



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ INGENIERÍA INDUSTRIAL

INFORME FINAL DEL PROYECTO DE RESIDENCIA PROFESIONAL

**“ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REPETIBILIDAD Y
REPRODUCIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICIÓN Y
PERSONAL QUE LABORA EN EL ÁREA DE
PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE LA EMPRESA ALPLA
TRADING S.A DE C.V.”**

**DESARROLLADO POR:
Valentín Bernardo Gómez Jiménez**

No. DE CONTROL

05270382

ASESOR:

M.C. Sabino Velázquez Trujillo.

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; 14 de Febrero del 2010.

ALPLA

TRADING, S.A. DE C.V.

Manzana 3, Lote 6, Parque Industrial Exportec I
50200, Toluca, Estado de México A.P. 612
Tel. Conm. (01 722) 2754500
Fax (01 722) 2754518
R.F.C. ATR 971209 FN2

Toluca, Estado de México; a 09 de Diciembre de 2009.

DR. DANIEL SAMAYOA PENAGOS
JEFE DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN
TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN.

PRESENTE.

El que suscribe la presente Lic. Gonzalo Camacho Mendoza, Gerente de Recursos Humanos de la Empresa Alpla Trading, S.A. de C.V., con domicilio fiscal para oír y recibir notificaciones en Manzana 3, Lote 6, Parque Industrial Exportec I, Toluca, Estado de México. C.P. 50200., y a través de la misma aprovecho la ocasión para enviar a Usted un cordial saludo, y al mismo tiempo manifestarle por este medio, la presente CARTA DE LIBERACIÓN, en la cual La Empresa notifica que el C. VELENTIN BERNARDO GOMEZ JIMENEZ con No. De control 05270382 de la Carrera de Ing. Industrial y quien para culminar su carrera profesional; realizó su Residencia Profesional en esta empresa y a través del cual estuvo asignado al Departamento de Calidad; planta SBM San Cristóbal; a partir del día 30 de Junio de 2009, hasta el día 30 de Noviembre de 2009; cubriendo un total de 640 horas, desempeñando satisfactoriamente El Plan y Programa de Trabajo estableciendo por ambas partes Residente y Asesor de la Empresa respectivamente denominado "ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCTIBILIDAD EN EQUIPOS DE MEDICIÓN Y PERSONAL QUE LABORA EN EL AREA DE PRODUCCIÓN DE CALIDAD DE LA EMPRESA ALPLA TRADING S.A. DE C.V."; el cual fue coordinado y dirigido por la Ing. Gloria Ramos y que dicho proyecto ha servido de base para poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la formación profesional.

Sin otro asunto que tratar por el momento, agradezco de antemano la Coordinación y el Apoyo que se nos ha venido brindando al Sector Privado con los programas de Vinculación entre Instituto y Empresa, así mismo me pongo a sus órdenes para cualquier asunto o comentario que hubiera sobre la presente Carta de Liberación del proyecto antes mencionado y Residencia Profesional respectivamente.

ATENTAMENTE

LIC. GONZALO CAMACHO MENDOZA
GERENTE DE RECURSOS HUMANOS



ÍNDICE GENERAL

Introducción	1
1. DIMENSIONAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.1 Antecedentes.....	5
1.2 Planteamiento del Problema.....	6
1.3 Objetivos.....	6
1.4 Justificación	6
1.5 Delimitación	7
2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	8
2.1 Historia Alpla Trading San Cristóbal 2002-2009	9
2.2 Misión	10
2.3 Visión.....	11
2.4 Objetivos.....	11
2.5 Organigrama de la Empresa.....	11
2.6 Ubicación de la Planta	12
2.6.1 Ubicación Regional de la Planta	12
2.6.2 Ubicación Local San Cristóbal de las casas	13
2.7 Descripción del Proceso Administrativo Interno.....	13
3. FUNDAMENTO TEÓRICO	15
3.1 Seis Sigma su Concepto e Interpretación.....	16
3.1.1 Desviación Estándar	16
3.1.2 Promedio.	18
3.1.3 Rango	19
3.1.4 Histogramas.....	19
3.1.5 Organización para Implementar el Programa de Seis Sigma	25
3.1.6 Distribución Normal.....	29
3.2 Análisis Estadístico del Sistema de Medición	31
3.2.1 Propiedades Estadísticas de los Sistemas de Medición	32
3.2.2 Precisión y Exactitud.....	36
3.3 Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad	38

3.3.1 Repetibilidad	38
3.3.2 Reproducibilidad	39
3.3.3 Evaluación de la Repetibilidad y la Reproducibilidad (GR & R o RR).....	40
3.3.4 Método del Rango (Método Corto)	41
3.3.5 Estudios Largo con Análisis de Medias y Rangos	42
3.3.6 Método del Anova.....	43
3.3.7 Repetibilidad vs Reproducibilidad.....	44
3.4 Concepto de Gráficos de Control.....	45
3.4.1 Medidas de Tendencia Central o Medidas de Centralización	48
3.4.2 Medidas de Dispersión	49
3.4.3 Desviación Estándar Muestral	49
3.4.4 Varianza.....	49
3.4.5 Rango	50
3.4.6 Elementos de un Gráfico de control.....	50
3.4.7 Gráficos de Control para Variables.....	51
3.4.8 Obtención de los Parámetros de un Gráfico de Control de Variables.....	52
3.4.9 Formación de Subgrupos.....	53
3.4.10 Gráfico de Control de Medias y Rangos ($\bar{x}R$)	54
3.4.11 Obtención de los Límites de Control ($\mu \pm 3\sigma$)	55
3.4.12 Gráfico de Lecturas Individuales.....	57
3.4.13 Gráficos de Control para Atributos.....	59
3.4.14 Gráfico p y np	60
3.4.15 Gráfico p.....	60
3.4.16 Gráfico np	61
3.4.17 Gráfico c y u.....	61
3.4.18 Gráfico c	62
3.4.19 Gráfico u	62
3.4.20 Cálculo de Nuevos Límites de Control.....	63
3.5 Guía para la Selección de Gráficos de Control.....	64
3.6 Interpretación de Gráficos de Control	64
3.7 Interpretación del Control del Proceso.....	65

3.8 Interpretación General	66
3.9 Interpretación de Gráficos para Atributos	67
3.10 Capacidad del Proceso	67
3.10.1 Índice Capacidad Potencial	68
3.10.2 Índice de Capacidad Real	71
3.11 Prueba de Hipótesis sobre Parámetros de Procesos	72
3.11.1 Pruebas de Hipótesis con Dos Colas.....	74
3.11.2 Prueba de Hipótesis con Una Cola	75
3.11.3 Errores de Decisión	75
3.12 Muestreo y su Aplicación	76
3.12.1 Tipos de Muestreo	77
3.12.2 Tipos de Datos de Población	78
3.12.3 Técnicas de Muestreo.....	78
4. MODELO PROPUESTO	80
4.1 Antecedentes del Modelo Propuesto	81
4.2 Implementación del Modelo Propuesto.....	81
4.3 Descripción de la Metodología Propuesta por Fases	82
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	89
5.1. Interpretación de los Resultados de la Tabla de ANOVA de dos Factores con Interacción.....	90
5.2 Interpretación de los Resultados de la Tabla de ANOVA de dos Factores sin Interacción.....	91
5.3 Interpretación de los Porcentajes de Contribución, Cálculo de la Desviación Estándar y la Varianza.....	92
5.4 Interpretación de las Gráficos de un Estudio Gage R&R	94
5.5 Análisis de la Prueba de Altura.....	97
5.6 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento de Hombro Superior ..	101
5.7 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Hombro Inferior	105
5.8 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Panel.....	109
5.9 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento de la cintura	113
5.10 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Talón	117

5.11 Análisis de la Prueba medición de claro de base	121
6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	125
6.1 Conclusiones	126
6.2 Sugerencias.....	127
Fuentes de Información	128
Anexo A Hoja de Resultados y Gráficos de las Pruebas de R&R	130
Anexo B Concepto de Minitab Versión15 y su Uso en un Estudio de Gage R&R.....	175
Anexo C Fotografías de Instrumentos de Medición y Botellas para Pruebas de R&R	184
Anexo D Formatos para la Recolección de Datos	187
Glosario.....	194
Abreviaturas.....	196

LISTA DE FIGURAS

Figura 2. 1 Organigrama de la Empresa	12
Figura 2. 2 Ubicación Regional de Alpla San Cristóbal	12
Figura 2. 3 Ubicación Local Alpla San Cristóbal.....	13
Figura 3. 1 Desplazamientos con Base en las Desviaciones Estándar.....	17
Figura 3. 2 Histograma	20
Figura 3. 3 Proceso DMAIC.....	22
Figura 3. 4 Distribución Normal	30
Figura 3. 5 Áreas Bajo la Curva de la Distribución Normal.....	30
Figura 3. 6 Posibles Fuentes de la Variación del Proceso	32
Figura 3. 7 Resumen de las Propiedades de un Sistema de Medición	34
Figura 3. 8 Sesgo	35
Figura 3. 9 Estabilidad en el Tiempo.	35
Figura 3. 10 Definición del gráfico de linealidad	36
Figura 3. 11 Precisión vs. Exactitud	37
Figura 3. 12 Precisión y exactitud a través de la curva normal	38
Figura 3. 13 Definición del Gráfico de Repetibilidad.....	39
Figura 3. 14 Definición del Gráfico de Reproducibilidad.....	40
Figura 3. 15 Elementos de un Gráfico de control.	50
Figura 3. 16 Causas Especiales de Variación.....	66
Figura 3. 17 Diferentes Procesos en Función del Cpk.	73

Figura 4. 1 Modelo Propuesto para un Estudio de Gage R&R	83
Figura 4. 2 Proceso de Medición.....	88
Figura 5. 1 Componentes de Variación (Medición de Altura Equipo A).....	94
Figura 5. 2 Gráfico de Rangos y Medias (Medición de Altura Equipo A).....	95
Figura 5. 3 Mediciones por Número de Botella (Medición de Altura Equipo A). ...	95
Figura 5. 4 Mediciones por Operadores (Medición de Altura Equipo A).....	96
Figura 5. 5 Mediciones por Operadores (Medición de Altura Equipo A).....	96

LISTA DE TABLAS

Tabla 2. 1 Proceso Administrativo de Inspectores de Calidad.	14
Tabla 3. 1 Otros Significados de Seis Sigma	24
Tabla 3. 2 Comparación de Seis Sigma	24
Tabla 3. 3 Características de los Personajes Principales para un Programa de Seis Sigma	29
Tabla 3. 4 Interpretación de los Gráficos ($\bar{X}R$).....	55
Tabla 3. 5 Guía para la Selección de Gráficos de Control.....	64
Tabla 3. 6 Valor del cp.....	68
Tabla 3. 7 Porcentaje de Producto no Conforme en Función del cp	69
Tabla 3. 8 Diferentes Maneras para Establecer Parámetros para una Prueba de Hipótesis.....	73
Tabla 3. 9 Comparación del Muestreo a Juicio y Estadístico	78
Tabla 5. 1 Resultado de Mediciones Altura (ANOVA de Dos Factores con Interacción).....	90
Tabla 5. 2 Resultado de Mediciones Altura (ANOVA Dos Factores sin Interacción).	91
Tabla 5. 3 Resultados de Mediciones Altura (Cálculo de las Varianzas)	92
Tabla 5. 4 Resultados de Mediciones Altura (Cálculo de la Desviación Estándar)	93
Tabla 5. 5 Resultados Generales de la Prueba de Altura.....	98
Tabla 5. 6 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, Promedio Equipo A y B).....	99

Tabla 5. 7 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, Equipo A)	99
Tabla 5. 8 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, equipo B).....	99
Tabla 5. 9 Repetibilidad vs Reproducibilidad Altura.	100
Tabla 5. 10 Resultados Generales de la Prueba Dimensión del Hombro Superior.	102
Tabla 5. 11. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Equipo A).	103
Tabla 5. 12 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Equipo B).	103
Tabla 5. 13 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Promedio Equipo A y B).....	103
Tabla 5. 14 Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Hombro Superior.....	104
Tabla 5. 15 Resultados Generales de la Prueba Dimensión del Hombro Inferior.	106
Tabla 5. 16 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Equipo A).....	107
Tabla 5. 17 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Equipo B).....	107
Tabla 5. 18 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Promedio Equipo A y B).	107
Tabla 5. 19 Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Hombro Inferior.....	108
Tabla 5. 20 Resultados Generales de la Prueba Dimensión Panel.....	110
Tabla 5. 21 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Equipo A)	111
Tabla 5. 22 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Equipo B).	111
Tabla 5. 23 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Promedio Equipo A y B).....	111
Tabla 5. 24 Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Panel.....	112
Tabla 5. 25 Resultados Generales de la Prueba Dimensión Cintura.	114

Tabla 5. 26 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Equipo A).....	115
Tabla 5. 27 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Equipo B).....	115
Tabla 5. 28 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Promedio Equipo A y B).	115
Tabla 5. 29 Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Cintura.	116
Tabla 5. 30 Resultados Generales de la Prueba Dimensión Talón.	118
Tabla 5. 31 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Equipo A).	119
Tabla 5. 32 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Equipo B).	119
Tabla 5. 33. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Promedio Equipo A y B).....	119
Tabla 5. 34 Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Talón.....	120
Tabla 5. 35 Resultados Generales de la Prueba Claro de Base.	122
Tabla 5. 36 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Equipo A).....	123
Tabla 5. 37 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Equipo B).....	123
Tabla 5. 38 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Promedio Equipo A y B).	123
Tabla 5. 39 Repetibilidad vs Reproducibilidad Medición Claro de Base.....	124
Tabla 6. 1 Comparación de Variación por Partes vs Sistema de Medición.	126
Tabla 6. 2 Comparación de Repetibilidad vs Reproducibilidad.	126

Introducción

Es de vital importancia para todas las empresas contar con procesos bajo control estadístico, hoy en día enfocarse a esta parte significa reducir la variabilidad en todos sus aspectos lo que conlleva a obtener beneficios en el producto final.

Para cumplir con este objetivo es fundamental la evaluación del sistema de medición donde están inmersos procedimientos instrumentos de medición y equipos, software y personal. Frecuentemente un sistema de medición se evalúa mediante la realización de un estudio de Gage R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad).

El estudio de Gage R&R analiza la variación de las mediciones realizadas por un instrumento de medición llamado Repetibilidad y la variación con respecto al promedio de las mediciones realizadas por diferentes operadores llamada Reproducibilidad. Muchas de las empresas suelen evitar dichos estudios, algunas veces por ignorar el beneficio, otras por la falta de esfuerzo y cooperación de cada integrante de la empresa.

Existen tres métodos para un estudio de Gage R&R y son: rango, promedio-rango y ANOVA (análisis de varianza) cada uno de estos cuantifica de forma diferente la variabilidad del sistema de medición y su implementación depende de cada empresa.

