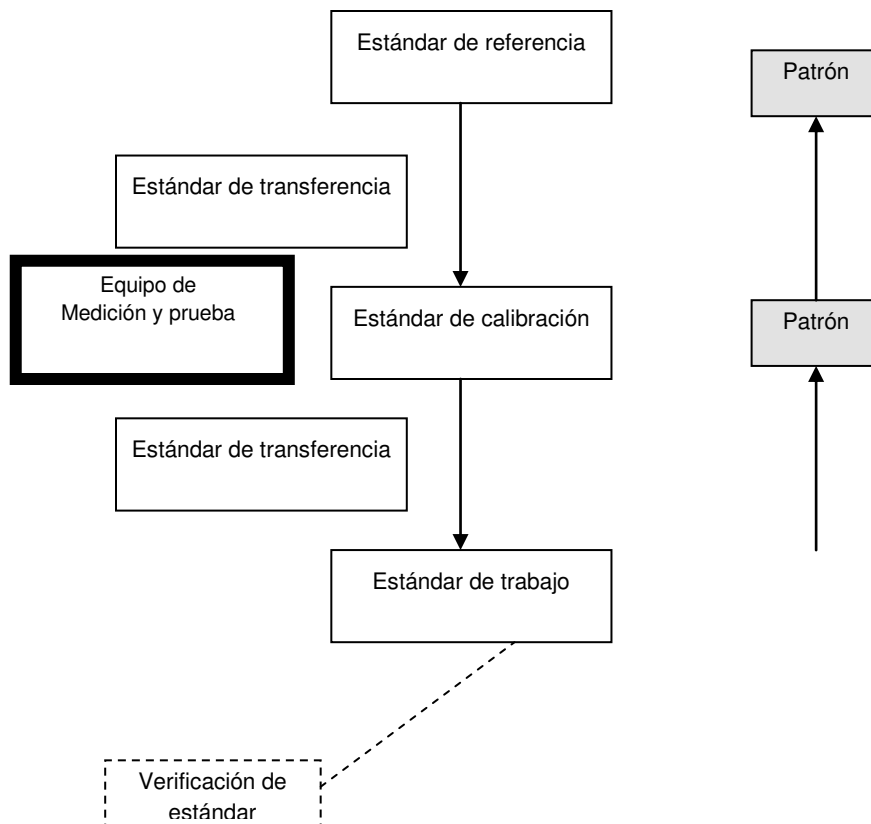


Figura 14. Relación entre varios estándares

**Verificación de estándar**

Un artefacto de medición que de manera cercana simula lo que el proceso está diseñado para medir, pero inherentemente más estable que el proceso de medición que está siendo evaluado.

**Valor de referencia**

Un valor de referencia, conocido también como un valor de referencia aceptado o valor Patrón, es el valor de un artefacto o conjunto que sirve de acuerdo como referencia para comparación. Los valores de referencia aceptados están basados en lo siguiente:

- Determinadas por el promedio de varias mediciones con un equipo de alto nivel de medición (v. gr., laboratorio de metrología, o equipo de layout)
- Valores legales: definidos y mandados por ley
- Valores teóricos: basados en principios científicos.
- Valores asignados: basados en trabajo experimental de alguna organización nacional o internacional (soportados por la teoría adecuada)
- Valores de Consenso: basados en el trabajo experimental colaborativo bajo el auspicio de un grupo de científicos o ingenieros, definido por un consenso de usuarios tales como organizaciones profesionales y de negocios.
- Valores acordados: valores expresamente acordados por las partes afectadas

En todos los casos, el valor de referencia necesita estar basado en una definición operacional y los resultados de un sistema de medición aceptable. Para alcanzar esto, el sistema de medición utilizado para determinar el valor de referencia puede incluir:

- Instrumentos con un mayor orden de discriminación y un menor error del sistema de medición que el sistema utilizado para una evaluación normal.
- Estar calibrados con estándares rastreables al NIST u otro NMI

**Valor verdadero**

El valor verdadero es la medida “real” de la parte. Aunque este valor es desconocido, es el objetivo del proceso de medición. Desafortunadamente el valor verdadero nunca puede ser conocido con certeza. El valor de referencia es utilizado como la mejor aproximación del valor verdadero en todos los análisis.

**6.7 DISCRIMINACIÓN**

La discriminación es la cantidad de cambio de un valor de referencia que un instrumento puede detectar e indicar. Esto también es referido como resolución o legibilidad. La medida de esta habilidad es el valor de la graduación más pequeña de la escala del instrumento. La regla 10 a 1 se interpreta como que el equipo de medición tiene la capacidad para discriminar al menos un décimo de la variación del proceso. Esto es consistente con la filosofía de mejoramiento continuo.

Debido a las limitaciones físicas y económicas, el sistema de medición no nota todas las partes de la distribución de un proceso teniendo características separadas o de diferente medida. En lugar de eso la característica medida será agrupada por los valores medidos dentro de categorías de datos. Todas las partes de la misma categoría de datos tendrán el mismo valor para las características medidas.

Si al sistema de medición no tiene discriminación (sensibilidad de una resolución efectiva), puede no ser un sistema apropiado para identificar la variación del proceso o cuantificar los valores de una característica individual de la parte. En este caso se deben utilizar mejores técnicas de medición.

La discriminación es inaceptable para análisis si este no puede detectar la variación del proceso, e inaceptable para el control si no puede detectar la variación de causas especiales.



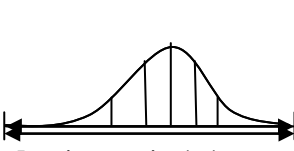
Número de categorías	Control	Análisis
 <p>1 categoría de datos</p>	<p>Puede ser utilizado para control solo si:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La variación del proceso es pequeña al compararla a las especificaciones</li> <li>- La función de pérdida es plana sobre la variación del proceso esperado</li> <li>- La fuente principal de variación causa un cambio promedio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Inaceptable</b> para la estimación de parámetros del proceso e índices</li> <li>- Sólo indica si el proceso está produciendo partes conformes o no conformes</li> </ul>
 <p>2 - 4 categorías de datos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede ser utilizado con técnicas de control semi-variables basadas en la distribución del proceso</li> <li>- Puede producir cartas de control por variables insensibles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generalmente no aceptable para estimación de parámetros de proceso e índices ya que sólo proporciona estimados gruesos</li> </ul>
 <p>5 o más categorías de datos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede ser utilizado con cartas de control por variables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Recomendado</b></li> </ul>

Figura 15. Impacto del número de categorías distintas (*ndc*) de la distribución del proceso en actividades de control y análisis

Los síntomas de discriminación inadecuada pueden aparecer en la carta de rangos.

Las siguientes gráficas contienen dos juegos de cartas de control derivadas de los mismos datos. La carta de control (a) muestra la medición original a la milésima de pulgada más cercana. La carta de control (b) muestra estos datos redondeados a la centésima de pulgada más cercana. La Carta de control (b) parece estar fuera de control debido a los límites artificiales de control estrechos.

La mejor indicación de discriminación se puede observar en el la carta de rangos para la variación del proceso. Cuando la amplitud de la carta muestra sólo uno, dos o tres posibles valores para el rango dentro de los límites de control, las mediciones están siendo hechas con una discriminación inadecuada. Si la carta de rangos muestra cuatro posibles valores para el rango dentro de los límites de control y más de un cuarto de los rangos son cero, entonces las mediciones están siendo hechas con una discriminación inadecuada. En la figura 6, en la carta de rangos hay solo dos valores posibles para el rango dentro de los límites de control (0.00 y 0.01). Por tanto, la regla identifica de manera correcta que la falta de control se debe a una discriminación inadecuada (sensibilidad o resolución efectiva).

Este problema puede ser remediado, cambiando la habilidad para detectar la variación dentro de subgrupos incrementando la discriminación de las mediciones. Un sistema de medición tendrá una discriminación adecuada si su resolución aparente es relativamente pequeña con respecto a la variación del proceso. Así una recomendación para una discriminación adecuada para la resolución aparente sería a lo mucho una décima del total de seis veces la desviación estándar del proceso, en lugar de la regla tradicional en donde la resolución aparente debe ser al menos un décimo del rango de tolerancia.



## 6.8 VARIACIÓN DEL PROCESO DE MEDICIÓN

Para la mayoría de los procesos de medición, la variación total de medición está descrita como una distribución normal. La probabilidad normal es una suposición de los métodos estándar del análisis del sistema de medición. Cuando los sistemas de medición no están distribuidos normalmente, el análisis de medición debe reconocer y corregir las evaluaciones para los sistemas de medición no normales.

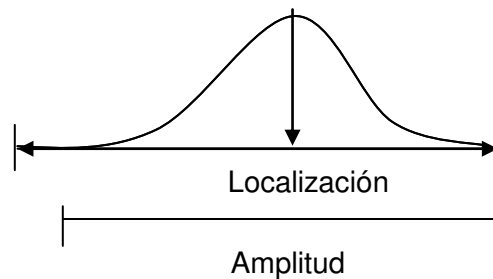


Figura 16. Características de variación del proceso de medición

## 6.9 VARIACIÓN DE LOCALIZACIÓN

### Exactitud

Un concepto genérico de exactitud se relaciona con la cercanía de acuerdo entre el promedio de uno o más resultados medidos y un valor de referencia. El proceso de medición debe estar en un estado de control estadístico, de otra forma la precisión del proceso no tiene significado.

*La ISO (Organización Internacional para la Estandarización y ASTM (Asociación Americana para Prueba y Materiales) utiliza el término de precisión para abarcar tanto el sesgo como la repetibilidad. La ASTM recomienda que el término de sesgo sea utilizado como un descriptor del error de localización.*

## Sesgo

El sesgo es la diferencia entre el valor verdadero (valor de referencia) y el promedio de mediciones observadas en la misma característica en la misma parte. El sesgo es la medida del error sistemático del sistema de medición. Es la contribución al error total comprendido de los efectos combinados de todas las fuentes de variación, conocidas o desconocidas, cuyas contribuciones al error total tiende a compensar consistentemente y de manera predecible todos los resultados de las aplicaciones repetidas del mismo proceso de medición en el tiempo de las mediciones.

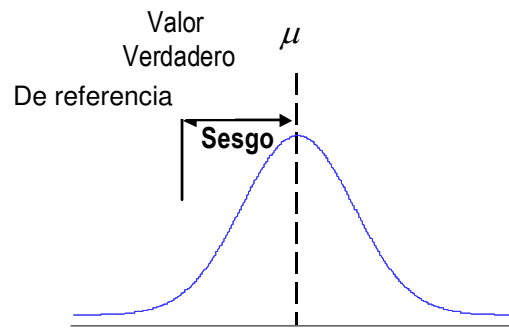


Figura 17. Diferencia entre valor verdadero y el promedio de mediciones.

Causas posibles del sesgo excesivo:

- El instrumento necesita calibración
- Instrumento, equipo o dispositivo desgastado
- Patrón desgastado o dañado, error en Patrón
- Calibración inapropiada o uso de colocación del Patrón
- Baja calidad del instrumento – diseño o conformidad
- Error de linealidad
- Diferente medida para la aplicación
- Diferente método de medición
- Medición de la característica incorrecta
- Distorsión (medida o parte)
- Medio ambiente
- Violación de un supuesto, error en una constante aplicada

## Estabilidad

Estabilidad (o desplazamiento) es la variación total en las mediciones obtenidas con un sistema de medición sobre el mismo Patrón o partes cuando se mide una característica individual sobre un periodo de tiempo prolongado.

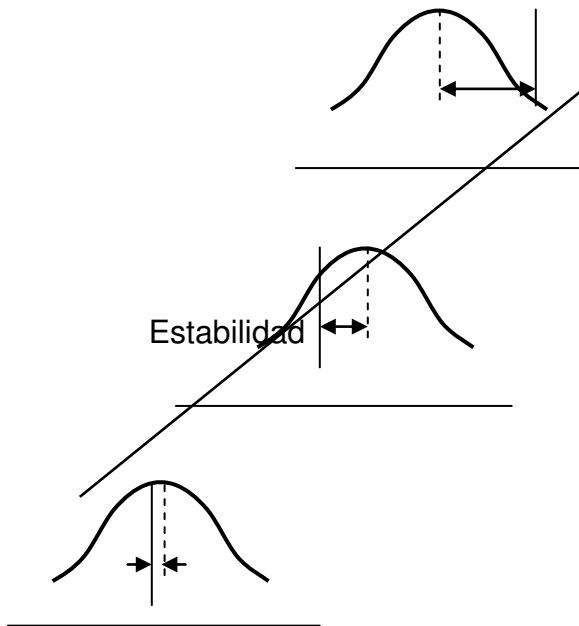


Figura 18. Variación total de las mediciones.

Causas posibles para la inestabilidad:

- El instrumento necesita calibración, reduce el intervalo de calibración
- Instrumento, equipo o dispositivo dañado
- Mantenimiento pobre
- Patrón desgastado o dañado, error en Patrón
- Calibración inapropiada o uso de colocación del Patrón
- Baja calidad del instrumento – diseño o conformidad
- Diferente método de medición
- Distorsión (medida o parte)
- Arrastre por el medio ambiente
- Violación de un supuesto, error en una constante aplicada
- Aplicación – tamaño de parte, posición, habilidad del operador

## Linealidad

La diferencia de sesgo a través del rango (medición) de operación esperada del equipo es llamada linealidad. La linealidad puede ser pensada como un cambio de sesgo con respecto al tamaño.

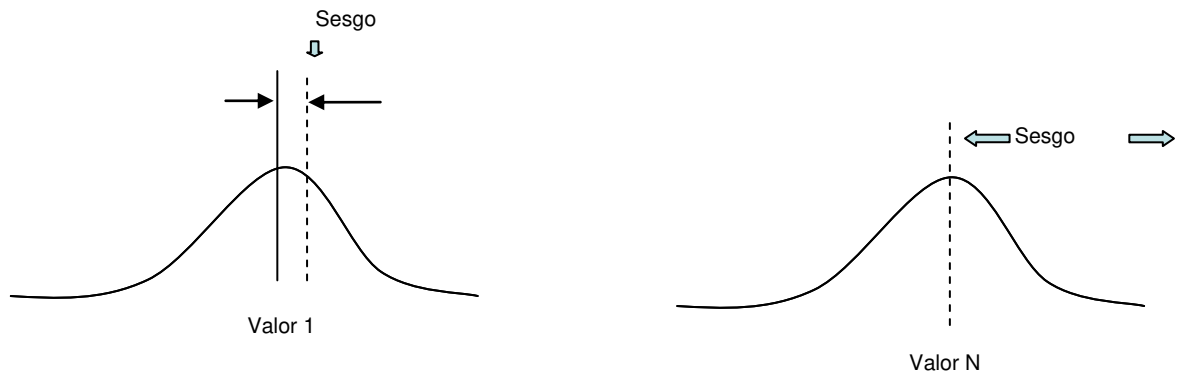


Figura 19. Diferencia de sesgo a través del rango de operación esperada del equipo de medición.

Note que una linealidad inaceptable puede venir en una variedad de sabores. No asumir un sesgo constante.

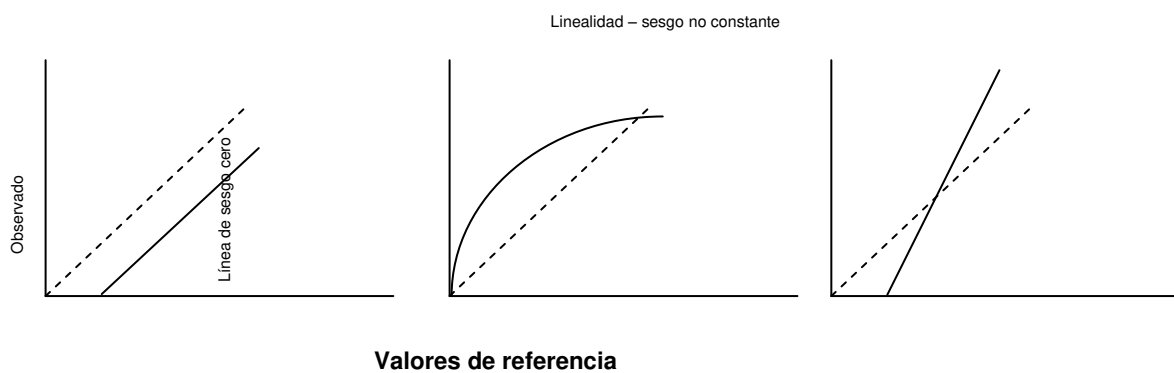


Figura 20. Sesgo no constante.

Posibles causas para error de linealidad:

- El instrumento necesita calibración, reducir el intervalo de calibración
- Instrumento, equipo o dispositivo dañado
- Mantenimiento deficiente
- Patrón desgastado o dañado, error en Patrón
- Calibración inapropiada o uso de colocación del Patrón
- Baja calidad del instrumento – diseño o conformidad
- Equipo inadecuado para la aplicación
- Falta de robustez en el diseño del instrumento o método
- Método de medición diferente
- Cambios de distorsión con el tamaño de la parte (o gage)
- Medio ambiente
- Violación de un supuesto
- Aplicación – tamaño de parte, posición habilidad del operador, fatiga, error de observación.

## 6.10 ANCHO DE LA VARIACIÓN

### Precisión

La precisión describe el efecto neto de discriminación, sensibilidad y repetibilidad sobre el rango de operación (tamaño, rango y tiempo) del sistema de medición. La precisión se utiliza comúnmente para describir la variación esperada de mediciones repetidas sobre el rango de medición, ese rango puede ser tamaño o tiempo (v. gr., un dispositivo es tan preciso en su rango bajo como en su rango de medición alto; o tan preciso hoy como ayer). El ASTM define precisión en un sentido amplio para incluir la variación desde diferentes lecturas, medidas, gente, laboratorios o condiciones.

### Repetibilidad

La repetibilidad se relaciona con la variabilidad “dentro de los evaluadores (*within appraiser*)”. Es la variación en mediciones obtenidas con un instrumento de medición mientras se mide la característica idéntica en la misma parte. Esta es la variación inherente o capacidad del equipo por si mismo (Equipment Variation). La repetibilidad es variación de causas comunes (Error al azar) de pruebas sucesivas bajo condiciones definidas de medición. El mejor término para la repetibilidad es la *variación dentro del sistema (Within)* cuando las condiciones de medición son fijas y definidas – parte fija, instrumento, estándar, método, operador, medio ambiente. La repetibilidad también incluye toda la variabilidad dentro del sistema de cualquier otra condición en el muestra de error.

Causas posibles para una pobre repetibilidad:

- Dentro (*within*) de parte (muestra): forma, posición, superficie, terminado, consistencia de muestra
- Dentro de instrumento: reparación, uso, falla de equipo o dispositivo, pobre callidad o mantenimiento
- Dentro de estándar: calidad, clase, desgaste

- Dentro de método: variación en ajuste, técnica, ajuste a cero, sujeción, punto de densidad
- Dentro de evaluador: técnica, posición, falta de experiencia, habilidad de manipulación o capacitación, sentimiento, fatiga
- Dentro del ambiente: ciclo corto, fluctuaciones en temperatura, humedad, vibración, iluminación, limpieza
- Violación de un supuesto – estable, operación apropiada
- Diseño de instrumento o falta de fortaleza en método, pobre uniformidad
- Gage inadecuado para la aplicación
- Distorsión, ausencia de rigidez
- Aplicación – tamaño de parte, posición, observación de error

## 6.11 REPRODUCIBILIDAD

La reproducibilidad se relaciona con la variabilidad entre evaluadores (*between appraisers*). Es definida como la variación en el promedio de mediciones hechas por varios evaluadores utilizando el mismo instrumento de medición cuando se mide la característica idéntica en la misma parte. Es verdadero para instrumentos manuales influenciados por la habilidad del operador. No es verdadero para procesos de medición (sistemas automatizados) donde el operador no es la mayor fuente de variación. Por esta razón, *la reproducibilidad es referida como el promedio de variación entre sistemas o entre condiciones de medición.*

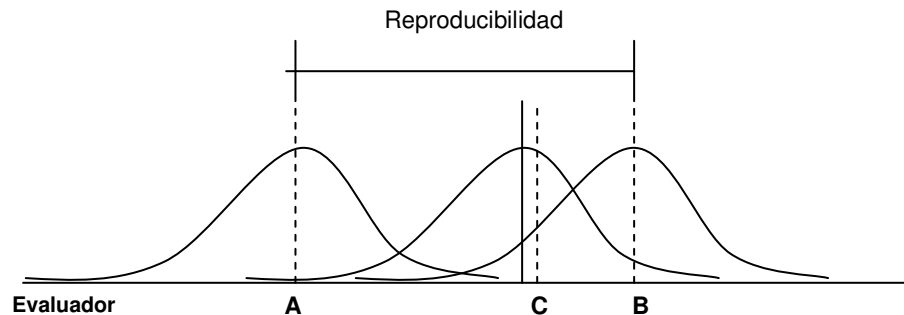


Figura 21. Variabilidad entre los evaluadores A, B y C.

La definición del ASTM va más allá de esto para incluir no sólo diferentes evaluadores sino también diferentes: gages, laboratorios y medio ambiente (temperatura, humedad) así como incluir repetibilidad en el cálculo de la reproducibilidad.

Fuentes potenciales de error en reproducibilidad:

- Entre (*between*) partes (muestras): diferencia de promedio cuando se miden tipos de partes A, B, C, etc. utilizando el mismo instrumento, operadores y método.
- Entre instrumentos: diferencia de promedio utilizando instrumentos A, B, C, etc. para las mismas partes, operadores y medio ambiente.
- Entre estándares: influencia promedio de diferentes estándares establecidos en el proceso de medición
- Entre métodos: diferencia de promedio causada por cambios en punto de densidades, sistema manual versus automatizado
- Entre evaluadores (operadores): diferencia de promedio entre evaluadores A, B, C, etc. causado por la capacitación, técnica, habilidad y experiencia.
- Entre medio ambiente: diferencia de promedio en mediciones sobre tiempo 1, 2, 3, etc. causado por los ciclos ambientales, este es el estudio más común para sistemas altamente automatizados en restricciones de producto y proceso
- Violación de un supuesto en el estudio
- Diseño de instrumento o falta de fortaleza en método
- Efectividad de capacitación del operador
- Aplicación – tamaño de parte, posición, error de observación (lectura)

La ASTM se enfoca a estudiar las diferencias entre laboratorios, incluyendo las diferencias entre sus operadores locales, gages y medio ambiente así como la repetibilidad dentro del laboratorio.



## 6.12 R&R O GRR DEL CALIBRE, ESCANTILLÓN O GAGE

Es un estimado de variación combinada de repetibilidad y reproducibilidad. Dicho de otra forma, GRR es la varianza igual a la suma de las varianzas dentro del sistema y entre sistema.

$$\sigma_{GRR}^2 = \sigma_{reproducibilidad}^2 + \sigma_{repetitividad}^2$$

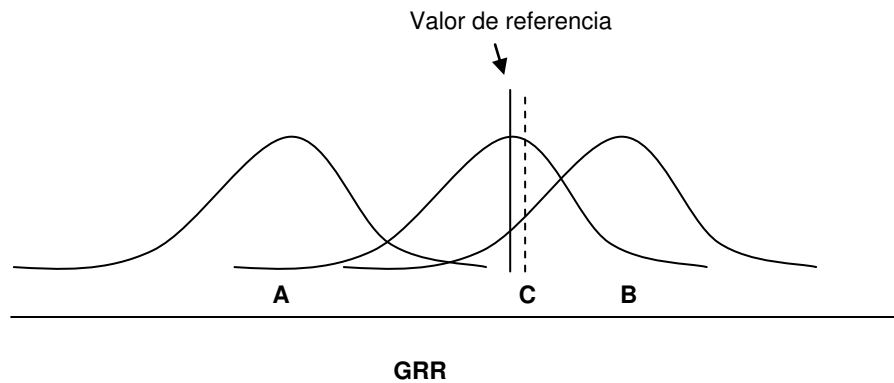


Figura 22. Variación combinada de reproducibilidad y repetibilidad.

### Sensibilidad

Es la entrada más pequeña que resulta en una señal de salida detectable (utilizable). Es la respuesta del sistema de medición a cambios en la característica medida. La sensibilidad está determinada por el diseño del calibre o gage (discriminación) calidad inherente (OEM), mantenimiento en servicio, y condición de operación del instrumento y estándar. Reportado siempre como unidad de medida.

Factores que afectan la sensibilidad:

- Habilidad para amortiguar un instrumento
- Habilidad del operador
- Repetibilidad del dispositivo de medición
- Habilidad para proporcionar una operación sin corrimientos en el caso de calibres electrónicos o neumáticos

- Condiciones bajo las cuales el instrumento está siendo usado tales como aire del ambiente, suciedad, humedad.

### **Consistencia**

Es la diferencia en la variación de las mediciones tomadas durante el tiempo. Puede ser vista como repetibilidad en el tiempo.

Factores que impactan la consistencia y son causas especiales de variación:

- temperatura de partes
- Calentamiento requerido para equipo electrónico
- Equipo desgastado

### **Uniformidad**

Es la diferencia en la variación a través del rango de operación del calibre. Considerado a ser la homogeneidad de la repetibilidad sobre el tamaño.

Factores que impactan la uniformidad:

- El dispositivo permite posicionar de manera diferente los distintos tamaños pequeños/grandes
- Pobre lectura en la escala
- Paralaje en lectura

## 6.13 VARIACIÓN EN EL SISTEMA DE MEDICIÓN

### Capacidad

Es un estimado de la variación combinada de errores de medición con base en una evaluación a corto plazo. La capacidad simple incluye los componentes de (ver capítulo III para los métodos específicos utilizados para cuantificar los componentes):

- Sesgo o linealidad sin corregir
- Repetibilidad y reproducibilidad (GRR), incluyendo consistencia a corto plazo

Un estimado de la capacidad de medición es una expresión del error esperado para condiciones definidas, rango y ámbito del sistema de medición (define de la incertidumbre, que una expresión del rango esperado de error o valores asociados con el resultado de una medición). La expresión de la capacidad de variación combinada (varianza) cuando los errores de medición no son correlacionados pueden ser cuantificados como:

$$\sigma_{capacidad}^2 = \sigma_{tendencia(linealidad)}^2 + \sigma_{GRR}^2$$

Hay dos puntos esenciales que entender y aplicar correctamente la capacidad de medición:

Primero, un estimado de capacidad está asociado siempre con un ámbito de medición – condiciones, rango y tiempo. El ámbito para un estimado de la capacidad de medición podría ser muy específico o una declaración general de operación, sobre una porción limitada o un rango completo de medición. El corto plazo puede significar: la capacidad sobre series de ciclos de medición, el tiempo para completar la evaluación del GRR, un periodo especificado de producción, o tiempo representado por la frecuencia de calibración. Una declaración de la capacidad de medición necesita ser sólo tan completo como razonablemente replique las condiciones y rango de medición. Un plan de control documentado sirve para este propósito.

Segundo, la consistencia y uniformidad (repetibilidad de errores) a corto plazo sobre el rango de medición están incluidas en el estimado de la capacidad. Un mayor rango o un

sistema de medición más complejo pudiera demostrar los errores de medición de linealidad, uniformidad, y consistencia corto plazo sobre el rango o tamaño. Debido a que estos errores están correlacionados no pueden correlacionarse utilizando la fórmula lineal arriba mencionada. Cuando la linealidad, uniformidad o consistencia (no correlacionadas) varían significativamente sobre el rango, el analista tienen dos opciones:

- 1) reportar la máxima capacidad (peor caso) para todas las condiciones definidas, alcance y rango del sistema de medición, o
- 2) Determinar y reportar múltiples evaluaciones de capacidad para porciones definidas del rango de medición (v. gr., rango bajo, medio y alto).

## Desempeño

Es el efecto neto de todas las fuentes significativas y determinantes de variación sobre el tiempo. El desempeño cuantifica la evaluación a largo plazo de errores de medición combinados. El desempeño incluye los componentes de error a largo plazo:

- Capacidad (errores a corto plazo)
- Estabilidad y consistencia

El estimado del desempeño de la medición es una expresión del error esperado para condiciones definidas, alcance y rango del sistema de medición (define de la incertidumbre, que una expresión del rango esperado de error o valores asociados con el resultado de una medición). La expresión de desempeño de la variación combinada (varianza) cuando los errores de medición no son correlacionados (aleatorios e independientes) pueden cuantificarse como:

$$\sigma_{desempeño}^2 = \sigma_{capacidad}^2 + \sigma_{estabilidad}^2 + \sigma_{consistencia}^2$$

Figura 23. Ecuación de desempeño, suma de todas las fuentes de variación.

El desempeño a largo plazo siempre es asociado con un alcance definido de medición – condiciones, rango y tiempo. El ámbito para un estimado de desempeño de medición podría ser muy específico o una declaración general de operación sobre una porción limitada o un rango completo de medición. El largo plazo puede significar, el promedio de varias evaluaciones de capacidad en el tiempo, el error promedio a largo plazo de una carta de control de mediciones, una evaluación de los rangos de calibración o estudios múltiples de linealidad, o un promedio de error de varios estudios GRR sobre la vida y rango del sistema de medición. La definición del desempeño de la medición solo es completa en la medida en razonablemente represente la condiciones y rango de las mediciones.

La consistencia y uniformidad (errores de repetibilidad) a largo plazo sobre el rango de medición son incluidas en un estimado de desempeño. El analista de medición debe estar consciente de la correlación potencial de errores, para no sobrestimar el estimado del desempeño. Cuando la linealidad, uniformidad o consistencia a largo plazo varía significativamente sobre el rango, el analista tiene sólo dos opciones prácticas.

- 1) reportar el desempeño máximo (peor caso) para todas las condiciones definidas, alcance y rango del sistema de medición, o
- 2) determinar y reportar múltiples evaluaciones de desempeño para una porción definida del rango de medición

### **Incertidumbre**

Es un parámetro, asociado con el resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores que razonablemente pueden ser atribuidos al mesurando.

## **6.14 ANÁLISIS DEL PROBLEMA DE MEDICIÓN**

### **Introducción**

Una comprensión de la variación de la medición y su contribución a la variación total es un paso fundamental en la solución de problemas. Cuando la variación en el sistema de medición excede todas las otras variables, será necesario analizar y resolver aquellas cuestiones antes de trabajar en el resto del sistema. En algunos casos la contribución de la variación del sistema de medición es ignorada. Esto puede causar pérdida de tiempo y recursos, si el enfoque es el proceso de manufactura, cuando la variación es del sistema de medición.

Si el sistema de medición fue desarrollado utilizando los métodos de este manual, la mayoría de los pasos iniciales existirán.

### **Paso 1 Identificar los aspectos de preocupación en la medición**

Es importante definir el problema o preocupaciones. En el caso de preocupaciones de medición, pueden tomar la forma de exactitud, variación, estabilidad, etc. Lo importante a hacer es tratar de aislar la variación de la medición y su contribución, de la variación del proceso (la decisión podría ser trabajar en el proceso más que trabajar en el dispositivo de medición). La exposición de los aspectos de preocupación necesita tener una definición operacional adecuada que cualquiera pueda entender y sea capaz de actuar en el punto.

### **Paso 2 Identificar el equipo**

El equipo de solución de problemas, dependerá de la complejidad del sistema de medición y el problema. Un sistema de medición simple sólo requerirá unas cuantas personas pero si se vuelve más complejo la cantidad aumentará (el tamaño máximo del equipo deberá limitarse a 10 miembros). Los miembros del equipo y la función que representen deben ser identificados en la hoja de solución de problemas.

**Paso 3 Diagrama de flujo del sistema y del proceso de medición**

El equipo revisará cualquier diagrama de flujo histórico del sistema de medición y del proceso. También puede provocar una discusión sobre información conocida y desconocida sobre la medición y su interrelación con el proceso. El proceso del diagrama de flujo puede identificar miembros adicionales para agregarse al equipo.

**Paso 4 Diagrama Causa – Efecto**

El equipo debe revisar cualquier diagrama histórico de causa- efecto del sistema de medición. Esto puede resultar en la solución final o en una solución parcial. Deben tener un conocimiento en ese punto para identificar inicialmente aquellas variables con la mayor contribución a ese punto.

**Paso 5 Planear-Hacer-Estudiar-Actuar (PDCA)**

Esto es una forma de estudio científico. Se planean experimentos, se recolectan datos, es establecida la estabilidad, se realizan hipótesis y se prueban hasta que se encuentra una solución apropiada.

**Paso 6 Posible solución y prueba de la corrección**

Los pasos y la solución son documentados para rango de la decisión. Se ejecuta un estudio preliminar para validar la solución. Puede ser hecho utilizando alguna forma de diseño de experimento para validar la solución. También pueden realizarse estudios adicionales sobre el tiempo incluyendo variación en materiales y ambiente.

**Paso 7 Institucionalizar el cambio**

La solución final es documentada en el reporte, entonces el departamento y funciones apropiadas cambian el proceso para que no se repita el problema en el futuro. Esto tal vez requiera cambios en procedimientos, estándares, y materiales de capacitación. Este es uno de los pasos más importantes en el proceso.

## 6.15 LINEAMIENTOS PARA DETERMINAR LA REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD

El estudio de medida variable puede ser ejecutado utilizando un número de técnicas diferentes. Se discutirán tres métodos:

- Método del rango
- Método de promedio y rango (incluyendo el método de gráfica de control)
- Método ANOVA

El sistema de medición total incluye no solo el calibre en sí y su sesgo relativo, repetibilidad, etc. sino también la variación de las partes que han sido verificadas. La determinación de cómo lidiar con la variación existente dentro (*within*) de la parte necesita basarse en una comprensión racional del uso intencionado de la parte y el propósito de la medición.

### Método del rango

Es un estudio modificado de calibre o gage que proporciona una rápida aproximación de la variabilidad de la medición. Este método proporcionará únicamente el panorama completo del sistema de medición. No analiza la variabilidad en la repetibilidad y reproducibilidad. Es utilizado como un chequeo rápido para verificar que el GRR no ha cambiado.