Lo que se expone en este proyecto de Gage R&R, se lleva a cabo por el método del ANOVA en una empresa de inyección y soplado de botellas, donde el objetivo es analizar los equipos de medición, la variación de las botellas y métodos utilizados por los diferentes inspectores de calidad, llamado análisis estadístico de Repetibilidad y Reproducibilidad en los equipos de medición y personal que labora en el área de producción y calidad el cual consta de seis capítulos que se resumen a continuación.

Capítulo 1 Se responden preguntas como ¿para que se va a llevar a cabo el proyecto?; ¿Cuáles son sus beneficios?; ¿Cuáles son sus objetivos? Etc. Este capítulo es la introducción de todas sus características del proyecto.

Capítulo 2 Se describe la historia, misión, visión, objetivos, proyectos implementados, giro de la empresa, presentaciones fabricadas, ubicación y proceso administrativo de la empresa Alpha Trading S.A. de C.V de San Cristóbal de las Casas, Chiapas.

Capítulo 3 Se definen conceptos, teorías de diferentes autores y otras fuentes de información, utilizadas en este proyecto. Su función es fundamental, siendo la base de los capítulos posteriores.

Capítulo 4 Descripción del modelo propuesto para llevar a cabo el estudio de Gage R&R, pretendiendo analizar y mejorar el sistema de medición actual. Este modelo consta de seis fases y 11 pasos. Después de plantear el modelo propuesto e implementarlo conlleva al análisis de resultados que están descritos en el capítulo siguiente.

Capítulo 5 Es un análisis de resultados obtenidos del programa de apoyo Minitab 15 (versión en español), donde se analizan tablas y gráficos de las diferentes pruebas de la botella que son: altura, hombro superior, hombro inferior, panel, cintura, talón y claro de base. También se analiza las diferentes fuentes de variación, como también la Repetibilidad vs Reproducibilidad y con base en estos resultados se deben tomar decisiones importantes, para mejorar el sistema de medición actual en la empresa.

Capítulo 6 Conclusiones y sugerencias, en este capítulo se concluye realizando una comparación de las siete mediciones realizadas, cuantas se deben al sistema de medición (operadores, equipo de medición, métodos de trabajo, etc.) y cuantas a la variación por partes (variación de la botella), así también se concluye con la

comparación de Repetibilidad vs Reproducibilidad. Durante el proyecto se hacen algunas sugerencias y observaciones descritas en este capítulo.

1. DIMENSIONAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

Tener bajo control estadístico un proceso se necesita de herramientas estadísticas pero sobre todo un buen sistema de medición, el cual es muy común que se evalúe mediante la realización de un estudio de Gage R&R que es un indicador y evaluador de la Repetibilidad y Reproducibilidad.

Muchas de las empresas industriales en la actualidad le han dado la importancia necesaria a su sistema de medición, y han descubierto que el beneficio se ve reflejado en el producto final y en los costos.

El objetivo de un estudio de Gage R&R es medir el error de variación de las diferentes fuentes, en otras palabras analiza la variación de las mediciones de un instrumento (Repetibilidad) y la variación de los operadores (Reproducibilidad).

Un estudio de Gage R&R es una pérdida de tiempo y costo, al menos que se tomen medidas para reducir la variación y control del proceso teniendo en mente la mejora continua.

Si un sistema de medición está presentando variación excesiva, es necesario llevar a cabo un estudio de Gage R&R para determinar las fuentes de variación, así corregir y mejorar dicho sistema.

1.2 Planteamiento del Problema

Determinar los porcentajes de las fuentes de variación existentes en el Sistema de medición actual (personal, equipos y métodos), basado en un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad en la empresa Alpha Trading S.A. de C.V.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Asegurar, evaluar y mejorar la eficiencia del sistema de medición actual.

Objetivos específicos

- Estandarizar el método de medición entre inspectores de calidad.
- Permanecer bajo control estadístico.
- Verificar la calibración de equipos de medición.
- Reducir la variación para que se encuentre dentro de los límites de las especificaciones por norma.
- Validar el modelo.

1.4 Justificación

Para detectar de donde proviene el mayor porcentaje de variación y cuidar que no se salga de sus límites establecidos.

1.5 Delimitación

El proyecto se lleva a cabo en la empresa Alpla Trading en la ciudad de San Cristóbal de las Casas Chiapas en el laboratorio de calidad en un período de 5 meses, una de las limitante más grande puede ser el tiempo para llevar a cabo las mediciones, por las diferentes actividades que cada inspector debe realizar en su turno de trabajo.

2. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

2.1 Historia Alpla Traiding San Cristóbal 2002-2009

Desde sus inicios en el año 2002, hasta hoy (2009), la planta de Alpla Traiding San Cristóbal ha trabajado muy de la mano con el cliente, para brindar un alto grado de comunicación y confianza que permita generar un buen ambiente de trabajo, con el fin de satisfacer las necesidades del cliente y del consumidor final.

Inicia operaciones de soplado en Mayo de 2002 con los siguientes componentes:

- 1 sopladora SBO 18
- 2 compresores de alta presión
- Una subestación eléctrica
- Un Chiller de enfriamiento
- 2 tanques de almacenamiento de botella
- 1 posicionador de botellas
- 1 transportador aéreo directo a llenadora

En el transcurso de los años permanece con cambios pocos significativos hasta que en el año 2008 comienza a trabajar con diferentes proyectos como son:

- Implementación de Seis Sigma.
- Implementación de SGSA¹ (ISO 22000).

En el año 2009 se trabaja con diferentes proyectos de alto valor, para garantizar sustentabilidad del negocio, cuidado del medio ambiente y generación de ahorros para la compañía, como son los siguientes:

- Reducción de energía (compresores).
- Implementación de short cap y aligeramientos de preforma.
- Utilización de resina imer en mayores porcentajes.

¹ SGSA: Sistema de Gestión de Seguridad Alimenticia

Actualmente cuenta con un total de 15 personas laborando en diferentes turnos (ver organigrama de la empresa, **figura 2.1**), a continuación se menciona la variedad de producto que se proporciona al cliente:

- Contour 600 ml, 20.5 gr.
- Contour 2000 ml, 43.5 gr.
- Contour 2500 ml, 50.5 gr.
- Splash 600 ml, 23 gr.
- MP 600 ml, 20.5 gr
- MP 2000 ml, 43.5 gr.
- MP 2500 ml, 50.5 gr.
- Slim 600 ml, 20.5 gr.
- Slim 2500 ml, 50.5 gr.

Hoy en día se mantiene en un cambio constante, lo que le permite su actualización permanente para contemplarse como una empresa competitiva.

2.2 Misión

Producimos y proveemos preformas, botellas, tarros y tapas asegurando el más alto nivel de calidad.

- Fabricamos productos de calidad e inocuidad de acuerdo a las leyes del país de origen y al punto de venta nacional e internacional.
- Aseguramos actividades que garanticen identificación e implementación de medidas que prevengan riesgos al cliente y al consumidor a través de la cadena alimenticia, comprometiéndonos a comunicar interna y externamente cualquier información relevante a peligros y temas relacionados con inocuidad.
- Generamos continuamente valor agregado para nuestros clientes, a través de respuestas ágiles a sus necesidades, promoviendo alianzas estratégicas con ellos y con nuestros proveedores.

- Mejoramos rápida y flexiblemente los procesos y conocimientos empleando tecnología de punta.
- Optimizamos el uso de los recursos y cuidamos el medio ambiente.
- Logramos el éxito a través del trabajo en equipo y la calidad de nuestra gente

2.3 Visión

Ser líder en el mercado y en tecnología creando soluciones de empaques plásticos; satisfaciendo plenamente las necesidades de nuestros clientes, empleados, accionistas y sociedad.

2.4 Objetivos

- Eficiencia de planta: 98% mensual
- Volumen de Producción: 12.080 Millones mensual
- % de Merma: 0.18 mensual

Reclamaciones a cumplir:

Departamento de calidad: 1 mensual

Inocuidad: 1 cada 3 meses

Área de logística: 1 semestral

2.5 Organigrama de la Empresa

Actualmente se labora con un total de 15 personas de las cuales tres de ellas son administrativas como son el gerente de planta, jefa de calidad y jefe de mantenimiento, del resto del personal se forman cuatro equipos de trabajo y están integrados por un inspector de calidad, operador de máquina (sopladora) y un electromecánico ver **figura 2.1**.

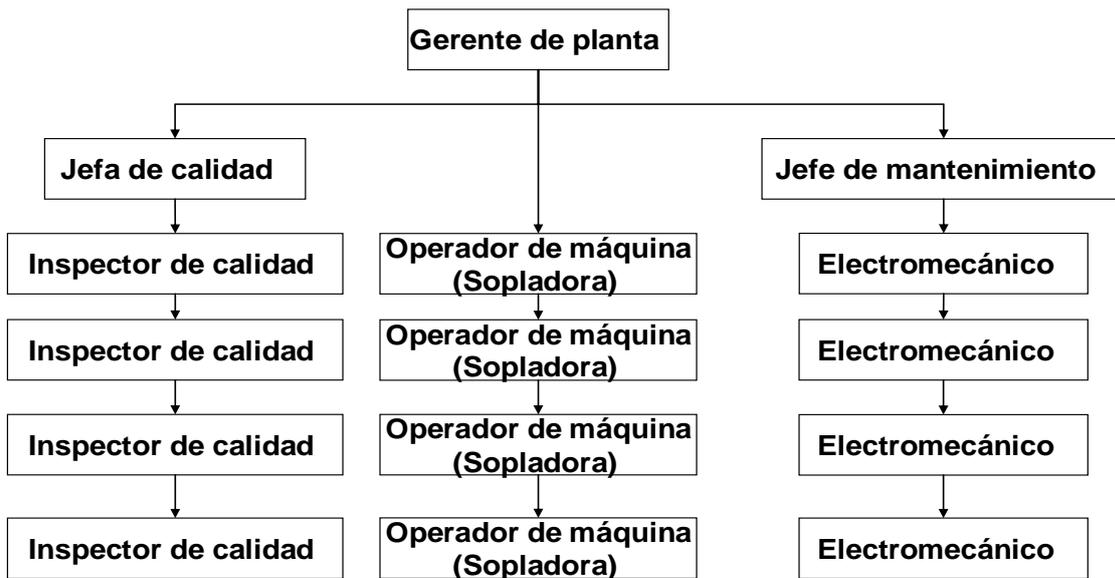


Figura 2.1 Organigrama de la Empresa
(Fuente: información propia de la empresa)

2.6 Ubicación de la Planta

2.6.1 Ubicación Regional de la Planta

Alpla México S.A. de C.V. se encuentra en la ciudad de san Cristóbal de las casas Chiapas dentro de las instalaciones de la empresa Coca-Cola ver **figura 2.1**.

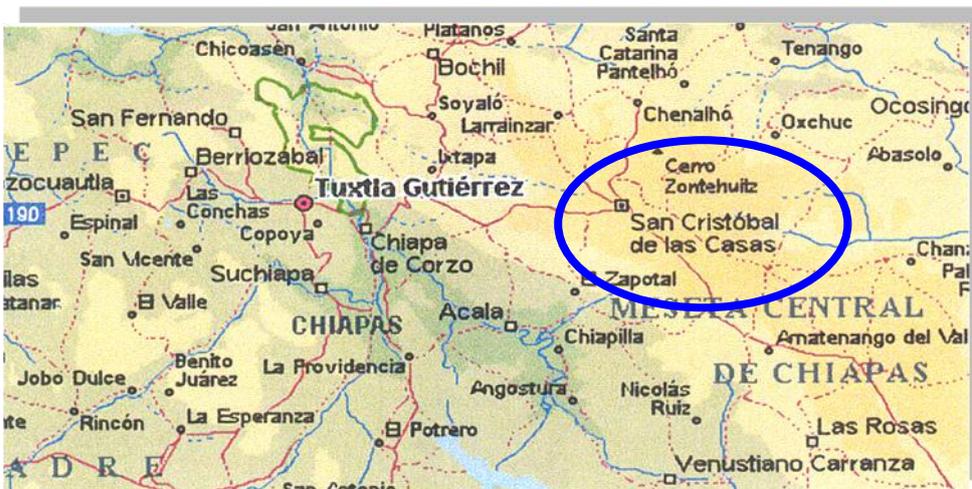


Figura 2.2 Ubicación Regional de Alpla San Cristóbal
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

2.6.2 Ubicación Local San Cristóbal de las Casas

Puntos importantes de interés cercano a la instalación ver **figura 2.3**

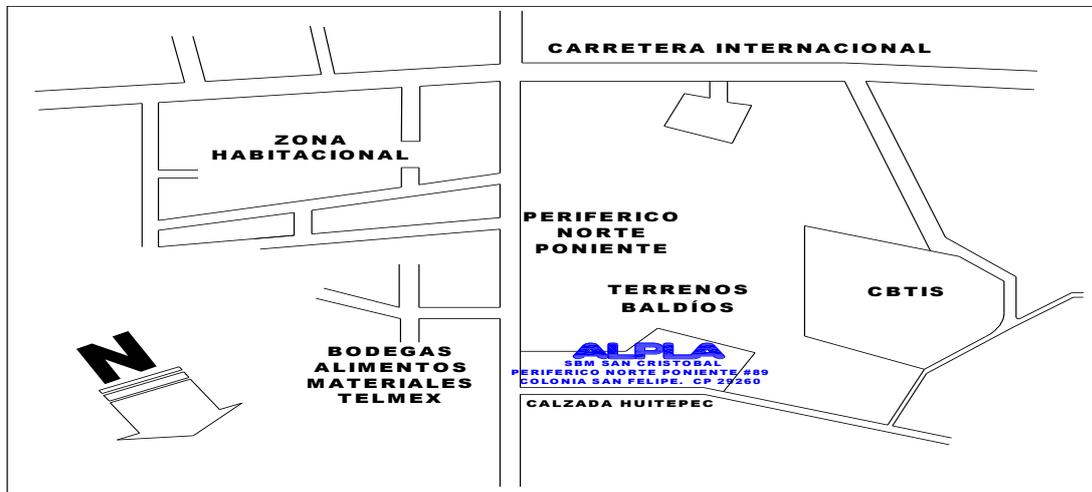


Figura 2. 3 Ubicación Local Alpla San Cristóbal
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

2.7 Descripción del Proceso Administrativo Interno

Alpla México S.A de C.V. San Cristóbal labora con un total 15 personas en la actualidad con 7 días laborales a la semana, se puede ver en la **figura 2.1**.

El estudio de Gage R&R (Repetibilidad y Reproducibilidad) se lleva a cabo en el departamento de calidad donde se localizan cuatro inspectores, que son los que aprueban las producciones fabricadas, integrándose en equipos A y B.

Estos equipos se integran de la siguiente manera:

Equipo A:

Inspector 1A HGL.

Inspector 2A AML.

Equipo B:

Inspector 1B AMM.

Inspector 2B WAE

Nota: Las letras en mayúsculas son iniciales de nombres y apellidos de los Inspectores de calidad.

El rol de trabajo de los equipos se encuentra establecido de la siguiente manera ver **tabla 2.1**.

Tabla 2. 1 Proceso Administrativo de Inspectores de Calidad.

(Fuente: Información Propia de la Empresa)

Equipo	Inspectores	Días laborales	Turno	Horario
A	Inspector 1A. HGL	Martes, miércoles y jueves.	Primer	6:30 am-6:30pm
	Inspector 2A. AML	Martes, miércoles y jueves.	Segundo	6:30 pm -6:30 am
B	Inspector 1B. AMM	Viernes, Sábado, Domingo y Lunes	Primer	6:30 am-6:30pm
	Inspector 2B. WAE	Viernes, Sábado, Domingo y Lunes	Segundo	6:30 pm -6:30 am

Para la ejecución de las mediciones que implica el estudio de Gage R&R es necesario que el receptor del turno se anticipe una hora antes de su horario establecido.

3. FUNDAMENTO TEÓRICO

3.1- Seis Sigma: Concepto e Interpretación

Sigma se interpreta muchas veces como una letra del alfabeto griego (σ) para describir el nivel de desempeño de una unidad productiva o un proceso particular, la medida que comúnmente se utiliza es: defectos por unidad, esto quiere decir que un nivel de calidad sigma "Alto" significa que los defectos tienen menores posibilidades de ocurrir, mientras que uno nivel de sigma "Bajo", tendrá mayor probabilidad de presentar errores que afectan la calidad del producto o el proceso mismo.

La palabra sigma también se representa con la letra griega Σ (letra mayúscula del alfabeto griego), este símbolo es muy utilizado por los matemáticos como un significado de sumatoria; en su versión minúscula --" σ "-- es trasladado a un concepto estadístico y se utiliza para determinar la variación --desviación estándar-- cuando el comportamiento de los datos están siendo analizados (Gustavo Gutiérrez Garza, 2002).

El nivel Seis Sigma (6σ) significa que se encontrarán únicamente 3.4 defectos por cada millón de unidades (ppm^2) producidas considerando la capacidad de los procesos en el largo plazo. (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

Para distinguir la metodología Seis Sigma es necesario entender diferentes conceptos estadísticos y filosofías de calidad.

3.1.1 Desviación Estándar

Desviación estándar representa la dispersión de que tan lejanos o cercanos están ubicados los datos del centro o promedio de los mismos (Concepto adaptado de Gutiérrez Garza, 2002 y Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

² ppm: partes por millón

En la **figura 3.1** se puede observar de una manera gráfica el comportamiento de la desviación estándar.

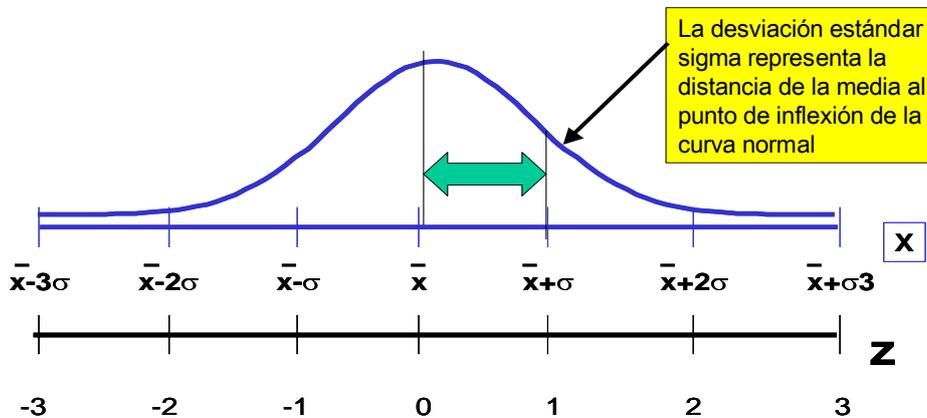


Figura 3. 1 Desplazamientos con Base en las Desviaciones Estándar.
(Fuente: Gustavo Gutiérrez Garza (2002)).

La desviación estándar representa la distancia de la media al punto de inflexión de la curva normal, dicho cálculo es para saber como se comportan los datos y cuanto es la variabilidad existente.

En la mayoría de los procesos la desviación estándar es una parte fundamental para saber la variabilidad que existe, debido a que en la manufactura pueden ocurrir muchas cosas como las siguientes:

- Las herramientas se desgastan.
- Las máquinas y los materiales tienen variaciones.

En muchas ocasiones las decisiones que se toman con base en el cálculo de la desviación estándar suelen ser acertadas y oportunas, es aquí donde entra la gran importancia de este concepto, al determinar la variabilidad de cualquier proceso, producto o servicio.

Es necesario aclarar que la variación no solo existe en las fábricas por lo que es necesario calcular la desviación estándar y aplicarlo a cualquier empresa, de servicios, financiera, producción, restaurante y un taller.

Según Gustavo Gutiérrez Garza (2002); afirma que muchas veces no es necesario calcular la desviación estándar si se presentan los siguientes cálculos:

- a) Los datos son pocos y no pueden haber más (solo hay pocos datos aproximado 5 datos).
- b) No se necesita más de un 70% u 80% de precisión para tomar la decisión.

Cuando se presentan estos dos casos mencionados no se calcula la desviación estándar por que puede ser engañosa o un dato no muy confiable, pero si es necesario hacer un gráfico de rangos para determinar la variabilidad que existe entre dato y dato.

Existen otros conceptos estadísticos de gran importancia que se relacionan con la desviación estándar, como el promedio y el rango.

3.1.2 Promedio.

En matemáticas y estadística, la media aritmética --también llamada promedio o simplemente media--, de un conjunto finito de números, es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número total de muestras. Expresado como $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, y se desea saber donde están concentrados o alrededor de que valor se encuentran cada uno de estos datos, es necesario sumar todas las " x_i " y dividirlos entre el total de las muestras " x_n ", este resultado es una medida que proporciona una idea, en un solo número, en donde se encuentra el centro, y es un valor único.

El promedio muchas veces también es llamado elegantemente "medida de tendencia central" dicho de otra manera, es el dato normal esperado. Gutiérrez Garza (2002) y Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar (2004).

La medida de tendencia central es la media (o promedio) muestral definida por:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Por ejemplo, se tienen 5 presupuestos 7, 8, 9, 10 y 11, se hace la suma de las cantidades, cuyo resultado es 45, y esto se divide entre 5 el resultado es 9. Normalmente, se espera pagar 9 (o nueve mil pesos) de trabajo.

3.1.3 Rango

Muchos estudiosos de la estadística como Gustavo Gutiérrez Garza (2002) entre otros consideran que la diferencia del valor mayor menos el valor menor se le llama rango y establecen que a mayor rango mayor es la variabilidad e inconsistencia de los datos, confirmando como una parte fundamental en la estadística para tomar una decisión con base en este resultado, afirmando que cuando el rango es muy alto, puede existir mucha inseguridad y duda de los procesos o los aspectos que se estén analizando, implicando que no se puede tomar una decisión fácil; en consecuencia la relación del rango está definido por:

$$R = X_{\max} - X_{\min}$$

3.1.4 Histogramas

Histograma es un gráfico que permite visualizar la tendencia central, la dispersión y la forma de la distribución de un conjunto de datos. Cuando se tiene muchos datos, se puede visualizar mejor si se colocan de manera gráfica, para ello se utiliza una manera muy sencilla llamada histograma, o diagramas de frecuencias. Lo que se representa en él es sencillo: la altura de las barra representa frecuencia o cantidad de veces que se repite un dato determinado (Gutiérrez Garza, 2002 y Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2004) ver (**figura 3.2**).

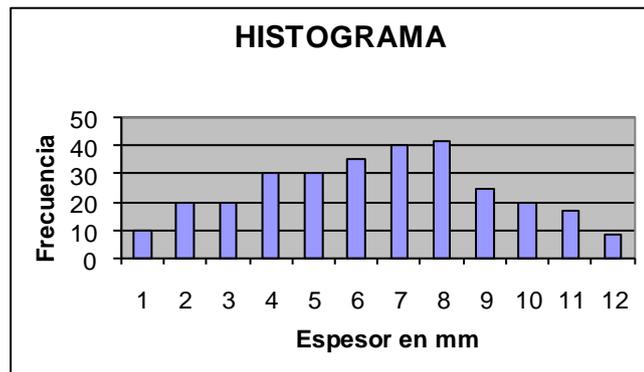


Figura 3. 2 Histograma
(Fuente: Gustavo Gutiérrez Garza, 2002)

Los conceptos estadísticos Desviación estándar, promedio, rango e histogramas se encuentran entrelazados con el concepto de Seis Sigma, aunque solo son parte de toda una filosofía de calidad mundial que se apoya de diferentes herramientas de calidad.

Volviendo al concepto de Seis Sigma Gustavo Gutiérrez Garza (2002) establece que Seis Sigma de ser un concepto matemático o estadístico, ha rebasado las fronteras y se ha ido convirtiendo en una filosofía y una manera de trabajar. Esto significa que para lograr un nivel tan alto e ideal, una vez que ya se ha visto de que tan lejos se puede estar, es necesario comenzar a aplicar los conceptos bajo enfoque integral.

Seis Sigma desde otro enfoque se puede definir como un proceso industrial o de servicios donde interactúan materiales, máquinas, mano de obra, medio ambiente y métodos, estos seis elementos (las 6M's) determinan de manera global todo proceso, por lo cual si hay un cambio significativo o en exceso llamado variabilidad sea accidental u ocasionado la razón de tal cambio se encuentra en una o más de las 6M's (Humberto Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar 2004).

Mientras que el Dr. Thomas Goldsby y Rober Martichenko (2005) definen a Seis Sigma como gestión empresarial para entender y eliminar los efectos negativos de variación en todos los procesos, basados en una infraestructura de expertos profesionales (*black belts*). Seis Sigma ofrece un modelo para resolver problemas, enfocado principalmente a la voz del cliente utilizando herramientas de control estadístico de procesos, una de ellas es la siguiente: *Define-Measure-Analyze-Improve-Control (DMAIC)* es un mapa, o paso a paso para un enfoque de mejoramiento en una organización. Seis sigma también es un modelo que trabajara en proyectos para capacitar a los empleados usando DMAIC³ modelo que sirve para reducir la variación en los procesos también se entiende por calidad seis sigma bajo un concepto estadístico a lograr 3.4 defectos por millón.

En los años noventa Motorola Inc., de EUA desarrolló una metodología llamada Seis Sigma la cual consta de las fases DMAIC por sus siglas en inglés, para la solución de problemas, basándose en la aplicación de técnicas estadísticas (básicas y avanzadas) para reducir la variación de los procesos al máximo posible (Dr. Thomas Goldsby y Rober Martichenko, 2005).

La metodología Seis Sigma es un método disciplinado de mejora de los procesos conformado por las fases siguientes: Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar (DMAIC: DMAMC), como se explican a continuación en la **figura. 3.3**.

Seis Sigma se caracteriza por la continua y disciplinada aplicación de una estrategia de "proyecto por proyecto" tal como lo recomienda Joseph Juran en su trilogía de la calidad, los proyectos son seleccionados mediante estrategias clave de negocios, lo cual conduce a recuperar la inversión realizada y obtener mayores márgenes de utilidad. La gente que lidera los proyectos de Seis Sigma son comúnmente llamados: *Black Belts* y *Green Belts*.

³ DMAIC: Define-Measure-Analyze-Improve-Control (siglas en español DMAMC)

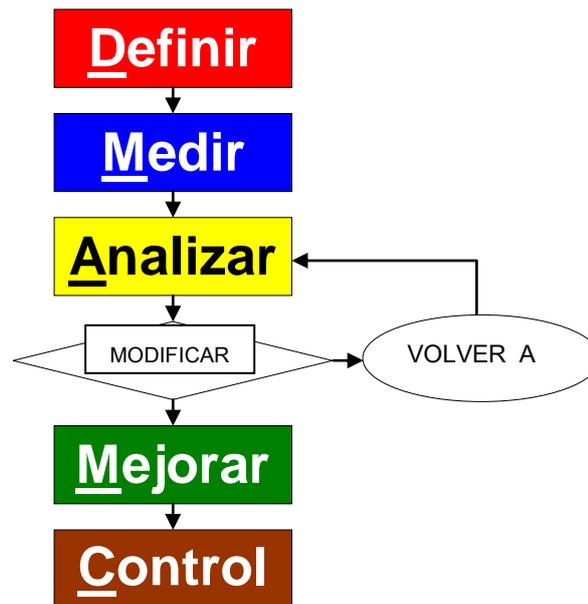


Figura 3. 3 Proceso DMAIC
(Fuente: Dr. Thomas Goldsby y Rober Martichenko, 2005).

Seis Sigma también se basa en gran medida como una herramienta ejecutiva genérica para el cambio y la calidad para los clientes, una de las fortalezas de Seis Sigma, en comparación con otros enfoques de calidad, es que no es sólo un método, si no también la visión, el objetivo y el símbolo, todo en uno.

La Administración Total de la Calidad es una metodología de calidad favorita al público y que contribuye en una buena medida al enfoque de Seis Sigma, sin embargo la administración en si no tiene un objetivo claro en cuya dirección los participantes se muevan de manera lenta pero segura, y por supuesto tampoco tiene una medición o parámetro fijo contra el cual sea posible revisar el avance. Geoff Tennant (2001) establece que Seis Sigma cuenta con dos razones importantes para llamar la atención de aquellos que desean implantar o conocer acerca del tema las cuales son:

1. El propio nombre y símbolo de Seis Sigma casi como una marca, tiene el poder de atraer el interés y proporcionar una identidad clara susceptible de fijarse a cualquier iniciativa de calidad. En forma muy similar al ISO 9000, Seis Sigma puede convertirse en una marca muy valorada de la calidad de

clase mundial, también es una medida, y acentúa la capacidad de medir un nivel de logro de calidad como si fuera un número.

2. Seis Sigma aporta un nuevo paradigma a la calidad, ha recolectado muchas de las visiones expresadas e implícitas de muchos grupos de personas y ahora anuncia con firmeza un modelo para explicar el significado verdadero de calidad: satisfacción total del cliente.

El nombre y la etiqueta de Seis Sigma reúnen un conjunto de metodologías o prácticas, herramientas y técnicas dirigidas a instrumentar de manera exitosa todos los cambios que se requieran para proporcionar este nuevo concepto de calidad. El éxito de tales iniciativas Seis Sigma de calidad demuestra con claridad que como iniciativa y metodología incluye todas las materias necesarias para ejecutar con éxito este nuevo paradigma, las partes que componen una iniciativa de calidad Seis sigma incluyen las siguientes consideradas por Geoff Tennant (2001):

- Administración Total de la Calidad, que aporta técnicas y herramientas para producir cambios culturales y mejoras del proceso dentro de una organización.
- Control estadístico del proceso, que proporciona mediciones, herramientas de análisis y mecanismos de control poderosos.
- Un enfoque japonés a la mejora y diseño de procesos, satisfacción del cliente y análisis de las necesidades de éste, ayudando a cubrir el espacio entre la calidad como “satisfacción experimentada” y la realidad práctica.
- Un nuevo paradigma de satisfacción total del cliente como impulsor primario de la iniciativa de calidad.