Este método tiene el potencial de detectar un sistema de medición inaceptable 80% de las veces con un tamaño de muestra de 5 y un 90% con un tamaño de muestra de 10. Este método normalmente emplea dos evaluadores y cinco partes para el estudio. Ambos evaluadores miden las mismas partes. El rango para cada parte es la diferencia absoluta entre la medición obtenida por el evaluador A y la medición obtenida por el evaluador B. La suma de las distancias es encontrada y la distancia promedio ( $\bar{R}$ ) es calculada.



## Método de promedio y rango

Es un enfoque que proporcionará un estimado de la repetibilidad y reproducibilidad para un sistema de medición.

### Desarrollo del estudio

El procedimiento detallado es:

- 1) Obtener una muestra de  $n > 5$  partes que representen la distancia actual o esperada de variación del proceso.
- 2) Referirse a los evaluadores como A, B, C, etc. y numerar las partes 1 a  $n$  así los números no son visibles para el evaluador.
- 3) Calibre el gage, escantillón o calibre si esto es parte del procedimiento normal del sistema de medición. Permita que el evaluador A mida  $n$  partes al azar e ingrese los resultados en la fila 1.
- 4) Permita que el evaluador B y C medir las mismas  $n$  partes sin ver las mediciones de los otros, ingrese los resultados en las filas 6 y 11 respectivamente.
- 5) Repita el ciclo utilizando un orden al azar diferente de mediciones. Ingrese los datos en las filas 2, 7 y 12. Registre los datos en la fila apropiada.
- 6) Los pasos 4 y 5 deberán ser cambiados a lo siguiente cuando una parte de gran tamaño o no disponibilidad de partes lo hagan necesario.
  - ▶ Permita medir al evaluador A la primera parte y registre la lectura en la fila 1. Deje al evaluador B medir la primera parte y registre en la fila 6. Deje medir al evaluador C la primera parte y registre la lectura en la fila 11.
  - ▶ Permita al evaluador A repetir la lectura en la primera parte y registre la lectura en la fila 2, al evaluador B registre la lectura repetida en la fila 7 y al evaluador C registre la lectura repetida en la fila 12. Repita este ciclo e ingrese los resultados en las filas, 3, 8 y 13, si son realizadas tres pruebas.
- 7) Un método alternativo puede ser utilizado si los evaluadores están en diferentes turnos. Permita medir al evaluador A todas las 10 partes y registre las lecturas en la fila 1. Que el evaluador A repita la lectura en un orden diferente e ingrese los resultados en las filas 2 y 3. Haga lo mismo con el evaluador B y C.

Tasador / prueba	PARTE	PROMEDIO										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1A	1	0.29	-0.56	1.34	0.47	-0.80	0.02	0.59	-0.31	2.26	-1.36	
2	2	0.41	-0.68	1.17	0.50	-0.92	-0.11	0.75	-0.20	1.99	-1.25	
3	3	0.64	-0.58	1.27	0.64	-0.84	-0.21	0.66	-0.17	2.01	-1.31	
4	Promedio											$\bar{X}_A =$
5	Rango											$R_A =$
6B	1	0.08	-0.47	1.19	0.01	-0.56	-0.20	0.47	-0.63	1.80	-1.68	
7	2	0.25	-1.22	0.94	1.03	-1.20	0.22	0.55	0.08	2.12	-1.62	
8	3	0.07	-0.68	1.34	0.20	-1.28	0.06	0.83	-0.34	2.19	-1.50	
9	Promedio											$\bar{X}_B =$
10	Rango											$R_B =$
11C	1	0.04	-1.38	0.88	0.14	-1.46	-0.29	0.02	-0.46	1.77	-1.49	
12	2	-0.11	-1.13	1.09	0.20	-1.07	-0.67	0.01	-0.56	1.45	-1.77	
13	3	-0.15	-0.96	0.67	0.11	-1.45	-0.49	0.21	-0.49	1.87	-2.16	
14	Promedio											$\bar{X}_C =$
15	Rango											$R_C =$
16	Promedio de parte											$\bar{X} =$
												$R_B =$

Tabla 2. Hoja de recolección de datos para estudio de repetibilidad y reproducibilidad del gage

## Análisis de resultados – Gráficos

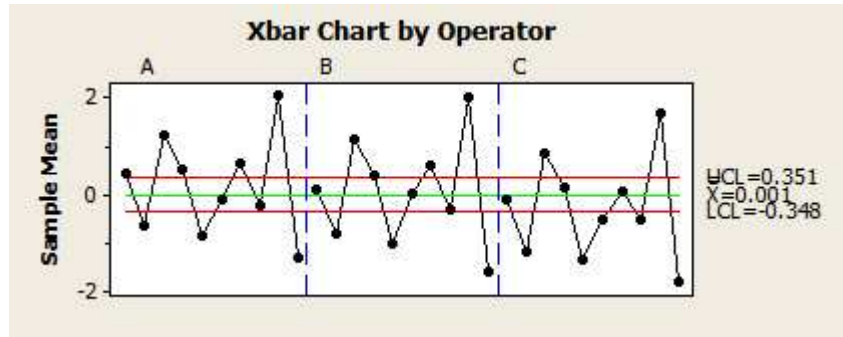
Un filtrado sistemático de los datos de causas especiales aparentes de variación, se hace mediante la utilización de cartas de control, debe anteceder a cualquier otro análisis estadístico. Los datos del análisis del sistema de medición pueden ser desplegados gráficamente mediante cartas de control.

### Carta de promedios

Los promedios de las lecturas múltiples de cada evaluador en cada parte son graficadas por el evaluador con el número de parte como un índice. Esto puede ayudar a determinar consistencia entre los evaluadores. La gráfica de promedio resultante proporciona un indicador de “usabilidad” del sistema de medición.

El área dentro de los límites de control representa la sensibilidad (ruido) de la medición. Dado que el grupo de partes utilizadas en el estudio representan la variación del

proceso, *aproximadamente la mitad o más de la mitad de los promedios caerán fuera de los límites de control*. Si los datos muestran este patrón, entonces el sistema de medición puede proporcionar información útil para el análisis y control del proceso.



*Grafica 1. Revisión de las gráficas indica que el sistema de medición aparenta tener suficiente discriminación para procesos con variación descritas por la muestra de las partes.*

## Cartas de rango

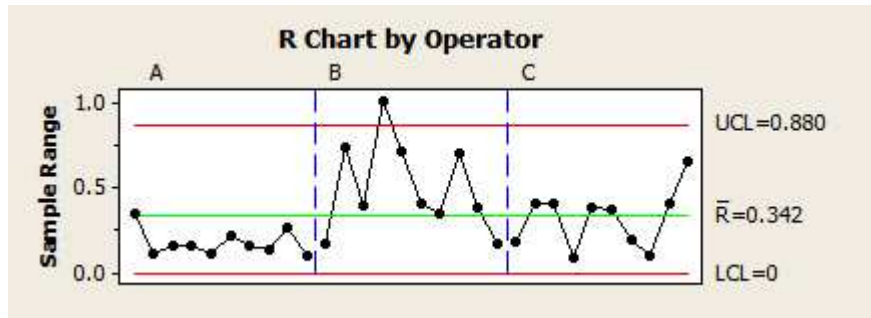
La gráfica de control de rango es utilizada para determinar si el proceso está en control. La razón de esto es que no importa que tan grande sea el error de medición, los límites de control permitirán ese error. Es por eso que las causas especiales necesitan ser identificadas y removidas antes de realizar un estudio de medición.

Los rangos de lecturas múltiples de cada evaluador sobre cada parte son graficados en una carta de rango estándar incluyendo el rango promedio y los límites de control.

Si un evaluador está fuera de control, el método utilizado difiere de otros. Si todos los evaluadores tienen algunos campos fuera de control, el sistema de medición es sensible a la técnica del evaluador y es necesario mejorar para obtener datos confiables.

La carta de rango puede ayudar en la determinación de:

- Control estadístico con respecto a la repetibilidad
- Consistencia del proceso de medición entre evaluadores para cada parte.

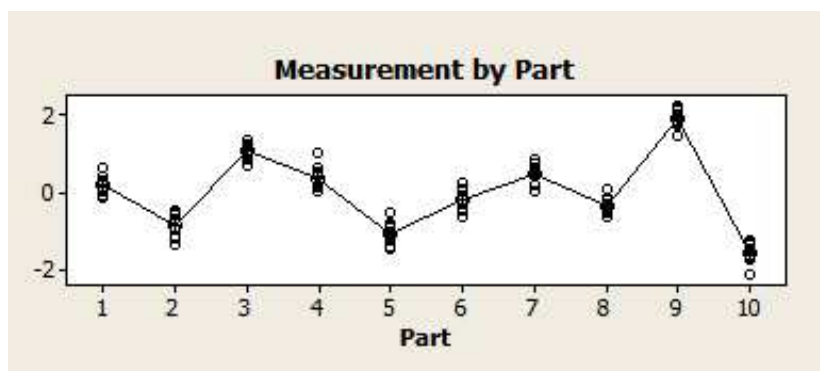


Grafica 2. Una revisión de las cartas de control indica que hay diferencia de variabilidad entre los evaluadores, el evaluador B debe repetir las mediciones en la parte 4.

### Carta de tendencia

Las lecturas individuales son graficadas por parte para todos los evaluadores para tener idea de:

- el efecto de las partes individuales en la consistencia de variación
- indicación de lecturas anormales.

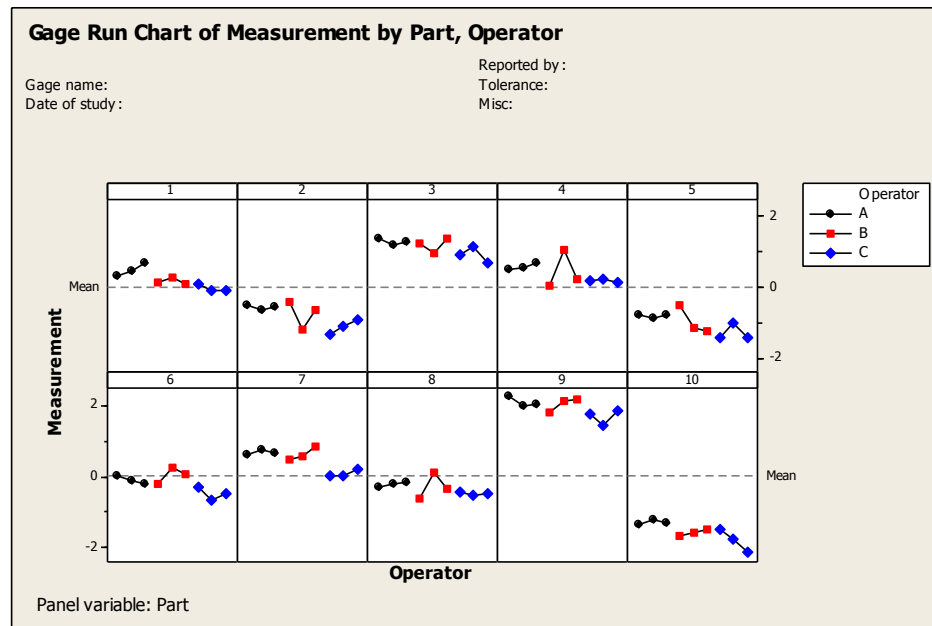


Grafica 3. La revisión de la carta no indica puntos aberrantes (outliers) o partes no consistentes.

## Gráfica de dispersión

Las lecturas individuales son graficadas mediante parte por evaluador para obtener:

- consistencia entre evaluadores
- indicación de posibles anomalías
- interacciones entre parte-evaluador

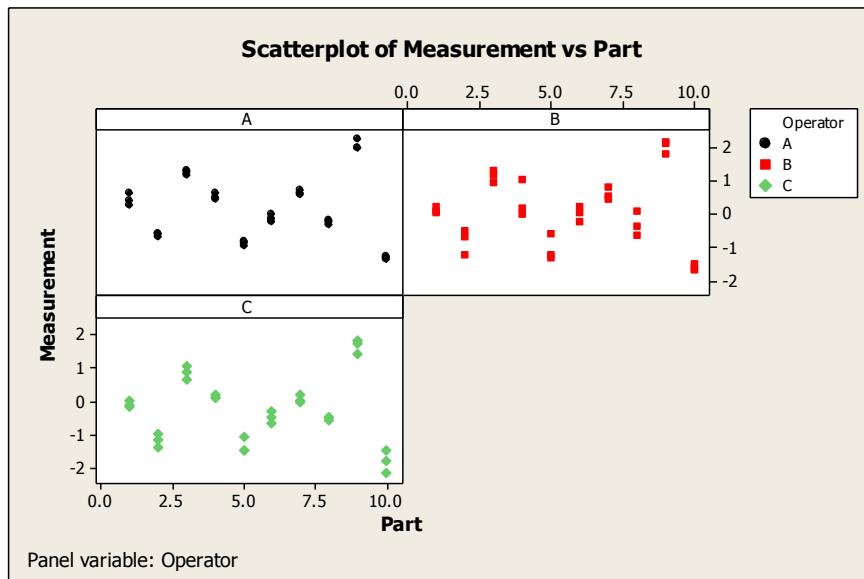


Grafica 4. Una revisión de la gráfica de dispersión indica que el evaluador C puede tener lecturas más bajas que los otros evaluadores.

## Gráfica de bigotes

En esta gráfica, el valor más alto y el más bajo, además del promedio de parte por evaluador son graficados, lo que proporciona:

- consistencia entre evaluadores
- indicación de anomalías
- interacciones entre parte-evaluador



Gráfica 5. Una revisión de las gráficas indica que el evaluador B podría tener la mayor variabilidad.

## 6.16 MÉTODO DE ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

El análisis de Variación (*ANOVA*) es una técnica estadística estándar y puede ser utilizada para analizar el error de medición y otras fuentes de variabilidad de datos en un estudio de sistemas de medición. En el análisis de variación, la variación puede ser descompuesta en cuatro categorías: partes, evaluadores, interacción entre partes y evaluadores, y error de replica debido al calibre.

Las ventajas de las técnicas *ANOVA* en comparación con los métodos de promedio y distancia son:

- Tienen la capacidad de manejar cualquier ajuste experimental
- Pueden estimar las variaciones de manera más precisa
- Extraen más información (tal como la interacción entre partes y efecto por el evaluador) de los datos experimentales.

Las desventajas son que los cálculos numéricos son más complejos y los usuarios requieren un cierto grado de conocimiento estadístico para interpretar los resultados. El método de recolección de datos es importante en un método *ANOVA*. Si los datos no son recolectados de una manera al azar, pueden conducir a una fuente de valores de sesgo. Una manera simple para asegurar un diseño balanceado para ( $n$ ) partes, ( $k$ ) evaluadores y  $\text{®}$  pruebas es la utilización al azar.

## VII. DESARROLLO

### ANÁLISIS DEL SISTEMA DE MEDICIÓN (MSA) EN MÁQUINA AUTOMATIZADA, PARA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE LUCES TRASERAS, MERCEDES BENZ

El proyecto del análisis de medición en maquina automatizada surge por un problema con el cliente Mercedes Benz, al cual se le fabrican las luces traseras en la empresa donde se realizo dicho proyecto. El cliente reporta un problema dimensional en las calaveras y esto ocasiona que no ajusten en la carrocería de sus camionetas, generando perdidas en tiempo y dinero, así como un desprestigio para la empresa que fabrica las luces traseras.

Son producidas dos partes (calaveras), para el mismo automóvil, una de ellas es el FENDER la cual va en la carrocería y la otra es el TRUNK la cual se encuentra en la parte de la cajuela.

Para empezar a definir el problema haremos uso de la técnica de las 5W 2H's para plantearlo de forma separada en FENDER y TRUNK.

#### 7.1 FENDER

- **Que paso?** : El cliente reporta un de fase por arriba de 2.6 mm entre de la calavera hacia el auto. Especificación de 1.9 +/- 0.7mm
- **Por que es un problema?:** Esto genera un incidente dimensional / Los requerimientos del cliente no son cumplidos / No satisfacción del cliente.
- **Quien lo detecto?** : MB Kurt Moller SQE/ Bill Morris SQE.
- **Donde fue detectado?** : MB Tuscaloosa AL Ensambladora.
- **Cuando fue detectado?** : 31/October/2012.
- **Como fue detectado?** : Durante una auditoria de calidad / Midiendo las partes usando el gage dimensional como se muestra en las imágenes.
- **Cuanta partes fueron reportadas?** : 1 parte.



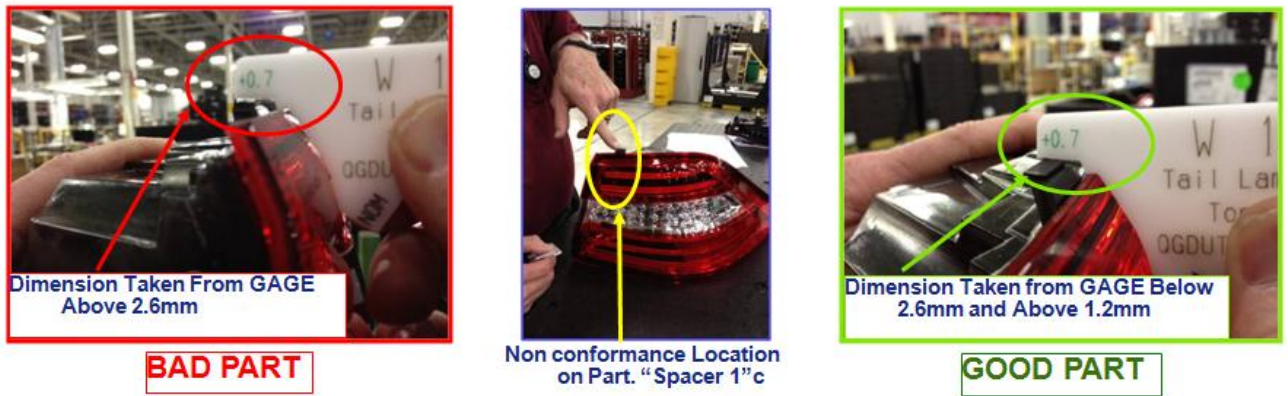


Figura 24. Pieza mala y pieza buena medidas con un gage pasa - no pasa.