Seis Sigma es un concepto muy amplio, englobarlo es bastante complicado Geoff Tennant (2001) establece tres conceptos de lo que puede ser dicha filosofía:

1. Nuevo paradigma de satisfacción del cliente.
2. Una escala de medición basada en la estadística.

3. Una metodología mediante la cual es posible mejorar la calidad.

Para dejar claro el concepto de seis sigma Escalante Vázquez (2003) explica que como meta, un proceso con nivel de calidad Seis-Sigma significa estadísticamente tener un nivel de clase mundial al no producir servicios o productos defectuosos (0.00189 ppm, proceso centrado y hasta 3.4 ppm, proceso con descentrado de 1.5σ). Ver **tabla 3.1**

Tabla 3. 1 Otros Significados de Seis Sigma
Fuente: (Harry, 1998, y McFadden, 1993)

Sigma	PPM	Costo de calidad	Clasificación	No. De palabras equivocadas
6	3.4	<10% ventas	Clase mundial	1 en una pequeña librería
5	2.33	10-15% ventas		1 en varios libros
4	6, 210	15-20% ventas	Promedio	1 en 31 páginas
3	66, 807	20-30% ventas		1.35 por página
2	308, 357	30-40% ventas	No competitivo	23 por página
1	690, 000			159 por página

Después de dar un panorama general de lo que es Seis Sigma, Geoff Tennant (2001) define que Seis Sigma es muchas cosas y quizá sea mucho más sencillo enumerar todo aquello que no es Seis Sigma, en la **tabla 3.2** se puede ver la diferencia de lo que es Seis Sigma de lo que no es, y así distinguir fácilmente este concepto y no cometer errores.

Tabla 3. 2 Comparación de Seis Sigma
(Fuente: Geoff Tennant, 2001)

Lo que es Seis Sigma	Lo que no es Seis Sigma
Una visión	Una cura para todos los problemas
Una filosofía	Una garantía de éxito
Un símbolo	Exclusivo para la manufactura
Una medición	Una herramienta más
Una meta	
Una metodología	

3.1.5 Organización para Implementar el Programa de Seis Sigma

Para que un programa de Seis Sigma pueda ser implantado con eficiencia debe implicar a todas las personas de la organización, con lo cual cada individuo juega un papel muy importante en la búsqueda de la excelencia de la empresa. A pesar de que se necesita a todas las personas de la organización cabe mencionar el papel importantísimo que en el éxito de la implementación de un programa Seis Sigma en la empresa depende de tres figuras (Gómez Fraile, Francisco Vilar Barrio, Miguel Tejero Monzón, 2003):

1. Los campeones. *Champions*.
2. Los cinturones negros. *Black Belts*.
3. Los cinturones verdes. *Green Belts*

Estas tres figuras mencionadas anteriormente son la base para que un proyecto de Seis Sigma pueda funcionar de una manera eficiente, a continuación Gómez Fraile, Vilar Barrio, Tejero Monzón (2003) dan una breve explicación de estas figuras:

1.- Los campeones (*Champions*)

Normalmente los líderes de las unidades de negocios son elegidos para ser los llamados campeones, con la responsabilidad de hacer que los equipos multifuncionales se centren en el desarrollo de los proyectos específicos de mejora y reducción de costos, este personaje debe ser capaz de preparar el camino para realizar los cambios necesarios y para integrar los resultados también son los responsables de elegir a las personas (o persona, depende del tamaño de la organización) que difundirán los conocimientos de Seis Sigma por toda la empresa y coordinarán un determinado número de proyectos.

El Campeón debe estar convencido de la necesidad de la aplicación de Seis Sigma y de su significado no sólo como un conjunto de herramientas de mejora si no además como una visión, una metodología y un sistema de dirección capaces de generar enormes beneficios a través de su aplicación.

El Campeón debe ser entusiasta en el proyecto y perseguir especialmente durante su inicio el efecto de resistencia al cambio con el que muy probablemente se encuentre. La iniciativa en Seis Sigma provoca más resistencia al cambio que otras filosofías de calidad, pues requiere más esfuerzo en formación y por tanto, puede poner en evidencia algunas limitaciones, por consiguiente las barreras mentales actuarán con más fuerza frente a la propuesta Seis Sigma.

Cuando la dirección de la empresa esté resuelta a implementar Seis Sigma, debe seleccionar a un directivo capaz de entusiasmar a toda la organización, también de crear un nivel de confianza que permite superar la más arraigadas resistencias mentales; en definitiva, un campeón en el arte de superar la resistencia al cambio.

Empresas como Bombardier, GE, Polaroid, ABB, Seagate, etc. Designaron a un alto ejecutivo a tiempo total para dirigir, incentivar y supervisar las iniciativas Seis Sigma en toda la organización.

2.- Los cinturones negros (*Black Belts*)

El término cinturones negros surge a mediados de los años ochenta, en Unisys Corporation en Salt Lake City, en EE. UU. No fue en Motorola como se piensa, Aotorota abordó inicialmente el Seis Sigma sólo con un objetivo de reducir su tasa de fallos y aumentar la fiabilidad de sus productos. El primer grupo de cinturones negros fue formado en esa unidad de Unisys.

La idea de hacer un paralelo entre la lucha de Kárate y la implementación de Seis Sigma surgió por que ambas dependen tanto de la fuerza, la velocidad y la determinación, como de la disciplina mental y entrenamiento sistemático e intensivo.

Los cinturones negros de Seis sigma dependen básicamente de los recursos destinados por su empresa, de su propia concentración mental y agilidad para tocar múltiples proyectos y concluirlos rápidamente.

Pueden elevar drásticamente el nivel Sigma de una organización propiciando beneficios extraordinarios y puede esperarse que cada proyecto conducido por Un Black Belt genere economías de entre 75.000 y 175.000 euros.

Cada uno de estos profesionales adecuadamente formado y entrenado puede completar entre 4 y 6 proyectos por año resultando un beneficio para la empresa superior al millón de euros en términos de reducción de costos y aumento de la productividad.

La duración de cada proyecto depende de su complejidad, de la disponibilidad de equipos de medición adecuados y de la disponibilidad del personal idóneo.

La elección del black belt debe basarse en las siguientes características:

1. Debe tener una experiencia de al menos 5 años en su área de atención.
2. Debe tener buenos conocimientos de estadísticas (no es necesario ser un especialista, pero es imprescindible saber lo que es la media, la desviación estándar, el test de correlación, el análisis de la varianza, etc.).
3. Debe tener conocimiento del inglés (la mejor información sobre el Seis Sigma están en este idioma).
4. Debe ser dinámico y tener disposición de realizar cambios. Las personas que esperan que les digan lo que deben hacer no sirven para ser Black Belt.
5. Debe tener habilidad para organizar y comparar proyectos, y para coordinar equipos de trabajo multifuncionales.

Estos personajes dedican el 100% de su tiempo al programa Seis Sigma estos son considerados en todo el mundo una verdadera élite de profesionales, pues normalmente llevan a las empresas a la obtención de grandes beneficios y a un

incremento significativo de la satisfacción del cliente. No es por casualidad por lo que en los EE. UU. Las empresas con salarios importantes disputen ferozmente los *black belts*, ofreciéndoles stock options e innumerables ofertas de todo tipo.

3.- Los cinturones verdes (Green belts)

Otro personaje del programa de Seis Sigma es llamado *green belt*, estos son personas de la organización que se dedican a tiempo parcial a proyectos Seis Sigma; son empleados que tienen menos responsabilidad que los *black belts* en el programa de Seis Sigma, normalmente se involucran en proyectos directamente relacionados con su trabajo del día a día.

Los *green belts* reciben un entrenamiento más simplificado que el que reciben los *black belts*. Sus tareas básicas pueden ser resumidas en dos tareas:

1. Auxiliar a los *black belts* en la recogida de datos
2. Liderar pequeños proyectos de mejora en sus respectivas áreas de actuación.

Muchos trabajadores deben ser entrenados en los fundamentos de Seis Sigma a través de cursos básicos de 2 a 4 días de duración para que puedan entender y emplear las herramientas principales que se aplican a varias fases del programa Seis Sigma, permitiendo que tengan una mejor comprensión más clara y firme de toda la metodología a aplicar durante el programa.

Al personal que se capacitan para los proyectos de Seis Sigma, deslindando responsabilidades suelen llamarse o calificarse como *yellow belts* o cinturones blancos *white belts*, dependiendo de la empresa, un objetivo a largo plazo de cualquier organización que desea implementar un programa de Seis Sigma con éxito es entrenar a todos los empleados, de tal forma que apliquen íntegramente la metodología del Seis Sigma en la mejora de todo lo que hacen.

Gómez Fraile, Vilar Barrio, Monzón (2003) resumen a estas figura en la **tabla 3.3**

Tabla 3. 3 Características de los Personajes Principales Personajes para un Programa de Seis Sigma.
(Fuente: Gómez Fraile, Vilar Barrio, Tejero Monzón, 2006).

	CHAMPION	BLACK BELT	GREEN BELT
CUALIFICACIONES	Directores y gerentes. Familiaridad con estadística básica y avanzada.	Formación superior. Sólidos conocimientos de estadísticas básica	Experiencia técnica y administrativa. Familiaridad con herramientas estadística básicas
ENTRENAMIENTO	Una semana de entrenamiento (40 horas)	Cuatro meses de entrenamiento (160 horas+ proyecto)	Dos meses de entrenamiento (80 horas + proyecto).
NÚMERO DE PERSONAS	Un Champion por área-clave de la empresa.	Un Master Black Belt por cada 30 Blacks Belts (en grandes empresas). Un "Black belt" por cada 100 empleados.	Un Green belt por cada 20 empleados

3.1.6 Distribución Normal

Douglas C. Montgomery (1991) y Agustine A. Stagliano (2005) coinciden y explican que la curva o distribución normal es quizás la más importante tanto en la teoría como en la aplicación de la estadística, si x es una variable aleatoria normal, entonces su distribución de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{\pi}} e^{-\frac{1}{2\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}} \quad -\infty < \mu < \infty$$

Donde:

e = base del logaritmo natural ($e=2.718$)

π = 3.1416...

x = variable de interés $-\infty < \mu < \infty$

μ = Media

σ^2 = Varianza

Agustine A. Stagliano (2005) menciona algunas de las características con la que cuenta esta distribución:

1. Es suave y continua
2. Es acampanada y simétrica
3. Ambas colas son asintóticas con respecto al eje x
4. El área total que se encuentra bajo la curva es igual a 1
5. La media, la mediana, y la moda tienen el mismo valor.

Los parámetros de la distribución normal son la media μ ($-\infty < \mu < \infty$) y la varianza $\sigma^2 > 0$. Esta distribución se utiliza tan extensamente que a menudo se aplica una notación especial $x \sim N(\mu, \sigma^2)$, para simplificar que x tiene una distribución normal, con media μ y varianza σ^2 , el aspecto de la distribución normal es el de una curva simétrica (unimodal) con perfil acampanado, a continuación en la **figura 3.4** se puede observar dicha distribución:

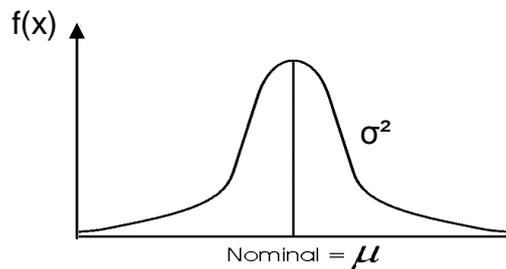


Figura 3. 4 Distribución Normal
(Fuente: Douglas C. Montgomery, 1991)

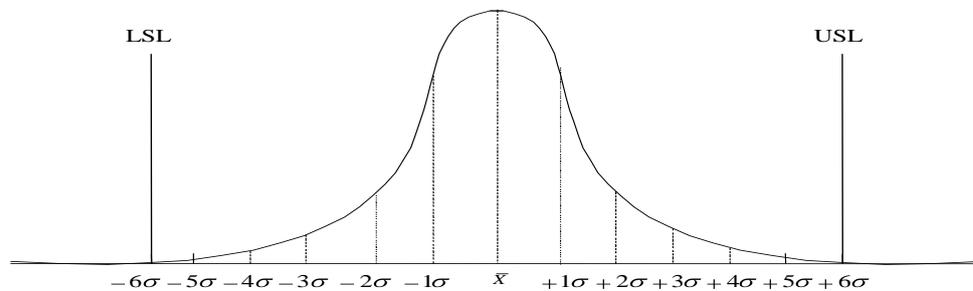


Figura 3. 5 Áreas Bajo la Curva de la Distribución Normal.
(Fuente: Douglas C. Montgomery, 1991)

Límite de especificación	Porcentaje	Defectos ppm
$\pm 1\sigma$	68.27	317,300
$\pm 2\sigma$	95.45	45,500
$\pm 3\sigma$	99.73	2,700
$\pm 4\sigma$	99.9937	63
$\pm 5\sigma$	99.999943	0.57
$\pm 6\sigma$	99.999998	0.002

Nota: Se indica el número de partes por millón (ppm) que estarán fuera de los límites de especificación usando como límite el valor de cada desviación estándar.

Hay una interpretación sencilla de la distribución normal, lo que se ilustra en la **figura 3.5** son áreas bajo la curva normal, obsérvese que el 68% de los valores poblacionales se hallan entre los límites definidos por la media más y menos una desviación estándar ($\sigma \pm 1\sigma$), el 95.46 % de los valores están entre los límites definidos por la media más y menos dos desviaciones estándares ($\sigma \pm 2\sigma$) y 99.73 % de los valores de la población caen entre los límites definidos por la media más y menos tres desviaciones estándares ($\sigma \pm 3\sigma$), y así sucesivamente hasta seis veces la desviación estándar, así la desviación estándar mide la distancia en escala horizontal, asociadas con los límites de contención.

3.2 Análisis Estadístico del Sistema de Medición

Es de gran importancia las mediciones por que con base en ellas se evalúa el desempeño de las mismas, de su gente, y se toman decisiones importantes y a veces costosas. Frecuentemente las organizaciones no consideran importante el tener sistemas de medición de calidad lo cual muchas veces se puede ver reflejada en costos de reparación desperdicios, devoluciones etc.

El concepto de sistema de medición basándose en MSA⁴ (2002) el cual establece como “la colección de instrumentos, estándares, operaciones, métodos, equipo de sujeción (mixtures), software, personal, medio ambiente y suposiciones usadas para cuantificar una unidad de medida o para asignar una evaluación a la característica que está siendo medida” (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

⁴ MSA: Measurement System Analysis

Un sistema de medición puede ser deficiente por la variación que exista en el, por lo que es necesario saber de donde proviene la mayor variación y así poder controlarla, es importante tener calibrado los instrumentos de medición ya que si no se calibran, se cometen errores muy costosos, cuando sucede esto se tiene un sistema de medición deficiente, esto hará que el estudio parezca satisfactorio cuando en realidad no lo es, teniendo como consecuencia costos de reparación de un producto o un servicio, ya que la principal fuente de variación se deriva del instrumento de medición. En la **figura 3.6** se muestran las posibles fuentes de variación del proceso.

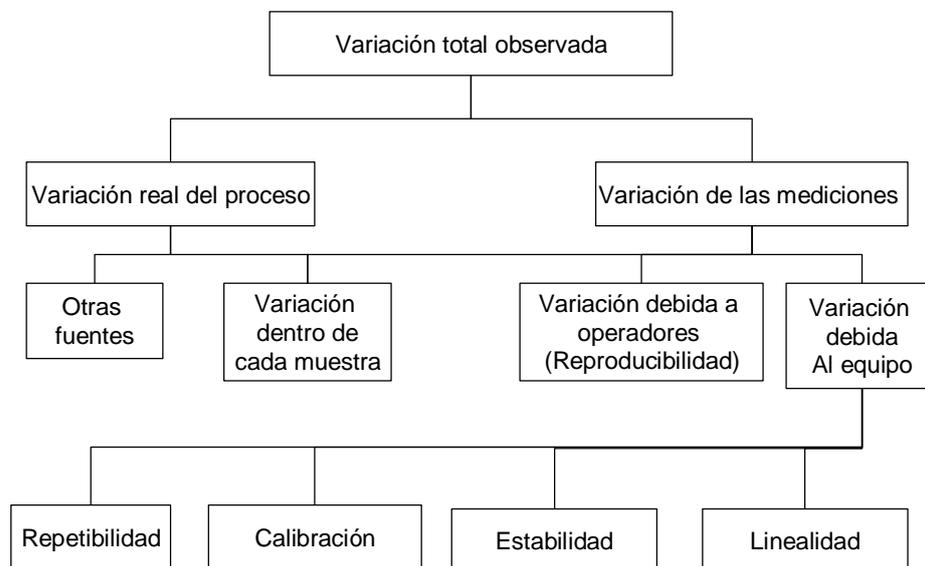


Figura 3. 6 Posibles Fuentes de la Variación del Proceso
(Fuente: Gutiérrez Pulido, De la Vara Salazar, 2004)

3.2.1 Propiedades Estadísticas de los Sistemas de Medición

La MSA (1995) establece que todos los sistemas de medición deben poseer las siguientes propiedades estadísticas:

1. Estar bajo control estadístico (estabilidad estadística).

2. Su variabilidad debe ser pequeña comparada con las especificaciones y con la variación del proceso.
3. Los incrementos de medida no deben ser mayores a 1/10 de lo menor entre las especificaciones y la variación del proceso (discriminación o resolución).
4. Poco sesgo

La evaluación de los sistemas de medición se efectúa a través de estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad (Gage R&R), exactitud, estabilidad, y linealidad.

Los usos de la evaluación son:

1. Aceptar equipo nuevo.
2. Comparar dos equipos entres si.
3. Evaluar un calibrador sospechoso.
4. Evaluar un calibrador antes y después de repararlo.
5. Antes de implantar gráficos de control.
6. Cuando disminuya la variación del proceso.
7. De manera continua de acuerdo con la frecuencia de medición recomendada en los estudios.

En la **figura 3.7** se presenta un resumen de las propiedades expresadas anteriormente.

Es necesario definir conceptos que están involucrados en un estudio para validar un sistema de medición, como son los siguientes:

Exactitud o Sesgo: se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones en relación al estándar o el valor verdadero que se supone conocido, la exactitud se estima mediante la diferencia de la media \bar{x} y el valor verdadero (N) del objeto o pieza que se mide (Gutiérrez Pulido, De la Vara Salazar, 2004).

Para poder estudiar la exactitud se requiere contar con un estándar o patrón de modo que se pueda conocer la magnitud verdadera a medir

Antes de realizar el proceso de medición de la exactitud es necesario contar con los siguientes componentes:

- 1 operador
- 1 Gage⁵: Instrumento de medición.
- 1 Pieza medida varias veces
- 1 Lectura del patrón

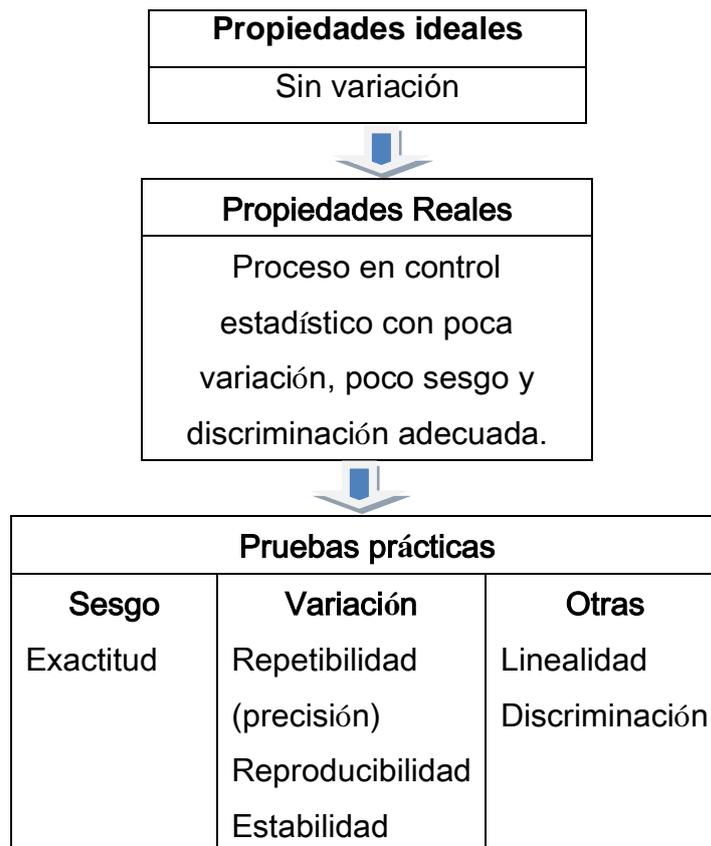


Figura 3. 7 Resumen de las Propiedades de un Sistema de Medición (Fuente: Edgardo Escalante Vázquez, 2003)

La exactitud se calcula de la siguiente manera:

$$\% \text{ Error} = \frac{|VP-VR|}{Y}(100)$$

VP= promedio de las mediciones hechas por un operario

VR: valor real obtenida con el patrón o instrumento de medición.

$$Y = \frac{\bar{R}}{d_2} \text{ (variación del proceso), o LSE - LIE (Tolerancia)}$$

⁵ Gage: instrumento de medición

Se espera que este valor no sea mayor al 10% la **figura 3.8** muestra la definición de la exactitud también conocida como sesgo.

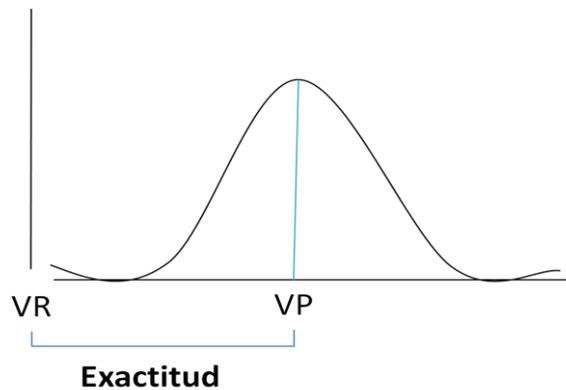


Figura 3. 8 Sesgo
(Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

De acuerdo con el MSA (1995), los problemas de falta de exactitud puede deberse a la calibración inadecuada, error en el master o gage (o gauge es el instrumento de medición) desgastado, el calibrador no esta hecho para medir esa característica, se está midiendo la característica equivocada o se usa de manera incorrecta.

Estabilidad: es la cantidad de variación en exactitud sobre cierto período, esto significa que tan estable es el sistema de medición con el paso de tiempo. Sin evaluar la estabilidad no es posible asegurar evaluaciones confiables sobre las demás propiedades estadísticas. Ver **figura 3.9**.



Figura 3. 9 Estabilidad en el Tiempo.
(Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

Linealidad: la diferencia en exactitud (sesgo) entre el master y el promedio observado sobre todo el rango de operación del instrumento. Ver **figura 3.10**

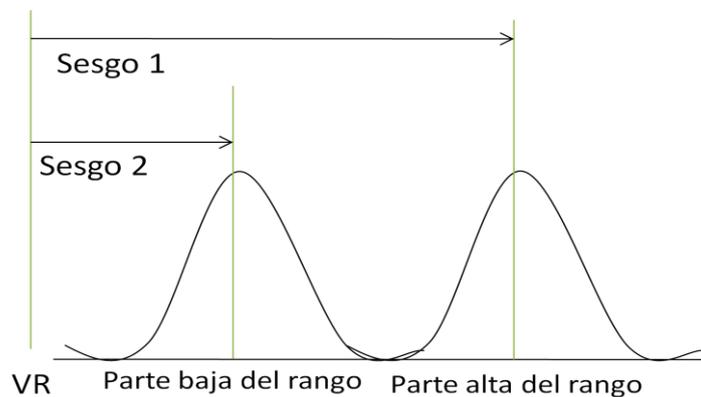


Figura 3. 10 Definición del gráfico de linealidad
(Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003)

3.2.2 Precisión y Exactitud

La precisión y la exactitud son dos manifestaciones inevitables de la variabilidad en cualquier proceso de medición (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004 y Escalante Vázquez, 2003).

Precisión: es la variación o dispersión que presentan los resultados al medir varias veces un a pieza o magnitud en las mismas condiciones (sus componentes principales son la Repetibilidad y la Reproducibilidad), lo que significa que si hay poca variación existe un buen grado de precisión, en otras palabras la precisión es la habilidad de un instrumento para repetir o reproducir su propia medición, con independencia de si dicha medida es correcta o incorrecta

Exactitud o sesgo: se define como la cercanía con el centro del blanco, esto se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones en relación al estándar o verdadero valor que se supone conocido; la exactitud se estima mediante la diferencia entre la media observada (\bar{x}) y el verdadero valor (N). Véase la **figura 3.11**.

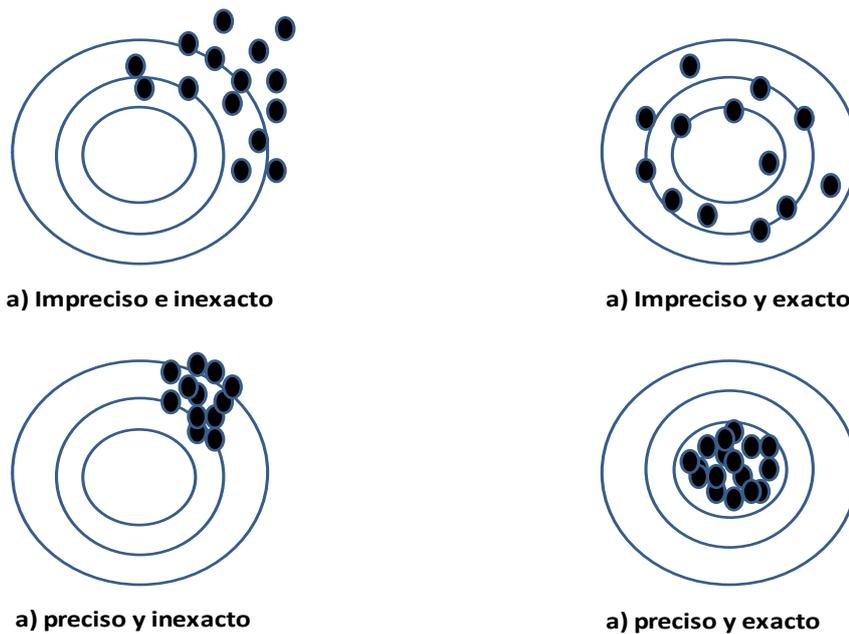


Figura 3. 11 Precisión vs. Exactitud
(Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003)

En la **figura 3.11 y 3.12** la primera representa un tiro al blanco, en el cual el objetivo o patrón a medir es el centro y los puntos negros son los resultados observados en el proceso de medición, mientras que en la **figura 3.12** la curva normal representa el proceso de medición y se puede apreciar la dispersión y que tan desfasada está respecto al valor nominal N .

En el caso a) se trata de un tirador o proceso de medición impreciso, ya que sus disparos o mediciones están dispersas y tampoco es exacto por que en promedio sus disparos están desfasados respecto al centro, en el caso b) tiene un exactitud adecuada, por que en promedio cumple con el centro a valor nominal N , pero es impreciso por la dispersión que presenta , en el caso c) tiene buena precisión poca variabilidad pero su exactitud es mala y está desfasado del centro y en el caso d) tiene un proceso de medición que es preciso y exacto cumpliendo con el valor verdadero (poca variabilidad).

Lo más deseable es que el proceso de medición sea preciso y exacto caso d), es decir que cuando se mida el mismo objeto arroje resultados similares, que exista poca dispersión y que el promedio de dichos resultados sea la magnitud verdadera del objeto.

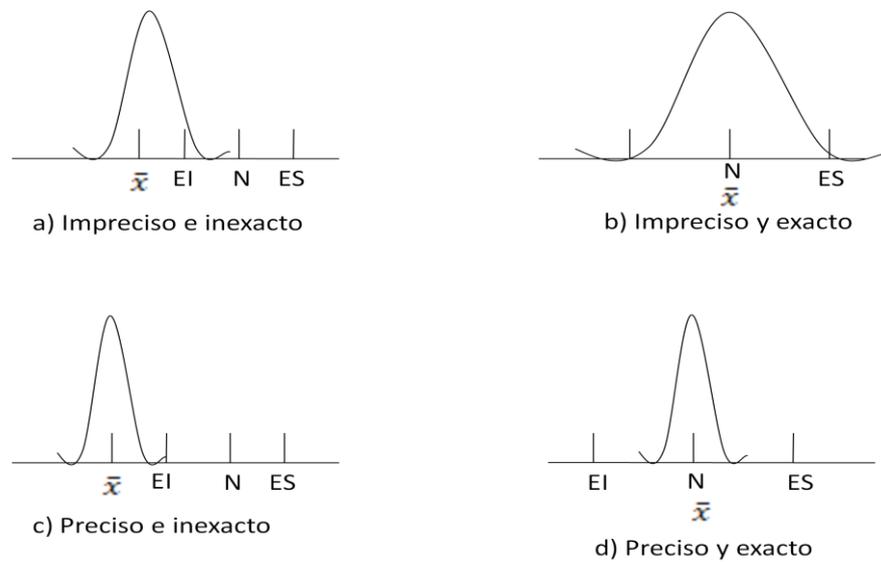


Figura 3. 12 Precisión y exactitud a través de la curva normal
(Fuente: Gutiérrez pulido, de la vara Salazar, 2004)

3.3 Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad

Los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad de las mediciones determinan que parte de la variación observada se debe al instrumento de medición, al operador o la pieza que se está midiendo

3.3.1 Repetibilidad

Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) se enfoca a la Repetibilidad como parte del instrumento de medición lo cual establece que se refiere a la precisión o variabilidad de sus mediciones en el mismo objeto en condiciones similares (mismo operador).