A continuación se mostrara los puntos que están fuera de especificación así como sus dimensiones hechas en la CMM, haciendo siempre una comparación entre pieza BUENA y pieza MALA.

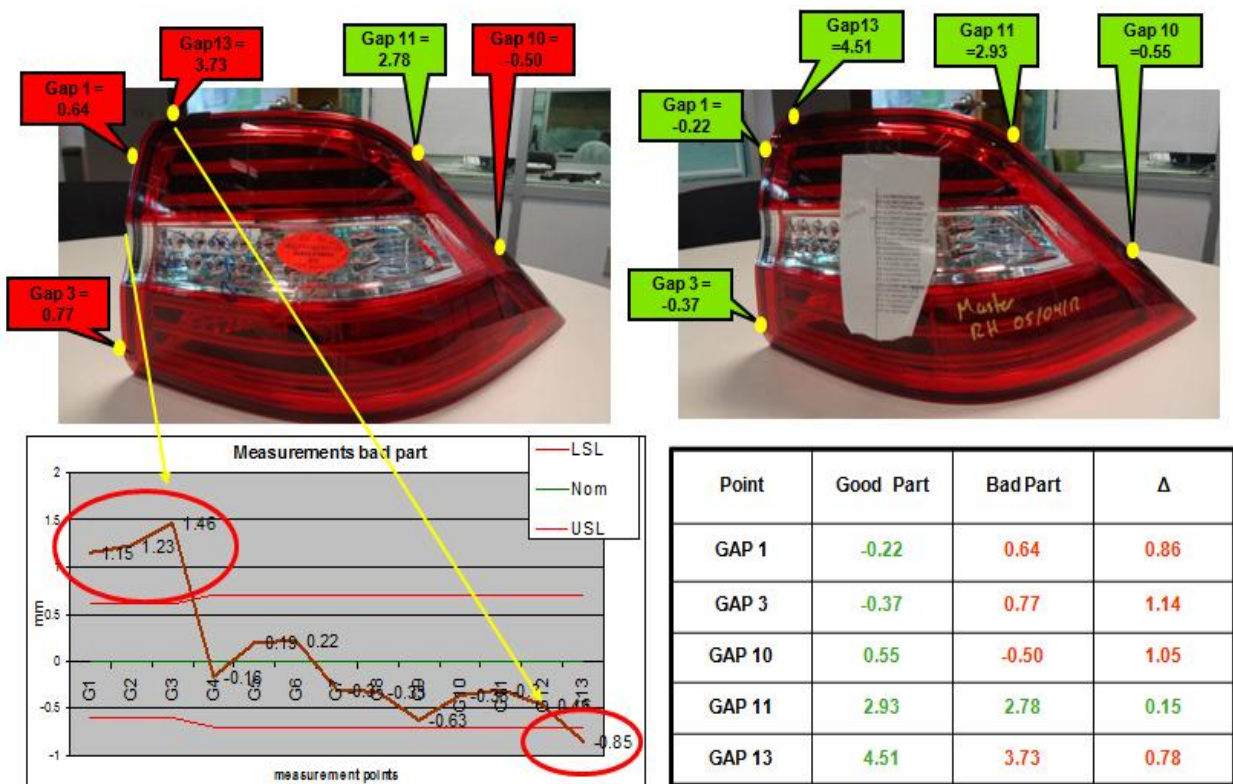


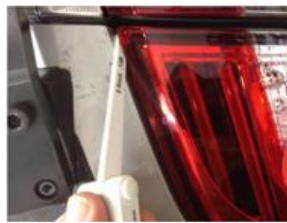
Figura 25. Mediciones de las piezas efectuadas en la CMM, indicando en rojo que puntos estas fuera de especificación y verde los correctos.

## 7.2 TRUNK

- **Que paso?** : El cliente reporta un de fase por arriba de 3.5 mm entre de la calavera hacia el auto.
- **Por que es un problema?:** Esto genera un incidente dimensional / Los requerimientos del cliente no son cumplidos / No satisfacción del cliente.
- **Quien lo detecto?** : MB Kurt Moller SQE/ Bill Morris SQE.
- **Donde fue detectado?** : MB Tuscaloosa AL Ensambladora.
- **Cuando fue detectado?** : 25/October/2012.
- **Como fue detectado?** : Durante una auditoria de calidad / Midiendo las partes usando el gage dimensional como se muestra en las imágenes.
- **Cuanta partes fueron reportadas?** : 3 partes.



**BAD PART**



Gap found of 3.5 mm in G1



**GOOD PART**

Figura 26. Contraste entre pieza mala y pieza buena con 3.5 mm de diferencia en la punta de la calavera.

Se retornaron las piezas a Valeo Querétaro para realizar un análisis de medición el laboratorio con la ayuda de la CMM y estas fueron las mediciones encontradas.



### G1 spec -0.5 to + 0.7 mm

- a) 17/10: 9:40 am in G1 → - 0.65 mm
- b) 16/10: 21:44 pm G1 → - 0.45 mm
- c) 17/10: 00:05 am G1 → 0.04 mm

### G7 spec -0.7 to + 0.5 mm

- a) 17/10: 9:40 am in G7 → 0.92 mm
- b) 16/10: 21:44 pm G7 → 0.62 mm
- c) 17/10: 00:05 am G7 → 0.50 mm

Figura 27. Mediciones de la pieza efectuadas en la CMM, encontrando dos puntos fuera de especificación.

Se realizó una línea del tiempo para verificar los incidentes de este tipo que se habían tenido con el cliente Mercedes Benz y ahí poder encontrar una correlación con algo que se hizo distinto o se dejó de hacer durante el proceso.

Están fueron las conclusiones preliminares de acuerdo a la línea del tiempo que se realizó.

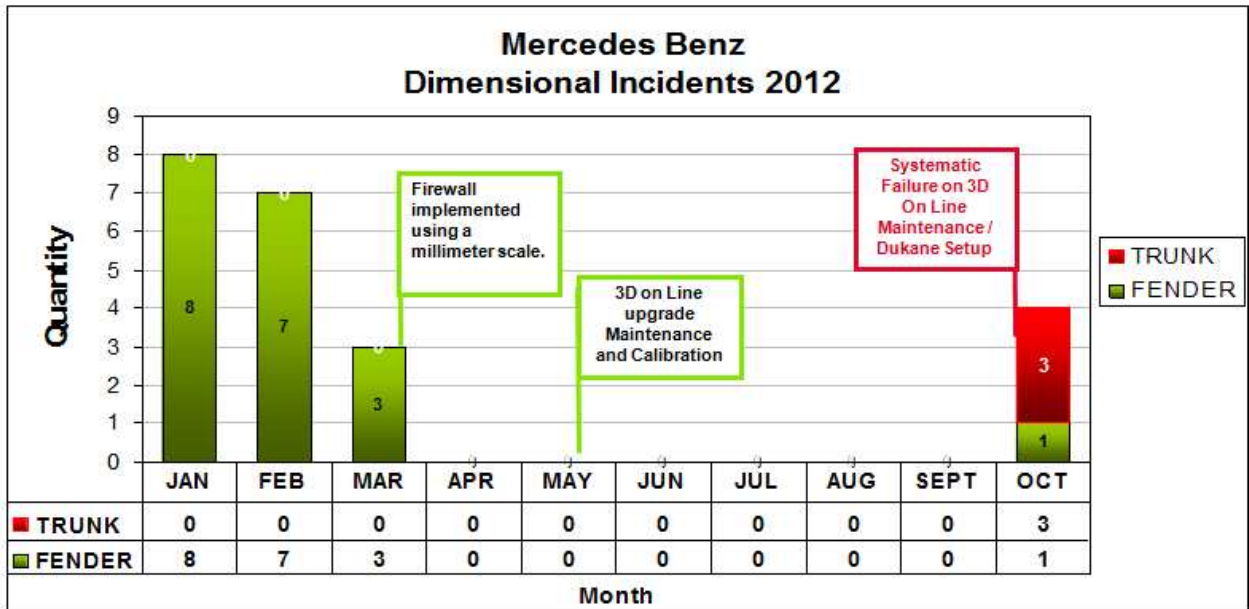


Figura 28. Línea de tiempo sobre los hallazgos de defectos en la línea, no se tenían defectos desde Marzo del 2012.

Se encontró gracias a la trazabilidad de las piezas que en este periodo se realizó un mantenimiento la maquina Dukane, que es la encargada de realizar la soldadura entre la carcasa y el lente de la pieza. Así como fallas en la maquina automatizada (3D online), esta ultima daba mediciones erróneas, no sabía distinguir entre pieza mala y pieza buena. Por lo cual como acción de contención se implementó un FIREWALL o una segunda inspección para tener un sistema más robusto de medición y así tener una acción que contenga que le lleguen piezas malas al cliente, mientras se realiza el MSA y las mejoras.

### 7.3 SISTEMA DE IDENTIFICACIÓN DE PIEZAS Y EMBARQUES



Figura 29. Al medir la característica crítica en la parte se le pone un punto azul para certificar que paso el firewall, además de indicarlo de forma general en el embarque completo.

7.4 PUNTOS DE MEDICIÓN EN LAS PIEZAS

FENDER & TRUNK

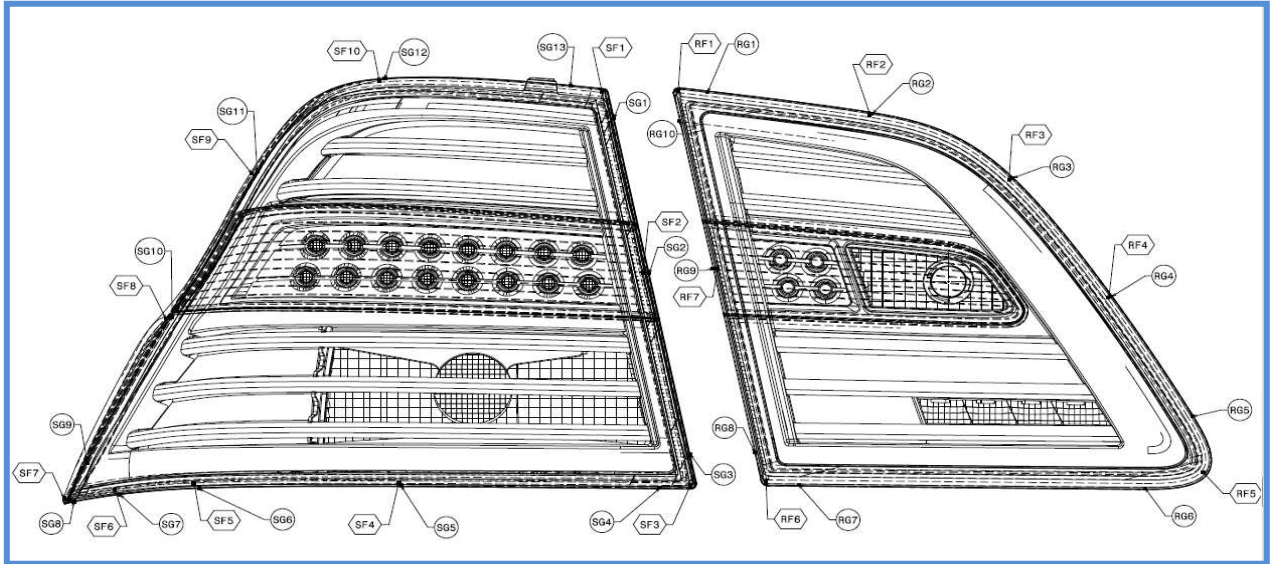


Figura 30. Plano de los puntos de medición en las luces traseras, referentes a Flush y Gaps.

FENDER LAMP GAP & FLUSH									
POINT	3D MEASUREMENT	INLINE MEASUREMENT	COORDINATE			COS DIRECTION			TOLERANZANGABLE
			X	Y	Z	COSX	COSY	COSZ	
G1	X	X	3726.07	-682.28	753.32	-0.077	-0.988	-0.237	+/- 0.8
F1	X	X	3719.86	-687.72	766.73	-0.791	0.235	-0.565	+/- 0.8
G2	X		3739.4	-666.15	674.07	-0.086	-0.974	-0.211	+/- 0.6
F2	X		3742.26	-668.96	674.11	-0.985	0.248	-0.082	+/- 0.6
G3	X	X	3744.84	-647.33	581.6	-0.082	-0.982	-0.17	+/- 0.8
F3	X	X	3741.85	-647.2	569.92	-0.889	0.199	0.412	+/- 0.6
G4	X	X	3735.75	-661.21	564.85	0.49	-0.1	0.866	+/- 0.7
F4	X		3706.69	-780.91	567.41	-0.876	0.336	0.347	+/- 0.6
G5	X		3703.89	-779.85	565.82	0.309	-0.113	0.944	+/- 0.7
F5	X	X	3629.5	-875.03	566.85	-0.471	0.681	0.193	+/- 0.6
G6	X	X	3628.24	-872.62	584.6	0.001	-0.045	0.989	+/- 0.7
F6	X		3511.73	-911.29	563.78	-0.201	0.978	0.056	+/- 0.6
G7	X		3511.35	-909.12	561.35	-0.007	-0.107	0.994	+/- 0.7
F7	X	X	3362.49	-934.36	559.54	0.144	0.833	-0.535	+/- 0.8
G8	X	X	3390.26	-930.06	657.6	-0.015	-0.12	0.993	+/- 0.7
F8	X		3473	-887.94	651.18	0.211	0.72	-0.861	+/- 0.8
G9	X	X	3381.53	-923.85	577.23	0.65	-0.057	-0.758	+/- 0.7
F9	X	X	3363.01	-848.83	729.11	0.059	0.848	-0.527	+/- 0.6
G10	X		3471.36	-885.1	651.81	0.852	-0.057	-0.756	+/- 0.7
F10	X	X	3655.24	-789.92	772.41	-0.457	0.548	-0.701	+/- 0.8
G11	X	X	3561.03	-845.69	725.91	0.651	-0.057	-0.757	+/- 0.7
G12	X	X	3652.74	-787.32	773.36	0.104	-0.023	-0.984	+/- 0.7
G13	X	X	3710.43	-702.24	769.86	0.032	-0.119	-0.992	+/- 0.7

TRUNK LAMP GAP & FLUSH									
POINT	3D MEASUREMENT	INLINE MEASUREMENT	COORDINATE			COS DIRECTION			TOLERANZANGABLE
			X	Y	Z	COSX	COSY	COSZ	
G1	X	X	3724.66	-683.50	764.82	0.449	-0.266	-0.853	+/- 0.6
F1	X	X	3723.27	-677.04	765.12	-0.796	0.220	-0.564	+/- 0.5
G2	X		3747.99	-588.22	753.88	0.441	-0.283	-0.852	+/- 0.6
F2	X		3750.81	-589.21	752.91	-0.828	0.140	-0.544	+/- 0.6
G3	X	X	3764.13	-523.72	720.91	0.260	-0.721	-0.642	+/- 0.6
F3	X	X	3766.94	-525.06	720.13	-0.909	-0.220	-0.377	+/- 0.5
G4	X		3771.64	-478.27	680.55	0.225	-0.824	-0.520	+/- 0.6
F4	X		3774.57	-479.66	659.93	-0.880	-0.336	-0.310	+/- 0.5
G5	X	X	3776.62	-441.16	599.61	0.214	-0.657	-0.468	+/- 0.6
F5	X	X	3778.93	-436.17	570.73	-0.962	-0.136	0.235	+/- 0.5
G6	X	X	3772.43	-452.76	562.64	0.619	-0.086	0.780	+/- 0.6
F6	X	X	3745.61	-636.71	585.95	-0.891	0.196	0.410	+/- 0.5
G7	X	X	3744.17	-621.76	564.34	0.608	-0.116	0.785	+/- 0.6
F7	X		3744.18	-658.88	674.79	-0.967	0.245	-0.061	+/- 0.5
G8	X	X	3746.78	-641.96	581.10	0.000	0.980	0.200	+/- 0.5
G9	X		3741.49	-681.04	674.79	0.000	0.980	0.200	+/- 0.5
G10	X	X	3729.98	-676.39	750.19	0.000	0.980	0.200	+/- 0.5

Tabla 3. Coordenadas X, Y y Z para los puntos de medición así como sus tolerancias.

En las figuras se muestran las coordenadas de las mediciones así como las tolerancias que se tiene en cada punto de medición, a estos puntos también se les conoce como puntos críticos o características críticas de la pieza.

Al hacer el análisis entre las coordenadas que marca el plano y las coordenadas que se tiene en la máquina de medición automatizada existe una diferencia mínima entre ellas, según los reportes y consultando al proveedor de dicha maquina, estas diferencias son porque los transductores que hacen la medición no pudieron ser colocados ahí dado que había interferencia entre la pieza y la maquina por lo cual se cambiaron un poco las coordenadas.

A continuación se muestran los cambios y las deltas que existen entre estas mediciones, entre plano y CMM son iguales cambia respecto a CMM vs Maquina.

#### 7.4.1 FENDER

FENDER LAMP GAP & FLUSH										Delta 3D vs CMM		
POINT	COORDINATE PLANE			COORDINATE CMM			COORDINATE AV 3D ONLINE			X	Y	Z
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z			
G1	3726.07	-682.28	753.32	3726.07	-682.28	753.32	3726.07	-682.28	753.32	0	0	0
F1	3719.96	-687.72	766.73	3719.96	-687.72	766.73	3719.96	-687.72	766.73	0	0	0
G3	3744.84	-647.33	581.6	3744.84	-647.33	581.6	3744.84	-647.33	581.6	0	0	0
F3	3741.85	-647.2	565.92	3741.85	-647.2	565.92	3741.85	-647.2	565.92	0	0	0
G4	3735.75	-661.21	564.65	3735.75	-661.21	564.65	3735.75	-661.22	564.65	0	0.01	0
F5	3629.5	-875.03	566.85	3629.5	-875.03	566.85	3629.5	-875.03	566.85	0	0	0
G6	3628.24	-872.62	564.6	3628.24	-872.62	564.6	3628.35	-872.82	564.42	-0.11	0.2	0.18
F7	3362.49	-934.36	559.54	3362.49	-934.36	559.54	3362.49	-934.36	559.54	0	0	0
G8	3390.26	-930.06	557.6	3390.26	-930.06	557.6	3390.31	-930.37	557.42	-0.05	0.31	0.18
G9	3381.53	-923.85	577.23	3381.53	-923.85	577.23	3381.61	-924.68	577.53	-0.08	0.83	-0.3
F9	3563.01	-848.63	725.11	3563.01	-848.63	725.11	3563.01	-848.63	725.11	0	0	0
F10	3655.24	-789.92	772.41	3655.24	-789.92	772.41	3655.24	-789.92	772.41	0	0	0
G11	3561.03	-845.6	725.01	3561.03	-845.6	725.01	3561.119	46.431	526.21	-0.089	-892.031	198.8
G12	3652.74	-787.32	773.36	3652.74	-787.32	773.36	3652.74	-787.32	773.36	0	0	0
G13	3710.43	-702.24	769.86	3710.43	-702.24	769.86	3710.43	-702.24	769.86	0	0	0

Tabla 4. Tabla comparativa entre puntos que marca el plano y los puntos que mide la 3D Online.

#### 7.4.2 TRUNK

TRUNK LAMP GAP & FLUSH										Delta 3D vs CMM		
POINT	COORDINATE PLANE			COORDINATE CMM			COORDINATE AV 3D ONLINE			X	Y	Z
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z			
G1	3724.66	-663.5	764.82	3724.66	-663.5	764.82	3725.13	-663.6	765.3	-0.47	0.1	-0.48
F1	3723.27	-677.04	765.12	3723.27	-677.04	765.12	3723.27	-677.04	765.12	0	0	0
G3	3764.13	-523.72	720.91	3764.13	-523.72	720.91	3764.7	-523.52	721.21	-0.57	-0.2	-0.3
F3	3766.94	-525.06	720.13	3766.94	-525.06	720.13	3766.94	-525.06	720.13	0	0	0
G5	3776.62	-441.16	599.61	3776.62	-441.16	599.61	3777.24	-440.89	599.79	-0.62	-0.27	-0.18
F5	3778.93	-436.17	570.73	3778.93	-436.17	570.73	3778.93	-436.17	570.73	0	0	0
G6	3772.43	-462.76	562.64	3772.43	-462.76	562.64	3772.99	-462.84	562.03	-0.56	0.08	0.61
F6	3743.61	-636.71	565.95	3743.61	-636.71	565.95	3743.61	-636.71	565.95	0	0	0
G7	3744.17	-621.76	564.34	3744.17	-621.76	564.34	3744.74	-621.87	563.73	-0.57	0.11	0.61
G8	3746.78	-641.96	581.1	3746.78	-641.96	581.1	3746.78	-641.96	581.1	0	0	0
G10	3729.98	-676.39	750.19	3729.98	-676.39	750.19	3729.98	-676.39	750.19	0	0	0

Tabla 5. Tabla comparativa entre puntos que marca el plano y los puntos que mide la 3D Online.

Aquí se muestra de forma grafica, las variaciones en los puntos:

**FENDER**

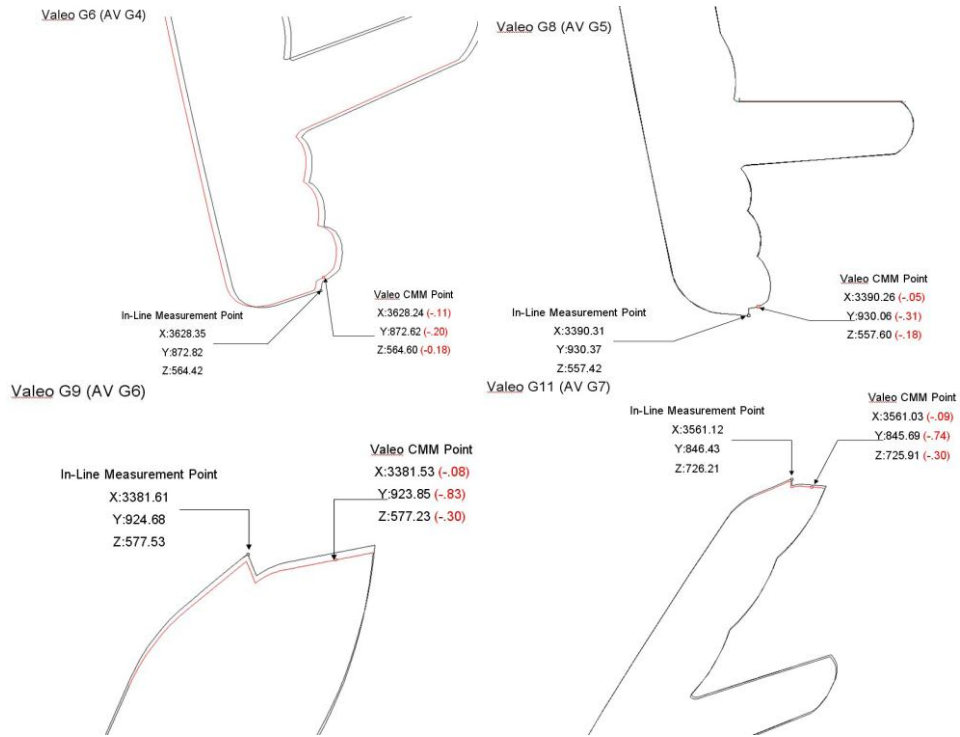


Figura 32. Diferencia grafica de coordenadas respecto al plano vs la 3D, en cada uno de los puntos.

**TRUNK**

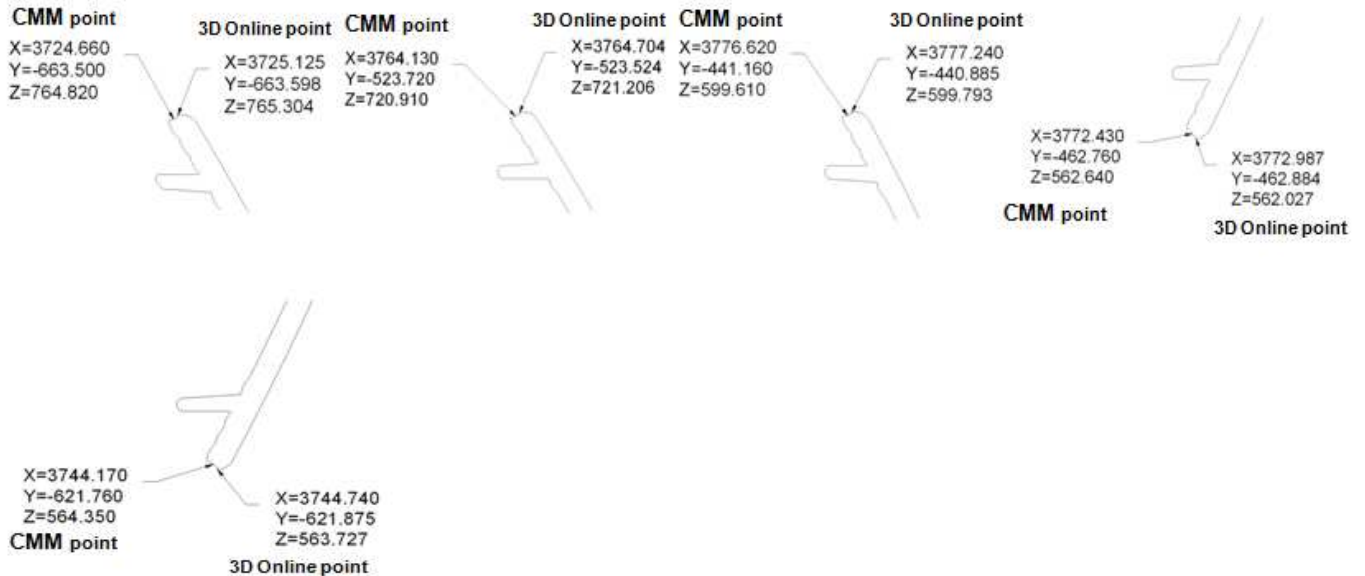


Figura 33. Diferencia grafica de coordenadas respecto al plano vs la 3D, en cada uno de los puntos.

Conociendo esta información podemos observar que nuestro sistema de medición no está midiendo de forma correcta, ósea que está midiendo en puntos distintos a los que marca el plano y lo que el cliente espera, mas sin embargo estas variaciones no hacen demasiado ruido en nuestras mediciones es tolerable acordándolo con el cliente y podemos continuar analizando nuestro sistemas de medición que es la 3D Online (Maquina automatizada).

### **7.5 MAQUINA AUTOMATIZADA (3D ONLINE)**

El sistema con el cual se realizan las mediciones en la línea de ensamblaje es una maquina automatizada, en la cual se coloca la pieza y esta cierra los fixtures para lograr la medición por medio de unos transductores de contacto, las mediciones son llevadas a la computadora de la maquina y esta discrimina si es pieza buena o pieza mala, de acuerdo a los parámetros que se le han programado.

Al ser una pieza buena la maquina libera las prensas y deja que el operador pueda sacar la calavera para que pase a la estación siguiente, si es mala no suelta la pieza y acciona una alarma, la cual solo puede ser desactivada por el supervisor para que el deseche la pieza al scrap.

Las mediciones van siendo mostradas en la pantalla y en ella aparecen cada una de las características criticas y sus lecturas. Si la pieza es mala muestra en que puntos esta fuera de dimensión. Todas las mediciones son almacenadas y pueden ser descargadas por medio de una USB para poder hacer los análisis que se requieran u observar el comportamiento del proceso durante el tiempo que uno desee.

En este sistema de medición la variación aportada por el humano es casi nula dado que no requiere interpretación por parte del usuario o manipulación al ser medida, la única interferencia del operador es cuando posiciona la pieza en la maquina al inicio del ciclo.

Cada paro de línea y/o cambio de turno la maquina se masteriza para evitar variaciones por el tiempo que no ha estado en uso y para asegurar una buena medición de la 3D Online.



### 7.5.1 3D ONLINE FENDER (imágenes)



*Figura 34. Máquina automatizada para el producto Fender.*

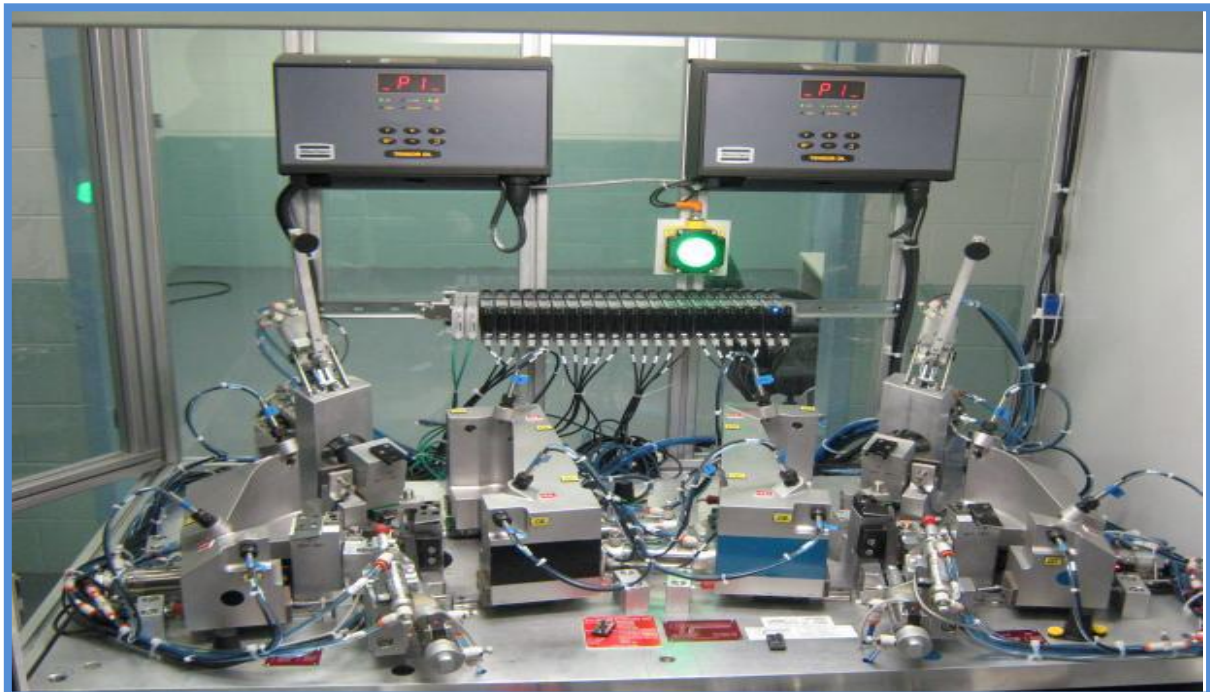


*Figura 35. Las piezas son medidas automáticamente por la máquina y sus resultados desplegados en la pantalla.*

### 7.5.2 3D ONLINE TRUNK (imágenes)



*Figura 36. Máquina automatizada para el producto Trunk.*



*Figura 37. Las piezas son medidas automáticamente por la máquina y sus resultados desplegados en la pantalla.*

## 7.6 ANÁLISIS DE REPETIBILIDAD Y VARIACIÓN DE LA MEDICIÓN

Al hacer un análisis del porque la maquina no estaba discriminando entre pieza buena y pieza mala, se encontró que existían varios factores los cuales influían en la medición errónea y por lo tanto se estaban aceptando piezas malas por buenas.

Se realizo un estudio de repetibilidad tipo 1 en la maquina TRUNK para saber cómo estaba el porcentaje de repetibilidad y en qué puntos de medición se encontraba un porcentaje mayor al 30%.

El análisis se llevo a cabo con una pieza y se realizaron 30 intentos para medir su porcentaje de repetibilidad. Fue un solo operador los 30 intentos dado que la reproducibilidad es nula en este caso de la maquina automatizada, el análisis detallado se encuentra en al ANEXO A.

Los resultados no fueron satisfactorios dado que se encontraron 4 puntos con una repetibilidad mayor al 30% que marca la AIAG, por lo cual nuestro sistema de medición no es confiable y se tienen que realizar mejoras para tener en todos los puntos un porcentaje menor al 30%.