Mientras Escalante Vázquez (2003) establece a la Repetibilidad como variación de las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición, se define como la variación alrededor de la media, esta

variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso.

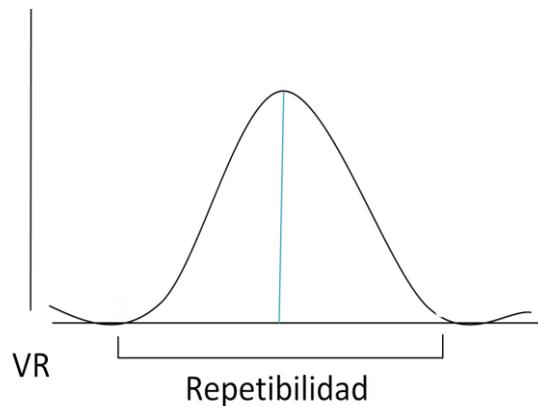


Figura 3. 13 Definición del Gráfico de Repetibilidad.

Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez (2003).

Causas posibles de problema de Repetibilidad pueden ser:

- Suciedad
- Fricción
- Desajuste
- Desgaste

3.3.2 Reproducibilidad

Es la Variación entre sistemas (métodos, condiciones, equipos, piezas, etc.) entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003). Mientras que Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) establece a la reproducibilidad como la precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto pero en condiciones variables (diferentes operadores), podemos concluir o aterrizar este concepto de la siguiente manera.

- Reproducibilidad: Variación, en los promedios de mediciones hechas por varios operadores usando un mismo instrumento de medición, midiendo las mismas características y la misma parte, ver **figura 3.14**.

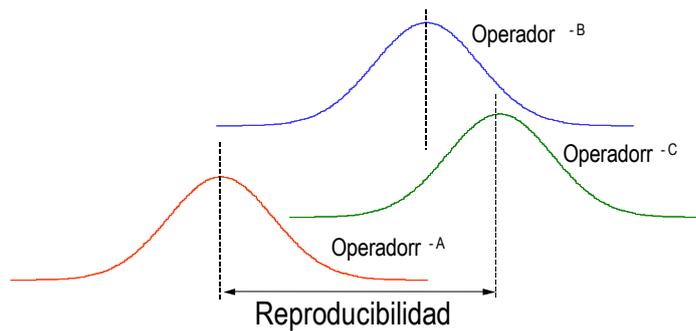


Figura 3. 14 Definición del Gráfico de Reproducibilidad
Fuente: (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

3.3.3 Evaluación de la Repetibilidad y la Reproducibilidad (GR & R o RR)

Al método de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) se le conoce como medias y rangos o método largo, estos estudios sirven para evaluar en forma experimental la variabilidad existente en cualquier sistema de medición y así saber la fuente de donde proviene la mayor variación, para así tomar medidas correctivas o descartar cualquier alarma.

Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio de Repetibilidad y reproducibilidad son los siguientes (Edgardo Escalante 2003, Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004)

- Variabilidad del producto
- Variabilidad del instrumento
- Variabilidad del (os) operador (es)

Con base a lo anterior se cumple que:

$$\sigma^2_{\text{Total}} = \sigma^2_{\text{producto}} + \sigma^2_{\text{operadores}} + \sigma^2_{\text{instrumento}}$$

Donde

$$\sigma^2_{\text{Instrumento}} = \sigma^2_{\text{Repetibilidad}} \quad \text{y} \quad \sigma^2_{\text{Operadores}} = \sigma^2_{\text{Reproducibilidad}}$$

Por tanto,

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{\text{Repetibilidad}}^2 + \sigma_{\text{Reproducibilidad}}^2$$

Existen dos tipos de estudios R&R, el corto y el largo (Agustine Stagliano 2005, Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar 2004 y Escalante Vázquez, 2003).

El estudio R&R largo es el más completo y por ende el más recomendable, debido a que permite tener una evaluación por cada una de las tres fuentes de variabilidad referidas anteriormente, en particular de la Repetibilidad y reproducibilidad. Mientras que en el estudio de R&R corto, que es menos recomendable, sólo se logra evaluar la variabilidad atribuible al proceso de medición sin distinguir qué parte se debe al instrumento y cuál a los operadores.

Escalante Vázquez (2003) y Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) coinciden que al método de Repetibilidad y Reproducibilidad (R&R) se le conoce como método de medias y rangos o método largo. Es la combinación de los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad, este método permite separar de manera explícita la Repetibilidad y la Reproducibilidad este es el más usual.

3.3.4 Método del Rango (Método Corto)

The measurement System Analysis (MSA, 1995) mencionado por Escalante Vázquez (2003), establece que este método es una aproximación en la evaluación de la Repetibilidad y Reproducibilidad de un sistema de medición. Se recomienda usar cinco piezas y dos operadores.

Este método permite evaluar de manera rápida la variabilidad del proceso de medición sin separar la Repetibilidad y la Reproducibilidad (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

3.3.5 Estudios Largo con Análisis de Medias y Rangos

Para realizar estudios de R&R este método permite separar de manera explícita la Repetibilidad y la Reproducibilidad es el más usual. Los pasos para realizar un estudio largo son los siguientes:

Pasos para dicho estudio según establece Escalante Vázquez (2003) basado en (MSA, 1995) y Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) son los siguientes:

- Calibrar el instrumento
- Seleccionar dos o mas operarios que midan varias veces la misma $n=10$ piezas
- Seleccionar las piezas que cubran todo el rango de variación de la especificación, incluyendo algunas fuera de ellas.
- Decidir el número de ensayos o veces que cada operador medirá la misma pieza.
- Etiquetar cada parte y aleatorizar el orden en el cual las partes se dan al operario. Identificar la zona o punto en la parte en donde la medición será tomada y el método o técnica que deberá aplicarse
- Obtener en orden aleatorio la primera medición (o ensayo) del operador A para todas las piezas seleccionadas.
- Volver a aleatorizar todas las piezas y obtener la primera medición del operador B.
- Continuar hasta que todos los operadores hayan realizado la primera medición sobre todas las piezas.
- La segunda vez que se medirá puede hacerse a criterio del que está realizando el estudio, ya que puede ser aleatoriamente o en orden de la pieza 1 hasta la diez.
- Asegurarse que los resultados previos de un ensayo no son conocidos por los operadores. Es decir en cada medición realizada el operador no debe conocer cuál pieza está midiendo, ni cuales fueron sus mediciones anteriores sobre ella, menos las reportadas por los demás operadores.

- Llenar el formato de RR o usar algún software.
- Hacer el análisis estadístico de los datos.

3.3.6 Método del Anova

Otro método alternativo que establece Montgomery y Runger (1993) y MSA (1992, 1995) mencionado por Edgardo Escalante Vázquez (2003) considera que el método del Anova el cual también es reconocido como un estudio largo de R&R es uno de los métodos más completos, las ventajas que ofrece el Anova con respecto al método de medias y Rangos son:

- Las varianzas pueden ser estimadas con mayor exactitud
- Se puede obtener mayor información (como la interacción entre las piezas y los operadores).
- Los cálculos numéricos requieren de una computadora.
- Los cálculos son más precisos

Se considera un modelo de efectos aleatorios para los factores operadores, piezas (partes), operadores-por-piezas y réplicas. Los componentes de variación considerados son:

$$\sigma^2_{\text{Gage (RR)}} = \sigma^2_{\text{Reproducibilidad}} + \sigma^2_{\text{Repetibilidad}}$$

$$\sigma^2_{\text{Reproducibilidad}} = \sigma^2_{\text{Operarios}} + \sigma^2_{\text{Piezas por Operarios}}$$

$$\sigma^2_{\text{Repetibilidad}} = \sigma^2$$

$$\sigma^2_{\text{Total}} = \sigma^2_{\text{Piezas}} + \sigma^2_{\text{Operarios}} + \sigma^2_{\text{Piezas por Operarios}} + \sigma^2$$

Nota: los pasos para realizar este método son los mismos para que el método de medias y rangos, lo que cambia son los cálculos.

El método del ANOVA permite utilizar dos diferentes tipos de diseños de experimentos, los cuales son;

1.- Diseño Cruzado

El diseño cruzado es usado cuando los operadores van a medir las mismas piezas.

2.- Diseño Lineal-anidado

Es usado cuando los operadores miden diferentes partes, en este caso se utiliza el diseño cruzado ya que todos los operadores medirán la misma botella y sus diferentes partes.

3.3.7 Repetibilidad vs Reproducibilidad

Al concluir con los cálculos y obtener los resultados que arroja el programa utilizado se prosigue a comparar los resultados de la Repetibilidad y la Reproducibilidad, por lo cuál Edgardo Escalante Vázquez (2003) establece algunas de las posibles causas que estén aportando o causando ruido en la variación, a continuación se muestra los dos casos posibles en un estudio de Gage R&R.

1.- si la Repetibilidad es grande comparada con la Reproducibilidad, las razones posibles son:

- a) El calibrador necesita mantenimiento
- b) El calibrador debería ser rediseñado para ser más rígido.
- c) Se debe mejorar la sujeción o la localización de la pieza.
- d) Existe mucha variación interna en las piezas

2.- Si la Reproducibilidad es mayor comparada con la Repetibilidad, las causas posibles son:

- a) El operario necesita entrenamiento en el uso del calibrador
- b) Las calibraciones en la escala del instrumento no están claras.

- c) Tal vez sea necesario usar algún dispositivo de fijación del calibrador para que el operario lo pueda usar con facilidad.

Para interpretar los resultados del porcentaje total de R&R la AIAG's recomienda que:

- Si el % de R&R es menor al 10% el sistema es aceptable.
- Si el porcentaje de R&R esta entre el 10% y el 30% se debe aceptar temporalmente con un plan de mejora.
- Si el porcentaje es mayor al 30% es sistema es inaceptable.

3.4 Concepto de Gráficos de Control.

Los gráficos de control son herramientas estadísticas que muestran el comportamiento de cierta característica de calidad de un proceso o producto con respecto al tiempo (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

El objetivo básico de un gráfico o carta de control es observar y analizar con datos estadísticos la variabilidad y el comportamiento de un proceso a través del tiempo y así controlar y mejorar procesos y productos (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Al observar un proceso permite distinguir entre variaciones por causas comunes y especiales (atribuibles), lo que ayudara a caracterizar el funcionamiento del proceso y así decidir las mejores acciones de control y de mejora.

La variabilidad se refiere principalmente a las variables de salida (características de calidad), pero los gráficos de control también pueden aplicarse a analizar la variabilidad de alguna variable de entrada o de control de proceso mismo.

Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) y Achenson J. Duncan mencionan basados en el Dr. Shewhart (1931), definen que las causas de variación que afectan un proceso se clasifican en dos las cuales son comunes y especiales.

1.- Las causas comunes

Estas causas suelen ser comunes a todos, se deben al sistema se pueden mencionar algunas como diseño deficiente, materiales inadecuados, mala iluminación, etc. Estas se deben a la circunstancia particular de cada sistema (empresa, etc.). Estas causas existen en función de la manera en como se administra una organización, y corresponde a los altos mandos su reducción y control.

2.- Las causas especiales

Se deben a situaciones particulares o especiales y no afectan a todos y se pueden presentar en maquinas desajustadas, métodos ligeramente alterados, diferencia entre trabajadores, etc. Su arreglo generalmente corresponde al personal de cada área en la que puede presentarse.

Los gráficos de control sirven para distinguir entre causas comunes y especiales de variación, distinguir estos dos tipos de causas indica cuando es necesario actuar en un proceso para mejorarlo y cuándo no, pues sobreactuar sobre un proceso estable provoca mas variación.

Para evaluar la estabilidad de un proceso o sistema es necesario calcular límites de control que representan la voz de ese sistema (no confundir con los límites de especificación o tolerancia) y solamente si no hay puntos fuera de dichos límites ni ningún patrón que denote falta de aleatoriedad, entonces puede decirse que el proceso se encuentra estable.

Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) y Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004), consideran un Proceso estable como:

Aquel que está sujeto a causas comunes de variación (puede existir también algunas causas especiales de variación pero su efecto sería mínimo), o lo que se conoce como un sistema constantes de causas, está en control estadístico y por tanto su variación es predecible dentro de los límites de control.

Estos mismos autores mencionan a un Proceso inestable como:

Cuando la variación es causadas por situaciones o circunstancias especiales que no son permanentes en el proceso, por ejemplo:

- Falla ocasionada por el mal funcionamiento de la pieza de una máquina
- El empleo de materiales no habituales
- El descuido no frecuente de un operario

Las causas especiales, por su naturaleza relativamente discreta, a menudo pueden ser identificadas y eliminadas si se cuenta con los conocimientos y condiciones para ello.

Taylor (1991) mencionado por Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) explica el empleo y uso de los gráficos de control

1. Evaluar la estabilidad de un proceso, y posteriormente evaluar el desempeño del mismo por medio de estudios de capacidad.
2. Mejorar el desempeño de un proceso al dar indicaciones sobre las posibles causas de variación, y por tanto eliminarlas, además de ayudar a la prevención de problemas.
3. Mantener el desempeño de un proceso al indicar el tiempo de ajuste del mismo.

3.4.1 Medidas de Tendencia Central o Medidas de Centralización

Las Medidas de tendencia central o Medidas de centralización la cual se refiere al centro, centrado o posicionamiento de un proceso (Escalante Vázquez, 2003 y Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Las medidas de tendencia central son un aspecto importante para investigar si el proceso cumple con las especificaciones reconociendo la tendencia central de los datos, para saber si el proceso está centrado; es decir, saber si la tendencia central de la variable de salida es igual o está muy próxima al valor nominal (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Las medidas de centralización son tres:

1. Media o promedio simple denotado por \bar{X} (X barra),
2. La mediana
3. La moda.

Media o promedio simple denotado por \bar{X} (X barra):

Es la suma de todos los valores observados dividido entre el total de los mismos, si la muestra es aleatoria recibe el nombre de media muestral siendo uno de los principales estadísticos muestrales (Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004) y está definida por:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 \dots X_N}{N}$$

Mediana o percentil 50

Es igual al valor que divide a la mitad a los datos cuando son ordenados de menor a mayor, así para calcular la mediana los datos se ordenan de manera creciente y el que quede en medio de dicho ordenamiento será la mediana, o si el número de datos es par, entonces la mediana se calcula dividiendo entre dos la suma de los

números que están en el centro del ordenamiento (Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Moda:

Es igual al dato que ocurrió más número de veces

3.4.2 Medidas de Dispersión

Escalante Vázquez (2003) y Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) consideran que las medidas de dispersión evalúan la variación del proceso. Tres indicadores típicos son:

1. El rango (R).
2. La varianza.
3. La desviación estándar (s).

3.4.3 Desviación Estándar Muestral

Es la medida más usual de variabilidad y mide que tan esparcidos están los datos respecto a la media, la desviación estándar muestral está definida por:

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

3.4.4 Varianza

(σ^2) que representa una medida de variación promedio.

3.4.5 Rango

Medición de la variabilidad de un conjunto de datos que es el resultado de la diferencia entre el dato mayor y el dato menor definido por

$$R = x_{\max} - x_{\min}$$

3.4.6 Elementos de un Gráfico de Control

Los elementos de un gráfico de control (Escalante Vázquez, 2003) son los siguientes ver **figura 3.16**.

- Los límites de control(LSC= límite superior de control, LIC=límite inferior de control)
- La línea central
- Las escalas horizontal y vertical
- Puntos del gráfico

Los límites de control representan la voz del proceso, dependen de la variación del mismo e indican anomalías o estabilidad en el comportamiento del mismo (Escalante Vázquez, 2003 y Gustavo Gutiérrez Garza, 2002).

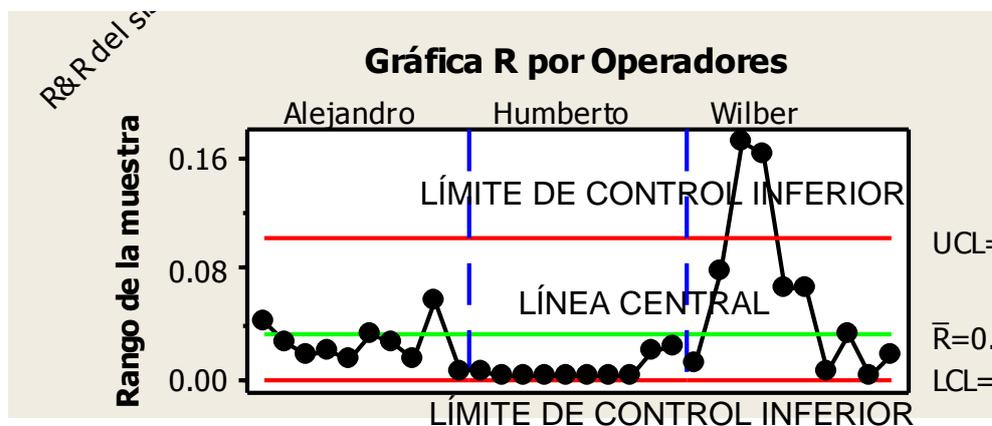


Figura 3. 15 Elementos de un Gráfico de control.
(Fuente: información propia de la empresa)

La obtención de los límites de control de los ocho gráficos de Shewhart se basa en la expresión $\mu \pm 3\sigma$, la cual toma formas particulares en función del gráfico de que se trate. El número 3 fue seleccionado por Shewhart (1931) con base en la experiencia empírica tomando en cuenta que su objetivo era desarrollar un mecanismo económico para controlar la calidad (Gutiérrez Pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Acheson J. Duncan, menciona que en Estados Unidos, si x está totalmente distribuido como si no, es costumbre basar los límites de control en un múltiplo de la desviación estándar. Habitualmente el múltiplo es de tres, y los límites se llaman límites tres Sigma. Este término se utiliza tanto en el caso de que la desviación estándar que interviene sea realmente la desviación estándar del universo, o si alguna estimación de la misma, o simplemente un valor estándar, determinados para fines del diagrama de control. Habitualmente es fácil deducir del contexto cual es la desviación estándar implícita.

3.4.7 Gráficos de Control para Variables

Una variable puede definirse como una dimensión medible en una escala continua. Luis Néstor Miranda Rivera (2006) establece que un análisis por variables es todo aquel producto cuyas características se puedan medir, es decir, obtener un valor numérico, se dice que recibe un tratamiento por variables (Escalante Vázquez, 2003). Ejemplo:

- Peso
- Longitud
- Ancho
- Espesor
- La densidad etc.

Los gráficos de control para variables se utilizan para controlar características de calidad medibles en una escala continua como son los ejemplos mencionados por Miranda Rivera (2006). Generalmente se usan algún instrumento de medición para evaluar dichas características. Sus diferentes tipos de gráficos son:

- Gráficos de medias y rangos
- Gráficos de medias y desviación estándar.
- Gráficos de lecturas individuales.

3.4.8 Obtención de los Parámetros de un Gráfico de Control de Variables.

Para obtener los parámetros de los gráficos de control para variables se debe tomar en cuenta tres elementos muy importantes como son: a) tamaño de la muestra, b) frecuencia de muestreo y por ultimo c) número de muestras (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003 y Douglas C. Montgomery, 1991).

a) Tamaño de la muestra (n)

Shewhart (1931) recomienda $n=4$ o 5 dicho número es un compromiso entre representatividad y costo, también se le puede asociar el hecho de que si $n=4$, el error estándar de la media se reduce a la mitad (el error estándar de la media es σ entre la raíz cuadrada de n). Si n aún es mayor, dicho error se reduce más; sin embargo el muestreo ya no sería tan económico.

b) Frecuencia de muestreo (f)

La frecuencia del muestreo tiene que ver por lo menos con la velocidad del proceso, con su grado de estabilidad y con el conocimiento que los ingenieros tengan de él. En general, una recomendación práctica señalada por Pyzdek

(1990) es que en promedio debe haber 1 de cada 25 fuera de los límites de control, si hay más, incrementar la frecuencia; si hay menos, disminuirla.

c) Número de muestras

Para establecer los límites de control iniciales, tomar 20 subgrupos con $n=5$, 0 25 grupos con $n=4$, es decir, para tener un mínimo de 100 observaciones individuales, de acuerdo con Wheeler y Chambers (1992) tienen un concepto diferente de un gráfico de control, definen que se puede iniciar con menos de 100 puntos y enriquecerla con el tiempo.

3.4.9 Formación de Subgrupos

Shewhart, (1931); Western Electric, (1956) mencionado por Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) y Douglas C. Montgomery (1991) establecen que la formación de los subgrupos (subgrupos racionales llamados por Shewhart) debe hacerse tomando en cuenta que se pretende capturar la mínima variación natural de un proceso, es decir se deben seleccionar las muestras de tal forma que las piezas sean lo más uniformes entre sí. Esto se logra, en general, tomando piezas consecutivas fabricadas en el mismo periodo.

La razón de seleccionar los subgrupos (muestras) de esta manera, es para que refleje la variación natural (interna, causas comunes) del proceso, y para que las muestras enfatizen la variación existente entre ellas, por ejemplo entre diferentes lotes, trabajadores, ajustes, etcétera.

La variación natural determina el ancho de los límites de control, dicha variación entre las muestras se deberá a las fluctuaciones naturales, además de las causas especiales (asignables), en el caso de existir estas últimas. Si existen causas especiales de variación dentro de cada muestra, esto inflará artificialmente la variación del proceso y los límites de control estarán más separados entre sí, con

la posible consecuencia de permitir mayores cambios en el proceso sin considerarlos como fluctuaciones fuera de control.

3.4.10 Gráfico de Control de Medias y Rangos (\bar{x} -R)

Las cartas de control o gráficos de control (\bar{x} -R) son un diagrama para variables que se aplican a procesos masivos, en donde en forma periódica se obtiene una muestra o subgrupos de productos. Se miden y se calculan la media \bar{x} y el rango R para registrarlos en la correspondiente carta (Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Mientras que Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) establece que es una herramienta estadística que muestra el comportamiento de la media –posición-- y la variación –dispersión-- de cierta característica de calidad de un proceso con respecto al tiempo, este gráfico se usa para controlar una característica de calidad continua tomando muestras de tamaño entre 2 y 10.

el tamaño de la muestra de cada subgrupo no debe exceder a 10 por que el rango pierde sentido como representante de la variación ante muestras mayores a 10, debe ser al menos 2 por que sí es 1 ya no se llamaría gráfico de control de medias y rangos sino de lecturas individuales.

Interpretación de los Gráficos de control o Cartas de control (\bar{x} R) se muestran en la siguiente tabla según Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004). Ver la **tabla 3.4**.

Tabla 3. 4 Interpretación de los Gráficos (\bar{x} R)
(Fuente: Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Tipo de gráfico	Interpretación
\bar{x}	Analiza la variación de las medias de los subgrupos, para detectar cambios en la media del proceso.
R	Analiza la variación entre los rangos de los subgrupos, lo que permite detectar cambios en la amplitud o magnitud de la variación del proceso

El objetivo de estos es Evaluar, controlar y mejorar la característica de calidad e interés, desde el punto de vista del ajuste de su posición y de la reducción de su variación con respecto al objetivo (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

3.4.11 Obtención de los Límites de Control ($\mu \pm 3\sigma$)

Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) mencionan que los límites de control de las cartas de tipo Shewhart están determinados por la media y la desviación estándar del estadístico W que se grafica en la carta, mediante la expresión $\mu_w \pm 3\sigma_w$. En el caso de la carta X - barra el estadístico W que se grafico es la media de las muestras, \bar{x} , por lo que los límites están determinados por:

$$\mu_{\bar{x}} \pm 3\sigma_{\bar{x}}$$

Donde:

$\mu_{\bar{x}}$ = medias de las medias.

$\sigma_{\bar{x}}$ = desviación estándar de las medias.

Que en un estudio inicial se estiman de la siguiente manera:

$$\mu_{\bar{x}} = \bar{\bar{X}} \quad \text{y} \quad \sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$\bar{\bar{X}}$ = media de las medias de los subgrupos

σ = la desviación estándar del proceso indica que tan variable son las mediciones individuales.

n = Tamaño del subgrupo.

Como por lo general en un estudio inicial no se conoce σ , esta puede estimarse de varias maneras, una alternativa que solo incluye la variabilidad dentro de muestras y que se utiliza cuando el tamaño del subgrupo es menor que 10, consiste en estimar σ mediante la media de los rangos de los subgrupos \bar{R} , de la siguiente manera:

$$\sigma = \frac{R}{d_2}$$

Donde:

d_2 = constante que depende del tamaño del subgrupo o muestra. Existe una tabla de constantes de valores de d_2 para distintos valores de n. de la siguiente manera:

$$3\sigma_{\bar{X}} = 3 \left(\frac{\bar{R}/d_2}{\sqrt{n}} \right) = \frac{3}{d_2 \sqrt{n}} \bar{R} = A_2 \bar{R}$$

Es una estimación de 3 veces la desviación estándar de las medias, que se ha

simplificado al sustituir $\frac{3}{d_2 \sqrt{n}}$ por la constante A_2 ,

Con base en lo anterior los límites de control para el gráfico de control \bar{X} , en un estudio inicial, se obtienen de la siguiente manera:

$$LIC_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2 \bar{R} \quad LC_{\bar{X}} = \bar{X} \quad LSC_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2 \bar{R}$$

Donde:

LIC= Límite de control inferior

LC= línea central

LSC= Límite de control superior

A_2 = constante tabulada, que depende de n.

Los límites de control de rangos son:

$$LIC_R = D_3 \bar{R} \quad LC_R = \bar{R} \quad LSC_R = D_4 \bar{R}$$

Donde

A_2 , D_3 , D_4 = constantes que dependen de n .

3.4.12 Gráfico de Lecturas Individuales

Douglas C. Montgomery (1991) definen a este gráfico de control como un diagrama para variables de tipo continuo, pero en lugar de aplicarse a procesos semi-masivos o masivos como en el caso del gráfico \bar{x} -R, se aplica a procesos lentos, en los cuales para obtener una medición o una muestra de la producción se requiere períodos relativamente largos. Este tipo de gráficos se pueden aplicar en procesos como:

- Procesos químicos que trabajan por lotes.
- Industrias de bebidas alcohólicas, en las que deben pasar desde 1 hasta más de 100 horas para obtener los resultados de los procesos de fermentaciones y destilación.
- Procesos en los que las mediciones cercanas sólo difieren por el error de medición. Por ejemplo, temperaturas en procesos, humedad relativa en le medio ambiente, etcétera.
- Algunas variables administrativas, cuyas mediciones se obtienen cada día, cada semana o más. Por ejemplo: mediciones de productividad, de desperdicio, de consumo de agua, electricidad, combustible, etcétera.

Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) menciona que el tamaño de las muestras que se toman es $n=1$, además se recomienda no tomar menos de 100 muestras (de tamaño $n=1$) para este tipo de gráfico.

Obtención de los límites de control

Los límites de control de los valores individuales son $\mu \pm 3\sigma$ y los parámetros son:

$$LSC_x = \bar{X} + \frac{3\bar{R}}{d_2} \text{ y}$$

$$\text{Línea central } \mu_x = \bar{X},$$

$$LIC_x = \bar{X} - \frac{3\bar{R}}{d_2}$$

Otra forma para encontrar los parámetros de este gráfico como es la siguiente: $E_2 = 3/d_2$, se tiene, $LSC_x = \bar{X} + E_2 \bar{R}$ y $LIC_x = \bar{X} - E_2 \bar{R}$. El valor de E_2 se obtiene de las tablas de constantes de gráficos de control con un valor común de $n=2$, es decir, el número de datos tomados para calcular cada rango. Los límites de control de los rangos son los mismos que para el gráfico de medias y rangos: $LSC_R = D_4 \bar{R}$ y $LIC_R = D_3 \bar{R}$, usando A_2 con $n=2$ (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

Otros gráficos de control de variables

Existen otros tipos de gráficos de control para variables mencionados por Edgardo J. Escalante Vázquez (2003), como son:

- Gráfico de control de medias y desviación estándar.
- Gráfico de medianas y rangos

Características de los Gráficos de control de medias y desviación estándar así como de medianas y rango son las siguientes:

Medias y desviación estándar:

En lugar de usar el rango como medida de variación se usa la desviación estándar, dicho gráfico no presenta restricción en cuanto al tamaño de muestras

(n) como sucede con el rango, el cual no presenta bien la variación cuando n es mayor a 10.

Medianas y rangos:

Permite la sustitución de la media por la mediana como una medida de centralización.

3.4.13 Gráficos de Control para Atributos

En un análisis por atributos al producto se le contabilizan defectos generalmente visuales, por mencionar algunos el autor da ejemplos como, tiene o no color, está roto, pasa o no pasa, es decir no solo se le mide una característica en especial, si no que se contabilizan el número de piezas malas o que tienen defecto (Miranda Rivera, 2006).

Los gráficos para atributos son usadas para medir características discretas, es decir, medibles (contables) sobre una escala que solamente toma valores puntuales o discretos, como el número de defectos o el número de artículos defectuosos (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003) por ejemplo.

Los diferentes tipos de gráficos existentes para atributos son:

- Gráfico P: evalúa la fracción o el porcentaje de unidades defectuosas. El tamaño de las muestras n puede ser variable.
- Gráfico np: evalúa el número de unidades defectuosas, con n constantes.
- Gráfico C: evalúa el número de defectos por unidad. El tamaño de la muestra n puede ser variable.