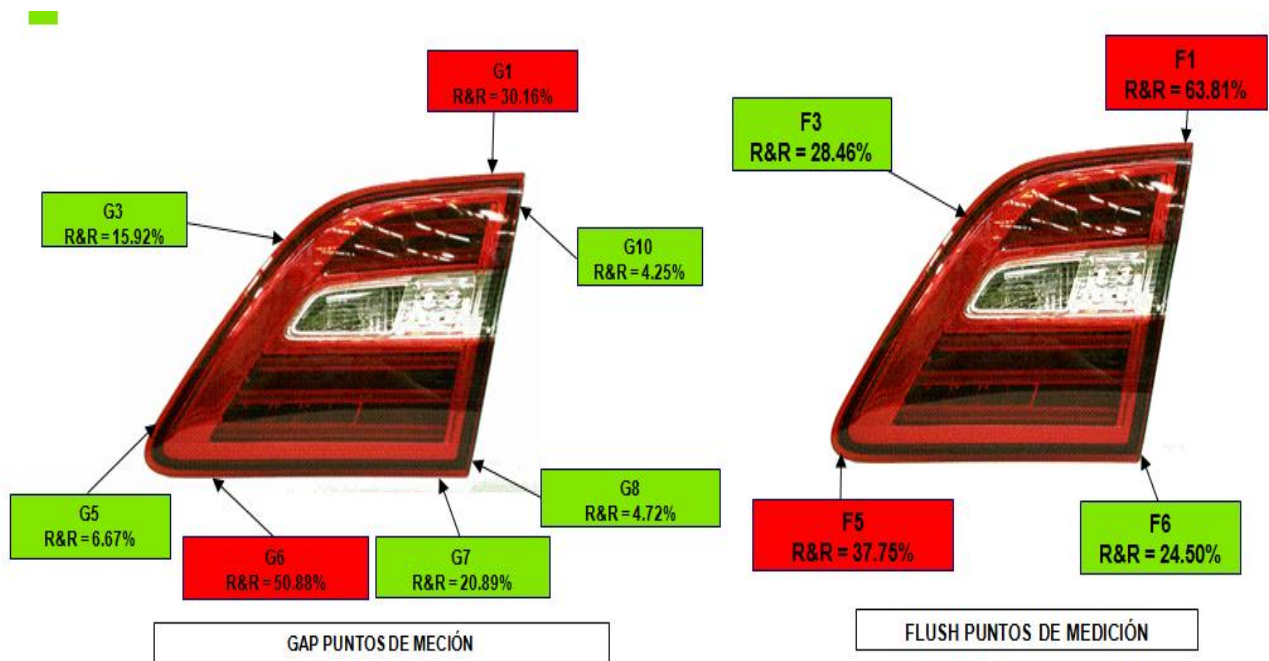


Figura 38. Porcentaje de repetibilidad, los rojos son mayores a 30% por lo cual deben mejorarse.

Al conocer detalladamente cuales son los puntos donde se está fallando al repetir podemos observar que existe un juego en la pieza al ser montada en la maquina dado que los puntos que están fallando son los de los extremos, así mismo se observa que esta falla en la carga también levanta la pieza y hace la medición errónea en los flush.

Se debe recordar que los GAP son referente al eje de X y Y, por su parte los FLUSH son en el eje de la Z.

Se comprueba la hipótesis estando en la línea y observando cuando se hace el ciclo de la maquina, al cerrarse las prensas existe una variación la cual está fallando en nuestra repetibilidad y por lo tanto debe eliminarse o hacer esta variación menor. A continuación se mostraran las mejoras propuestas y las mejoras elegidas.

## 7.7 PROPUESTAS DE MEJORA Y FACTIBILIDAD

- **Problema # 1**

Brazo de empuje se encuentra ubicado en el centro de la pieza, no se lleva a cabo una presión uniforme sobre la pieza y la fuerza no es distribuida de igual forma en ambos extremos.

- **Mejora # 1**

Modificar el brazo de empuje duplicándolo en cada uno de los extremos para que la presión sea distribuida en toda la pieza, esto permitirá que la fuerza de ambos brazos sea simultanea y uniforme.

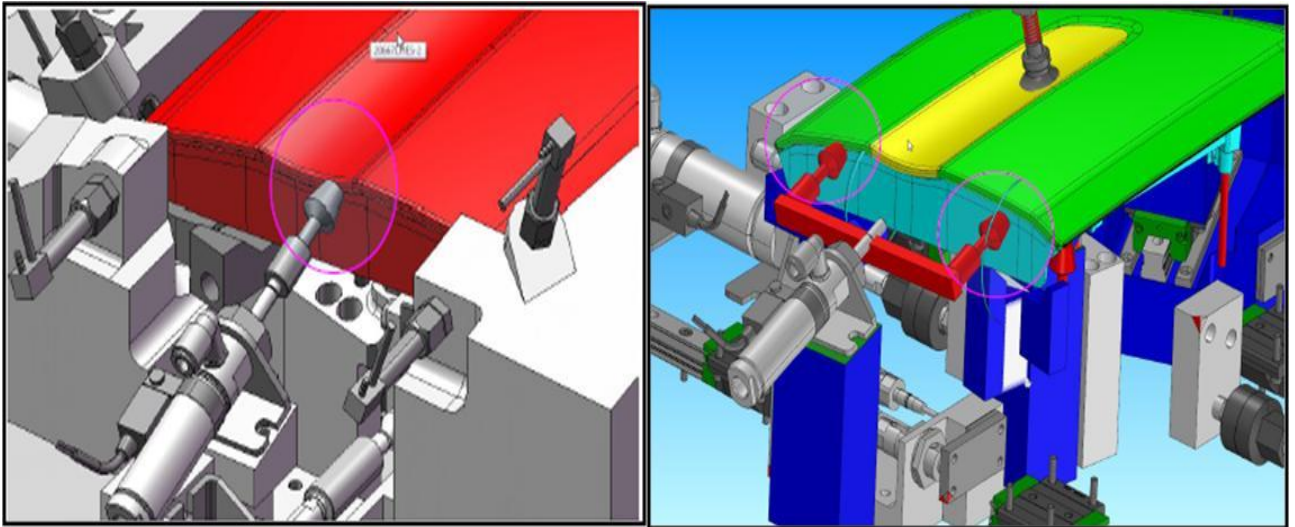


Figura 39. Modificación del brazo de empuje, figura izquierda un solo brazo, figura derecha dos brazos.

- **Problema # 2**

La presión del resorte en la pinza es casi nula, esto permite que la pieza se mueva en el eje de la Z y se obtenga malas mediciones.

- **Mejora # 2**

Reemplazar el resorte por uno con mayor espiras por lo tanto más resistente, esto asegurará a la pieza durante todo el proceso de medición.

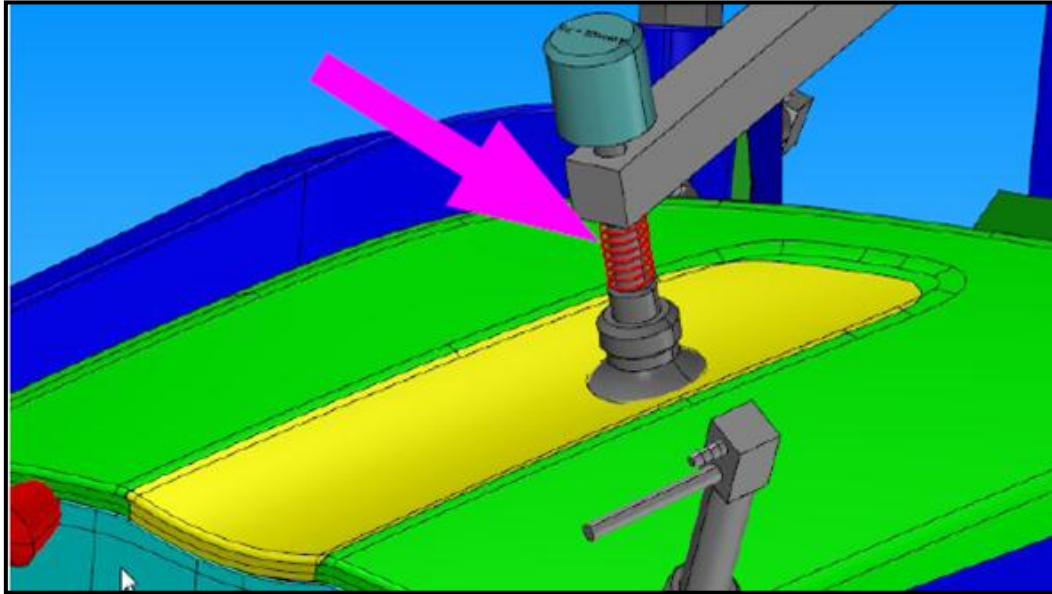


Figura 40. Resorte que ejerce presión en el eje de las Z hacia la pieza.

- **Problema # 3**

Debido a que los puntos de apoyo A1 y A2 quedan por debajo de la pieza 1 mm y esto ocasiona movimiento en la pieza a la hora de que los transductores miden.

- **Mejora # 3**

Se implementa un poste para que la caída sea mínima durante el proceso de medición, esto debería reducir la variación de medición.

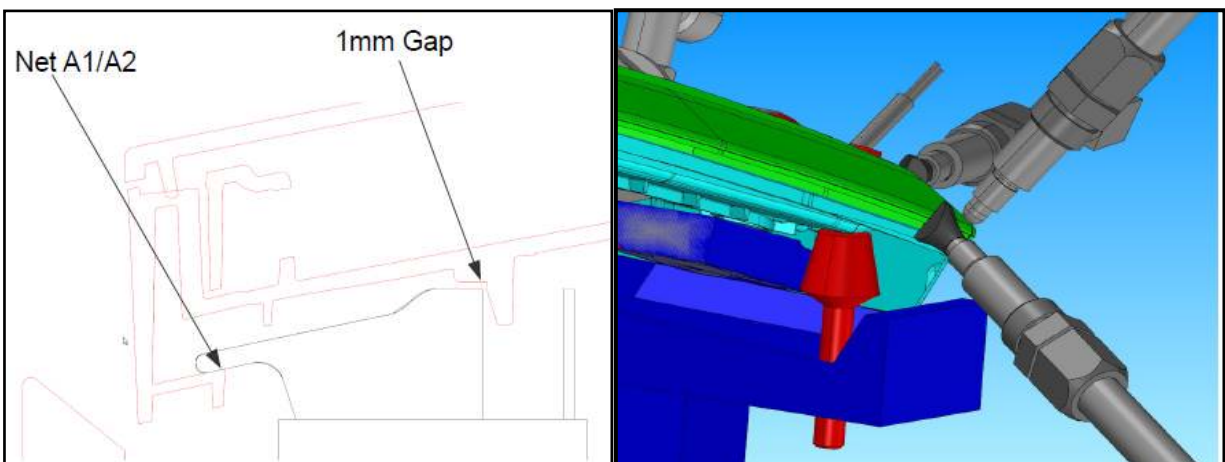


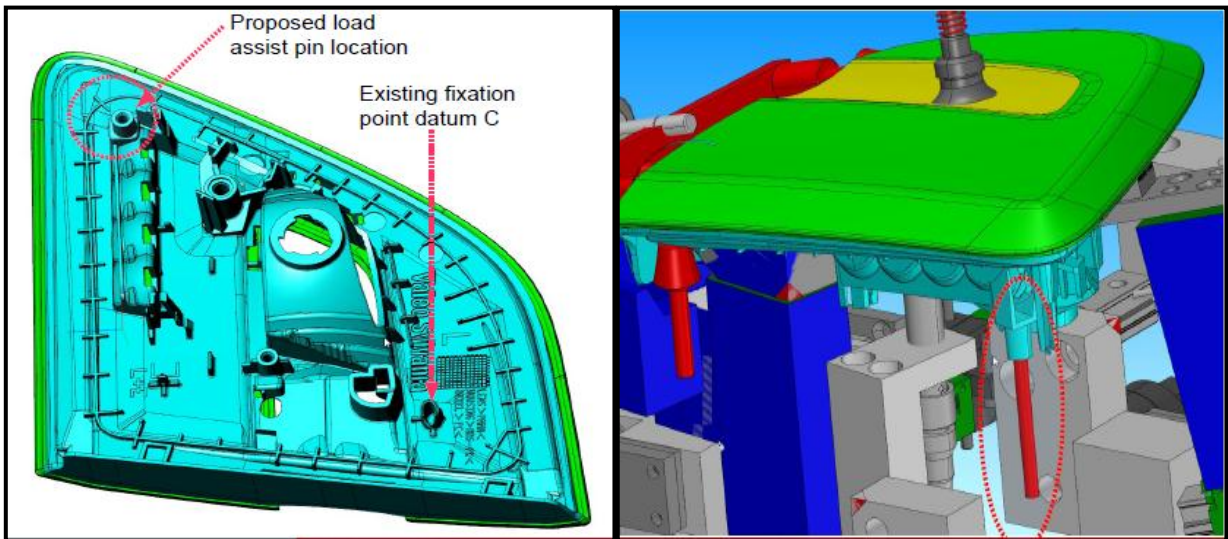
Figura 41. Poste situado en el extremo de la pieza para evitar variación.

- **Problema # 4**

Solo se tiene un punto de fijación en la pieza el datum C al cargar la pieza, por lo cual la pieza no siempre queda alineada.

- **Mejora # 4**

Añadir un pin de soporte por debajo de 1mm de la pieza, esto no afectara en la medición y solo se usara si la pieza baja más de 1mm.



*Figura 42. Adición de un pin para soportar la pieza y evitar juego entre la pieza al momento de ser medida.*

## 7.8 FACTIBILIDAD

Se analizó el tiempo en que se llevarían a cabo cada una de las mejoras dado que para realizarlas se tenía que parar la línea de producción y esto generaría pérdidas a la empresa así como problemas de embarques para su entrega con el cliente. El costo también influyó en dicho análisis dado que las mejoras 3 y 4 requerían la manufactura de partes y una modificación mayor de la máquina. Todas estas propuestas fueron compartidas con el cliente Mercedes Benz dado que él es el dueño de la maquinaria y el costo sería compartido entre ambos.

Después de analizar y compartir todas las mejoras y determinar cuál de ellas tendrían un mayor impacto en alcanzar la repetibilidad menor al 30%, se concluyó que las mejoras 1 y 2 tendrían un mayor peso y su implementación sería más sencilla y benéfica para el sistema de medición por lo cual se llevaron a cabo.

- **Mejora #1**

Mejora mecánica en los brazos de presión en ambos extremos de la pieza, la centralización durante el proceso es mayor y proporcionada.

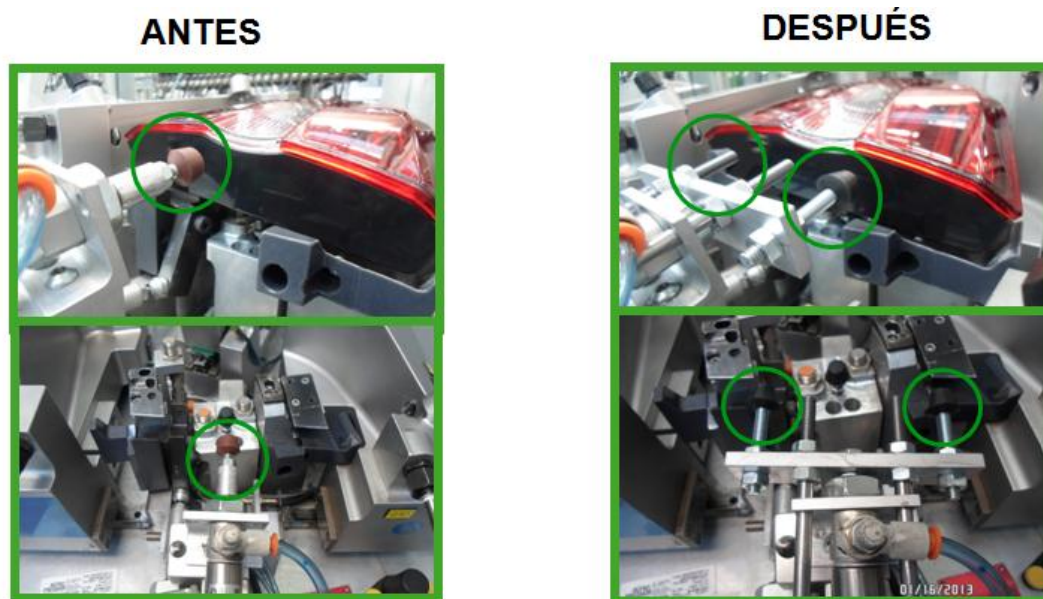
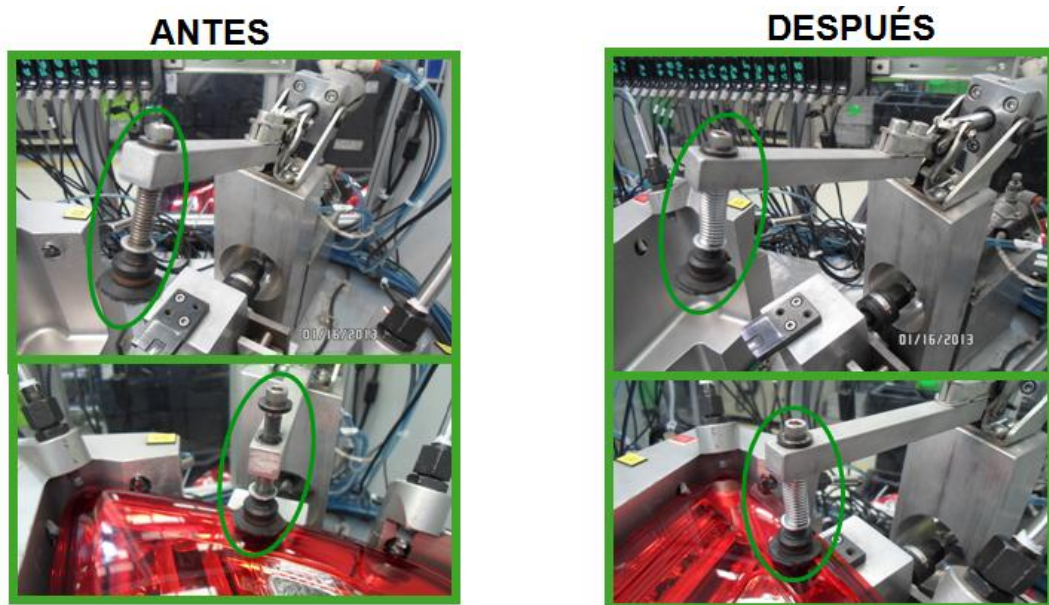


Figura 43. Modificaciones antes y después, referentes a la adición de dos brazos de empuje.



- **Mejora #2**

Reingeniería de resorte superior, aumentado se resistencia y presión sobre la pieza al momento que esta entra en ciclo de medición.



*Figura 44. Modificaciones antes y después, referentes al cambio de resorte ahora con mayor resiste y mas espiras en él.*

## 7.9 VALIDACIÓN DE MEJORAS Y ANÁLISIS

Después de realizar las mejoras en la línea se lleva a cabo la validación, la cual consta de realizar nuevamente el estudio de repetibilidad de primer nivel para observar si hubo una mejoría en el porcentaje de repetibilidad y si se logró un menor porcentaje al 30%.

Se utilizó la misma pieza así como el mismo operador esto para eliminar cualquier variación aportada por cualquiera de los dos factores. Los resultados fueron los siguientes.

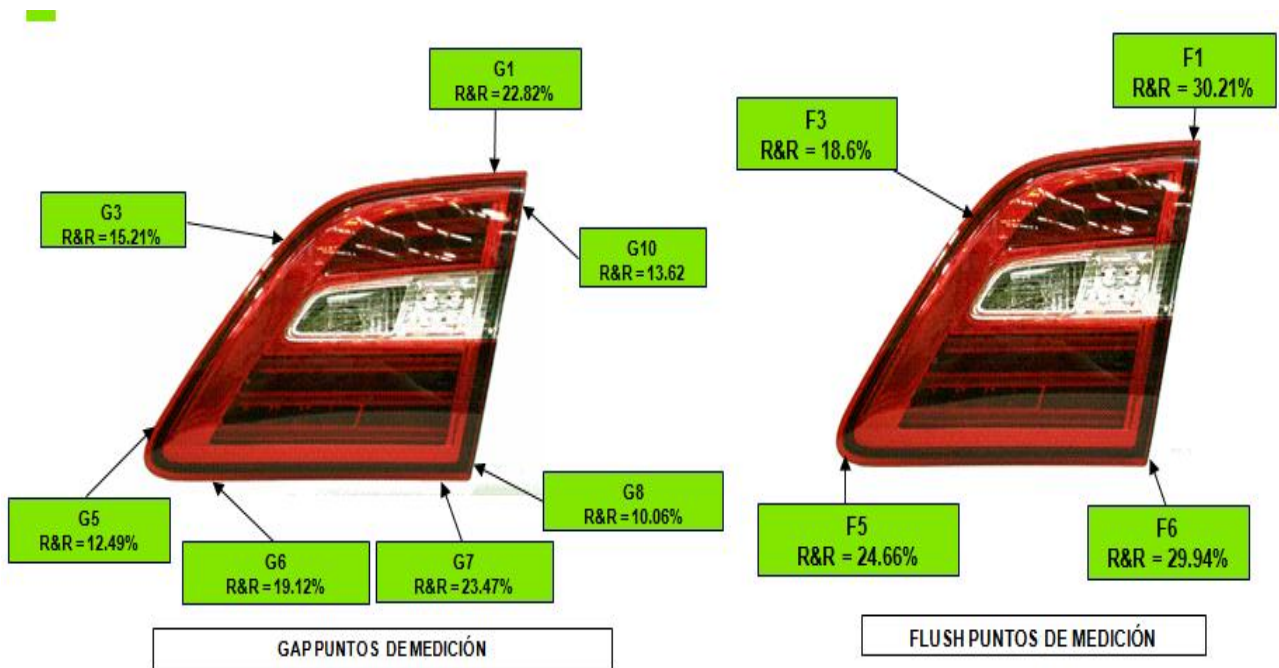
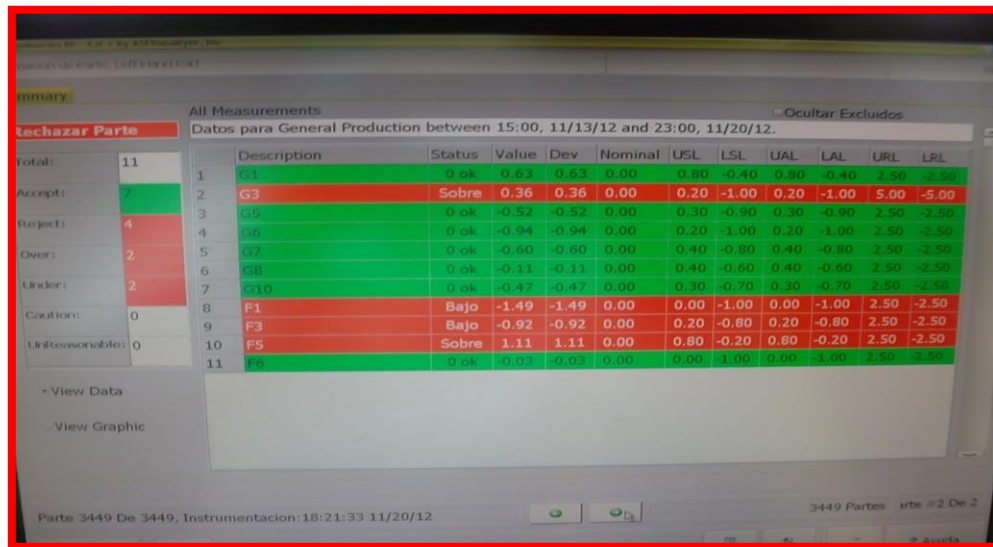


Figura 45. Resultado en porcentaje de repetibilidad después de realizar las mejoras, todos los puntos de medición tienen un porcentaje menor al 30% por lo cual están en verde.

La repetibilidad en todos los puntos de medición se encuentran por debajo del 30%, lo cual para la AIAG esto es aceptable y se puede concluir que el sistema de medición es confiable y ahora puede tener mediciones correctas, además de que las mejoras dieron un resultado esperado. El análisis detallado se encuentra en el ANEXO B, ahí se observa cómo es su comportamiento durante los 30 intentos además de que los puntos grandes que existían se han reducido considerablemente.

## 7.10 ANÁLISIS DE TRANSDUCTORES Y MEJORAS

Respecto a la máquina de FENDER se encontró que los transductores eran los causantes de la mala medición, esto dado por las mediciones constantes que realizaba, lo cual nos decía que el transductor se quedaba pegado haciendo la misma medición en todos los intentos.



Summary		All Measurements											
Rechazar Parte		Datos para General Production between 15:00, 11/13/12 and 23:00, 11/20/12.											
Total:	11	1	G1	0 ok	0.63	0.63	0.00	0.80	-0.40	0.80	-0.40	2.50	-2.50
Accept:	7	2	G3	Sobre	0.36	0.36	0.00	0.20	-1.00	0.20	-1.00	5.00	-5.00
Reject:	4	3	G5	0 ok	-0.52	-0.52	0.00	0.30	-0.90	0.30	-0.90	2.50	-2.50
Over:	2	4	G6	0 ok	-0.94	-0.94	0.00	0.20	-1.00	0.20	-1.00	2.50	-2.50
Under:	2	5	G7	0 ok	-0.60	-0.60	0.00	0.40	-0.80	0.40	-0.80	2.50	-2.50
Caution:	0	6	G8	0 ok	-0.11	-0.11	0.00	0.40	-0.60	0.40	-0.60	2.50	-2.50
Unfiteconable:	0	7	G10	0 ok	-0.47	-0.47	0.00	0.30	-0.70	0.30	-0.70	2.50	-2.50
		8	F1	Bajo	-1.49	-1.49	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	2.50	-2.50
		9	F3	Bajo	-0.92	-0.92	0.00	0.20	-0.80	0.20	-0.80	2.50	-2.50
		10	F5	Sobre	1.11	1.11	0.00	0.80	-0.20	0.80	-0.20	2.50	-2.50
		11	F6	0 ok	-0.03	-0.03	0.00	0.00	-1.00	0.00	-1.00	2.50	-2.50

Figura 46. Imagen de la computadora en la 3D Online donde plasma el mal funcionamiento de los transductores.

La solución a esto fue reforzar el mantenimiento preventivo de los transductores, haciendo un chequeo cada 2 hrs de los mismos esto por parte del operador de esa estación. La calibración de los transductores era efectiva mas sin embargo la frecuencia se redujo para tener un mayor aseguramiento de la correcta medición.

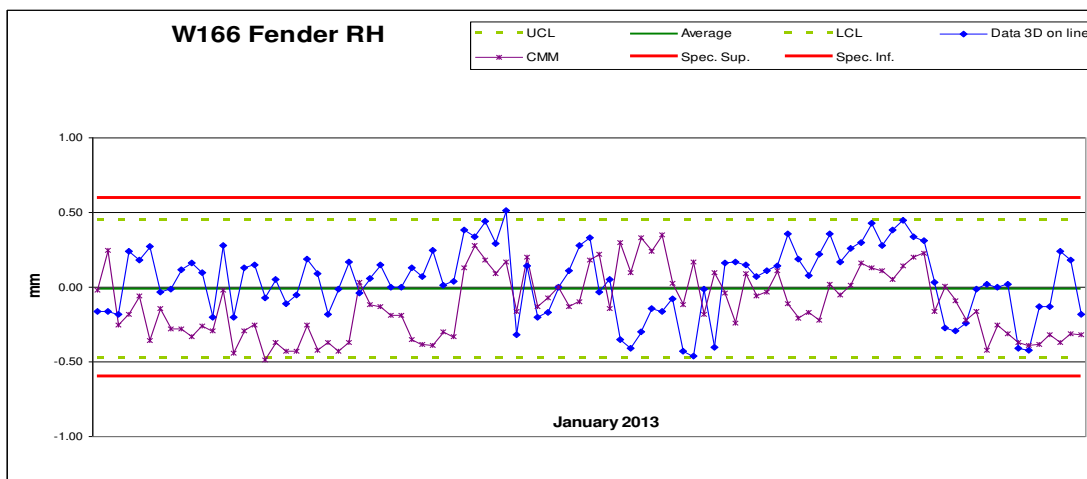


Figura 47. Transductores, izquierda transductor dañado por el uso, derecha transductor nuevo.

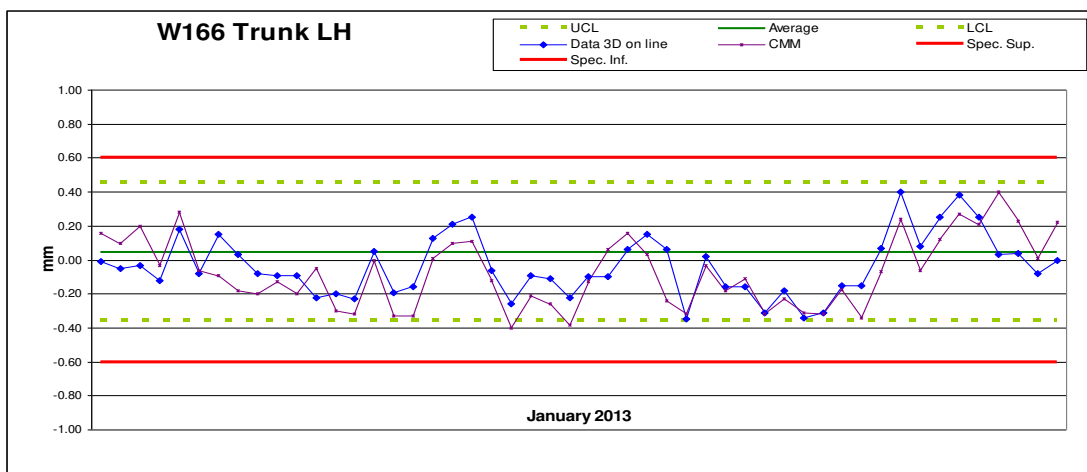
## 7.11 ASEGURAMIENTO DE LA CAPACIDAD DEL PROCESO

Como método control se llevo a cabo una la medición de 5 piezas al azar por cada turno, son 3 turnos por día los 7 días de la semana. Estas 5 piezas eran medidas en la CMM del laboratorio y medidas en la maquina automatizada para verificar cual era su variación si es que existía.

Los datos obtenidos eran capturados por parte de los técnicos de calidad y verificados por el ingeniero de calidad para determinar cómo se estaba comportando el proceso y el sistema de medición, así también esta información era compartida con el cliente cada semana en las conferencias para tener el control del proceso.



Grafica 6. Gráfico de medición del mes de enero 2013, 3D Online (azul) vs CMM (violeta).



Grafica 7. Gráfico de medición del mes de enero 2013, 3D Online (azul) vs CMM (violeta).

## VIII. CONCLUSIÓN

La voz del cliente siempre debe ser escuchada, sea esta para reclamar o felicitar, en el proyecto anterior se presento un problema de calidad en las dimensiones del producto lo cual nos llevo hacer una investigación de la causa raíz de por qué nuestro sistema de medición no fue capaz de detectar estas anomalías en las partes.

La automatización en la industria no solo se reduce a procesos relacionados a la producción sino también a los sistemas de medición dado que estos son más exactos y precisos a la hora de actuar.

El sistema de medición es una pieza clave en todo proceso, es la conciencia del mismo, el cual dice nos dice si nuestro producto se acepta o rechaza, lo cual debe ser analizado y comparado con patrones establecidos para tener el 100% de confianza de nuestras decisiones.

La reproducibilidad o la variación aportada por el usuario como también se le conoce, es nula en los equipos automatizados, como aquí se expone en el proyecto, esto es algo más que nos regala la automatización reducir o eliminar el error humano por lo tanto al realizar estudios de medición esta ya no forma parte haciendo más sencillo sus análisis.

Para poder analizar cualquier sistema se debe tener conocimiento del mismo así como del producto, los dueños del proceso deben estar involucrados en el proyecto dado que saben cuáles son esos puntos clave para su solución, mas sin embargo no debe hacerse menos la opinión de los especialistas este último punto fue importante para este proyecto ya que a la hora de proponer las ideas de mejora hubo participación de las personas que fabricaron el equipo de medición enriqueciendo las posibles soluciones.

La producción de partes para la industria automotriz no puede ser frenada o sino causarías pérdidas a la empresa, por lo cual a la hora de realizar las mejoras se debió contemplar el tiempo de ellas así como su costo, se debe trabajar de una forma

eficiente en todos aspectos para ello el involucramiento de la alta dirección debe estar presente sino el proyecto se vendría abajo.

Al realizar el análisis del sistema de medición y tener las soluciones ya implementadas estas deben validarse y observar si se cumplieron los objetivos fijados para poder seguir a la siguiente etapa que es la de aseguramiento y control, una etapa importante y que todo proyecto debe tener para evitar futuras fallas así como para monitorear las mejoras a largo plazo, esta etapa muchas veces pasa por alto por lo cual vienen las reincidencias de los problemas.

Se llevo una transversalización del proyecto a otras líneas de producción para clientes distintos, esto quiere decir que posteriormente se analizaron los sistemas de medición de otros clientes para verificar su buen funcionamiento además que fue compartido con todo el grupo Valeo, para que empresas instaladas en otros países y con productos distintos, realizando los pasos del proyecto.

Fue de gran desarrollo profesional ser parte del proyecto, dado que me da una visión más amplia de lo que es la industria y los altos estándares de calidad que los clientes de la industria automotriz requieren, son un pilar de sus empresas por lo cual la exigencia debe ser alta y satisfecha por sus proveedores como nosotros.

## **IX. BIBLIOGRAFÍA**

### ***Control de Calidad y Estadística Industrial***

Acheson J. Duncan  
Alfa Omega Grupo Editor  
Primera edición, 2000.

### ***Las claves del Seis Sigma***

Peter S. Pande, Robert Neuman, Ronald R. Cavanagh  
McGraw – Hill  
Primera Edición, 2002.

### ***Control Estadístico de la Calidad y Seis Sigma***

Humberto Gutiérrez Pulido, Román de la Vara Salazar  
McGraw – Hill Interamericana  
Primera Edición, 2004.

### ***Control Estadístico de la Calidad***

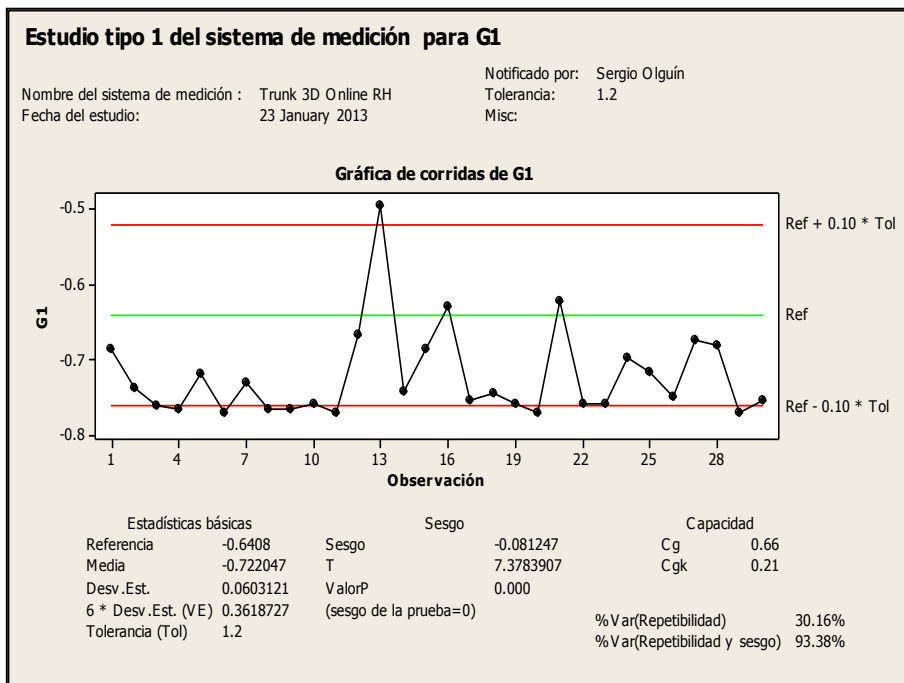
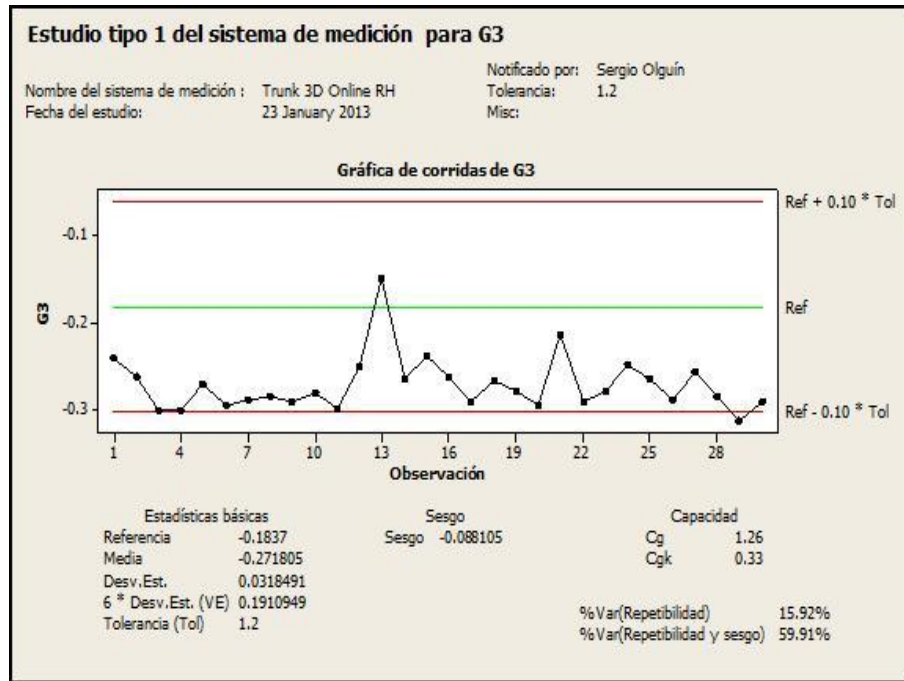
Douglas C. Montgomery  
México, Limusa Wiley  
Tercera Edición, 2009.

Se tomó como referencia: **Daymiler Chrysler Corporation, Ford Motor Company, General Motors Corporation, *Measurement System Analysis, Reference Manual*, Third Edition, AIAG, EUA, Mayo 2003**

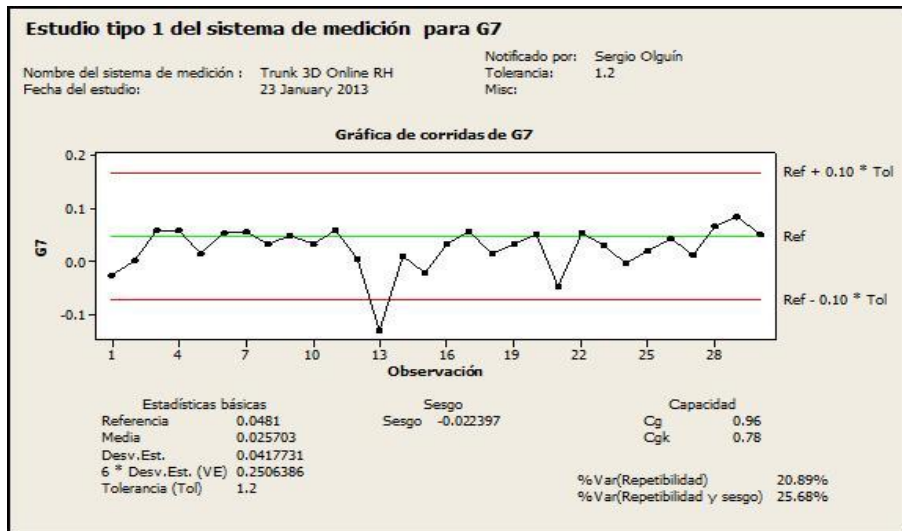
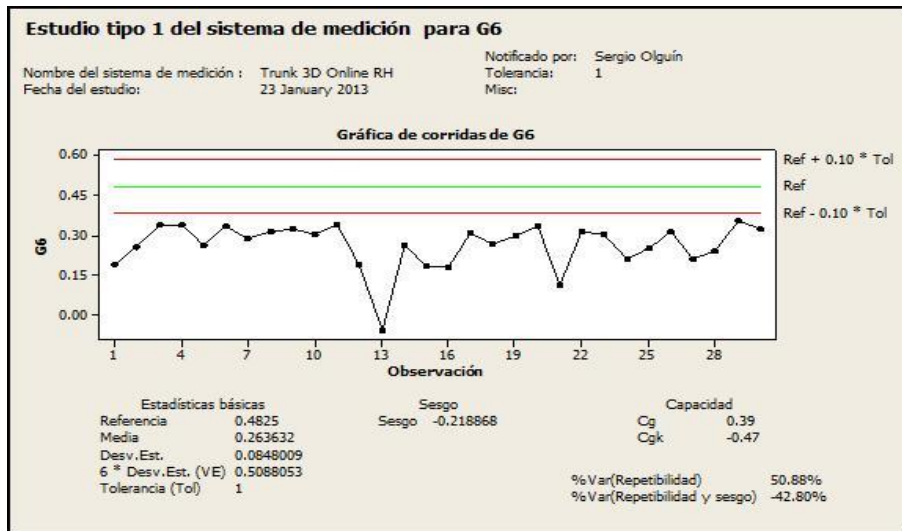
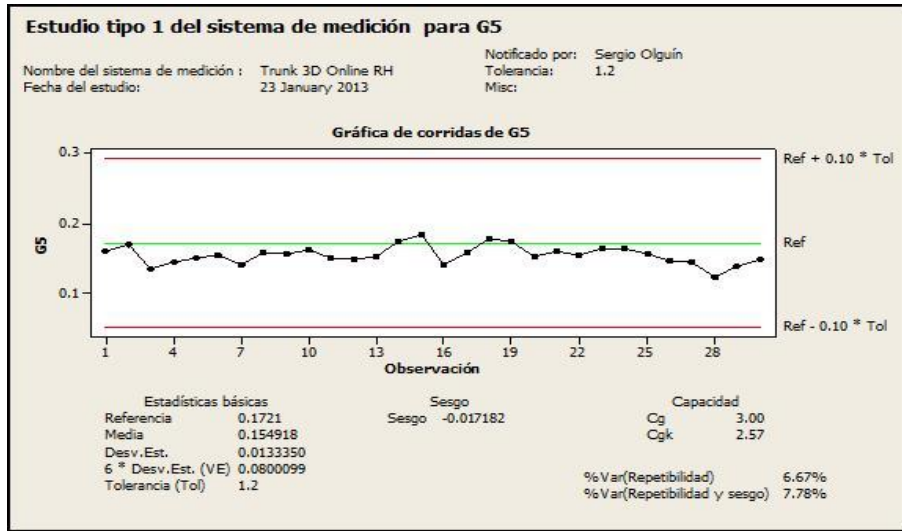
***<http://spcgroup.com.mx/msa/>***

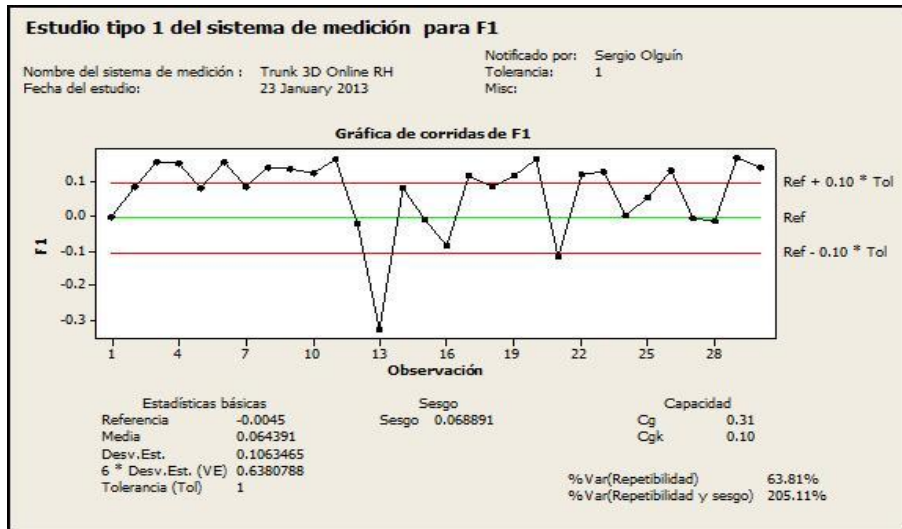
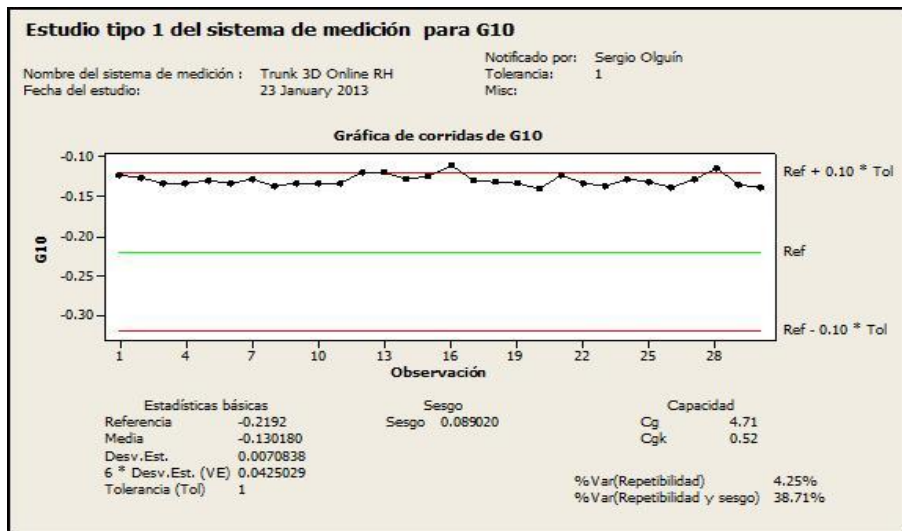
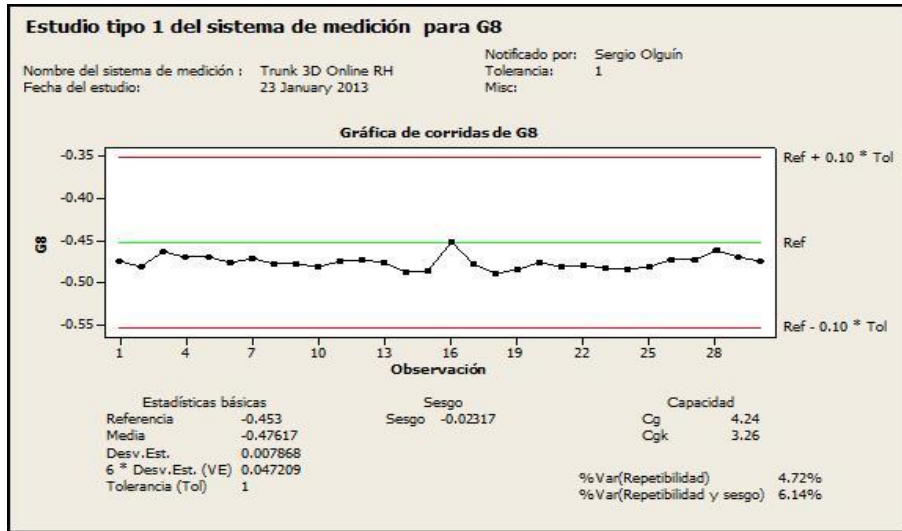
**ANEXO A**

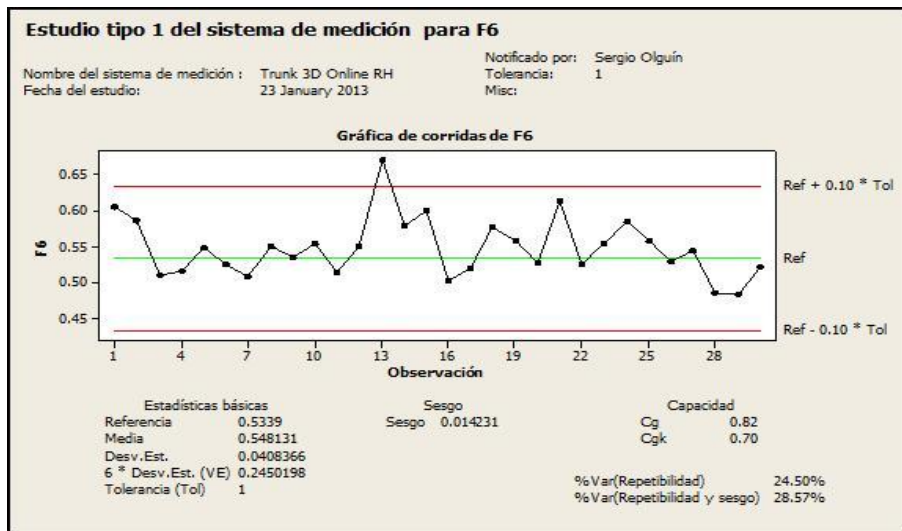
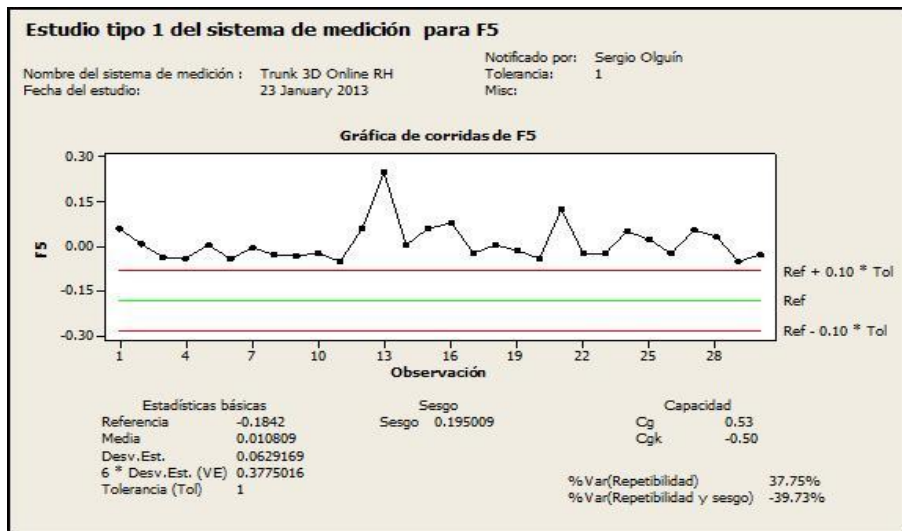
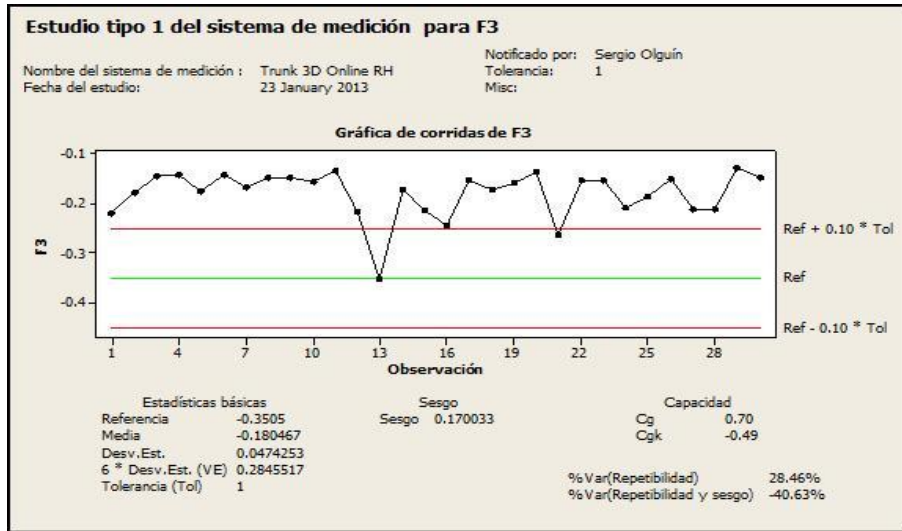
Estudio de repetibilidad nivel 1, para TRUNK antes de las mejoras realizadas.











**ANEXO B**

Estudio de repetibilidad nivel 1, para TRUNK después de las mejoras realizadas.