3.4.14 Gráfico p y np

Estos gráficos tienden a evaluar las características de calidad del tipo pasa no pasa, donde de acuerdo a estas un producto es juzgado como defectuoso o no defectuoso, dependiendo de si posee ciertos atributos, en estos casos a un producto que no reúne ciertas características de calidad no se le deja pasar a la siguiente etapa del proceso y se le separa denominándolo como un artículo defectuoso (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

3.4.15 Gráfico p

Muestra las variaciones en la fracción o proporción de artículos defectuosos por muestra o subgrupo. El gráfico p (proporción de defectuosos) es ampliamente usado para evaluar el desempeño de una parte o todo un proceso, tomando en cuenta su variabilidad y detectar así causas o cambios especiales en el proceso (Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Establece que la fracción (o proporción) de disconformes se define como el cociente del número de artículos disconformes en una población entre el número total de artículos, en general se expresa la fracción de disconformes con un número decimal, aunque se usa en ocasiones el llamado porcentaje de no conformes (Douglas C. Montgomery, 1991).

También se utiliza para saber exactamente la proporción o la fracción de una producción al 100 %.

Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004) menciona algunos pasos para llevar a cabo este gráfico de control a continuación se mencionan:

- De cada lote, embarque, pedido o de cada cierta parte de la producción, se toma una muestra o subgrupo de n_i artículos, que puede ser totalidad o una parte de las piezas bajo análisis.

- Las n_i piezas de cada subgrupo son inspeccionadas y cada una es clasificada como defectuosa o no, las características o atributos de calidad por lo que una pieza puede ser evaluada como defectuosa, puede ser mas de una; pero una vez determinados los atributos bajo análisis bien definidos y estandarizados.
- Si de las n_i piezas del subgrupo i , se encuentra que d_i son defectuosas (no pasan), entonces en la carta p se grafica y se analiza la variación de la proporción p_i de unidades defectuosas por subgrupo.

La siguiente ecuación muestra como calcular la fracción defectuosa:

$$p_i = \frac{d_i}{n_i}$$

Donde:

P_i = proporción de defectuoso

d_i = piezas defectuosas

n_i = total de piezas a inspeccionar

3.4.16 Gráfico np

Tiene la misma función que el gráfico p , con la restricción de que el tamaño de muestra n tiene que ser constante, este gráfico en lugar de evaluar la fracción defectuosa, la gráfico np evalúa el número de unidades defectuosas ($x=np$) (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

3.4.17 Gráfico c y u

Es frecuente que en los procesos industriales existan variables de atributos como la siguiente: número de defectos por artículos (rollo fotográfico, zapato, prenda de vestir, circuito electrónico, mueble, etc.), en las que en cada producto se puede tener más de un defecto o atributo no satisfecho.

Evalúan los defectos por unidad, sin embargo al encontrar un error o atributo no satisfactorio no quiere decir que este producto no pueda pasar a la siguiente etapa del proceso, esa es la gran diferencia de los gráficos p y np (Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

Otro tipo de variables que se pueden evaluar por medio de estos gráficos son las siguientes mencionado por Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar (2004):

- Números de errores por trabajador
- Cantidad de accidentes
- Numero de quejas por mal servicio
- Número de nuevos clientes
- Cantidad de llamadas telefónicas
- Clientes atendidos
- Errores tipográficos por página de periódico
- Número de fallas de un equipo

3.4.18 Gráfico c

Se usa para monitorear el número de defectos en unidades bien definidas y de tamaño constante (Escalante Vázquez, 2003 y Humberto Gutiérrez pulido y Román de la Vara Salazar, 2004).

3.4.19 Gráfico u

El gráfico u monitorea el número de unidades defectuosas por unidad –promedio-- en muestras bien definidas, aunque a diferencia del gráfico c, éstas no están restringidas a tener un tamaño de muestra constante (Douglas C. Montgomery, 1991).

3.4.20 Cálculo de Nuevos Límites de Control

Edgardo J. Escalante Vázquez (2003) menciona que existen dos fases en la modificación de límites de control las cuales son:

Primera fase. Basado en una muestra inicial de por lo menos de 100 puntos individuales se calculan los límites de pruebas, si se presenta el caso de uno o más puntos fuera de dichos límites el procedimiento es el siguiente:

- 1).- Encontrar la causa especial (o causas).
- 2).- Eliminar dicha causa.
- 3).- Borrar el punto.
- 4).- calcular los nuevos límites de control sin ese o esos puntos.

Este procedimiento se repite hasta que todos los puntos estén dentro de los límites de control y no existan patrones que demuestren que el gráfico se encuentra fuera de control, entonces dichos límites finales serán proyectados hacia el futuro para construir nuevos gráficos de control y llevar a cabo el monitoreo del proceso a tiempo real. Estos límites establecidos no volverán a calcularse de nuevo hasta que se cumpla las condiciones de la segunda fase.

Segunda fase. Se refiere al momento en el cual será necesario calcular de nuevo dichos límites de control. De acuerdo con Perry Regier de Dow Chemical (citado por Wheeler, 1998), todas las siguientes preguntas deberán tener respuesta afirmativa para proceder a modificar los límites de control a partir de donde se inició el cambio.

- ¿Los datos muestran un comportamiento diferente que en el pasado?
- ¿Se conoce la razón de ese cambio?
- ¿Es deseable el nuevo comportamiento?
- ¿Se espera que el nuevo comportamiento continúe?

De acuerdo con Wheeler (1998), el número de puntos necesarios para empezar a calcular los nuevos límites de control son dos subgrupos de tamaño 4.

3.5 Guía para la Selección de Gráficos de Control

Un resumen de los gráficos de control y sus características puede ayudar a seleccionar el gráfico apropiado para cada situación requerida ver **tabla 3.5**.

Tabla 3. 5. Guía para la Selección de Gráficos de Control.
(Fuente: Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003)

Variables Dimensiones, presiones, temperaturas, etc.	n=1	(Lecturas individuales, $\bar{x}R$)	
	n>1	2 ≤ n ≤ 10	(Medias y Rangos, $\bar{x}R$) (Medianas y Rangos, $\bar{x}R$) (Medias y desviación estándar, $\bar{x}s$)
			n > 10
Atributos Unidades defectuosas, defectos	Unidades Defectuosas	n constante	(Fracción defectuosa, p) (Núm. De unidades defectuosas, np)
		n variable	Fracción defectuosa, p
	Número de defectos	n constante	(Núm. De defectos, c) (Núm. De defectos *unidad, u)
		n variable	(Núm. De defectos por unidad)

3.6 Interpretación de Gráficos de Control

Escalante Vázquez (2003) basado en (Western Electric, 1956) menciona que con respecto a las características de un comportamiento natural o normal (aleatorio) son los siguientes:

- 1) la mayoría de los puntos cerca de la línea central
- 2) pocos puntos cerca de los límites de control
- 3) ningún punto u ocasionalmente alguno fuera de los límites de control

Los 3 puntos mencionados anteriormente se puede decir que es para un proceso normal, lo cual define Gutiérrez pulido y de la Vara Salazar (2004) como:

proceso bajo control estadístico en que los puntos de la carta caen dentro de los límites de control y fluctúan o varían en forma aleatoria a lo ancho de la carta, con mayor frecuencia caen cerca de la línea central.

(Western Electric, 1956) mencionado por Escalante Vázquez (2003) establece que un patrón anormal tiene las siguientes características:

- 1) La ausencia de puntos cerca de la línea central indica un patrón llamado mezcla.
- 2) La ausencia de puntos cerca de los límites de control produce estratificación.
- 3) Los puntos fuera de los límites indica inestabilidad.

Regla empírica (sin tener el requisito de normalidad, Wheeler y Chambers, 1992)

- 60-75 % de los datos estarán dentro de 1 sigma unidades de la media.
- 90-98 % de los datos estarán dentro de 2 sigma unidades de la media.
- 99-100 % de los datos estarán dentro de 3 sigma unidades de la media.

3.7 Interpretación del Control del Proceso.

Al analizar un gráfico de control se identifica el tipo de variación del proceso, causas comunes o causas especiales. Juran sugiere un conjunto de reglas de decisión para detectar patrones no aleatorios en las cartas de control.

A continuación en la **figura 3.16** se muestra algunos patrones que indican que el gráfico de control que se está analizando tiene un comportamiento anormal o existe algún cambio y es necesario tomar acciones correctivas ya que de no hacerlo esto se vera reflejado en el producto final.

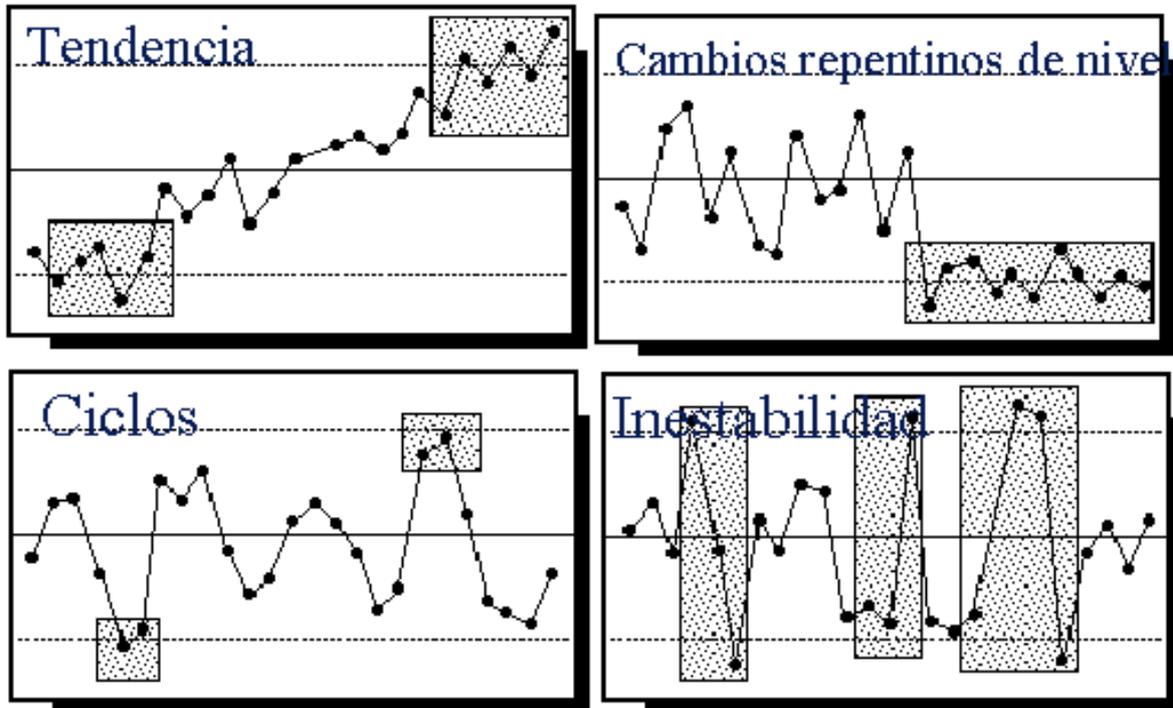


Figura 3. 16 Causas Especiales de Variación.
Fuente: Juran J. M (1990)

3.8 Interpretación General

El gráfico R se interpreta en primer lugar, si no está en control estadístico, se deberá investigar y eliminar todas las causas especiales, antes de proceder con la interpretación del gráfico de medias.

El gráfico R es considerada el más importante en un estudio de capacidad, dicho gráfico R está relacionado con la uniformidad, cuándo se encuentra fuera de control puede deberse a:

- Mantenimiento insuficiente.
- Malas reparaciones (dominio de máquina).
- Trabajadores nuevos.
- Algo que los moleste (dominio del trabajador).

El gráfico de medias representa el centrado del proceso, acciones relacionadas que pueden manifestarse son:

- Ajuste de máquina.
- Características particulares de los materiales o las partes usadas.
- Cambio o ajuste en las técnicas de los trabajadores o de los inspectores.

Nota: Se interpreta siempre y cuando el gráfico R esté bajo control.

3.9 Interpretación de Gráficos para Atributos

En el caso de los gráficos de atributos como el gráfico p, si éste fluctúa, puede ser:

- a) Que la fracción defectuosa este cambiando.
- b) Que ha cambiado la clasificación de artículos defectuosos.

Si el comportamiento es errático, las causas mas frecuente son los operadores con poca capacitación y poco control.

3.10 Capacidad del Proceso

Una vez que el proceso se encuentra bajo control, es decir, no hay punto fuera de los límites de control ni patrones de inestabilidad, y existe normalidad, se procede al cálculo de la capacidad del proceso para producir piezas dentro de especificaciones (Edgardo J. Escalante Vázquez , 2003).

3.10.1 Índice Capacidad Potencial

Para que un producto elaborado por un proceso se pueda considerar de calidad, las mediciones de ciertas características o partes de las mismas deben ser iguales a cierto valor nominal o ideal (N), o al menos tienen que estar dentro de cierta especificación inferior (EI) y superior (ES), entonces una medida de la capacidad potencial del proceso para cumplir con tales especificaciones lo da el índice de capacidad de proceso (Cp), (Humberto Gutiérrez pulido, 1997).

En la **tabla 3.6** se pueden observar los valores de Cp y las decisiones que se deben tomar con base en este valor.

Tabla 3.6. Valor del Cp
(Fuente: Humberto Gutiérrez pulido, 1997)

Valor del cp	Clase del proceso	Decisión
$Cp > 1.33$	1	Más adecuado
$1 < Cp < 1.33$	2	Adecuado para el trabajo, pero requiere de un control estricto conforme se acerca el cp a 1
$0.67 < Cp < 1$	3	No adecuado para el trabajo. Un análisis del proceso es necesario. Buena probabilidad de éxito.
$0.67 < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo.

El Cp se utiliza para conocer y tomar decisiones sobre el proceso, dependiendo de su valor es el tipo de proceso y la decisión que ha de tomarse.

En la **tabla 3.7** se puede observar que si el valor del Cp es bajo mayor es el porcentaje de producto fuera de especificación y por ende las partes por millón aumentan, por lo cual es necesario tomarle importancia al índice de capacidad potencial (Cp), ya que el beneficio se puede ver reflejado en el reproceso de los productos, los cuales generan muchos costos, aun han llevado a la quiebra a muchas empresas.

Tabla 3. 7. Porcentaje de Producto no Conforme en Función del Cp
(Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido, 1997).

Valor del índice Cp	Procesos con doble especificación		Procesos con una sola especificación	
	% fuera de especificación	Partes por millón fuera	% fuera de especificación	Partes por millón fuera
0.25	45.33	453 225	22.66	226 628
0.50	13.36	133 614	6.68	66 807
0.60	7.19	71 861	3.59	35 931
0.70	3.57	35 729	1.79	17 865
0.80	1.64	16 395	0.82	8 198
0.90	0.69	6 934	0.35	3 467
1.00	0.27	2 700	0.135	1350
1.10	0.097	967	0.0048	484
1.20	0.032	318	0.016	159
1.30	0.010	96	0.005	48
1.40	0.003	27	0.0014	14
1.50	0.0007	7	0.0004	4
1.60	0.0002	2	0.0001	1

El Cp es una herramienta de calidad de mucha utilidad, por lo tanto es necesario saber para que utilizarlo es de vital importancia (Gómez Fraile, Francisco Vilar Barrio, Tejero Monzón, 2003), los siguientes puntos definen la función y utilidad del Cp:

- Evaluar si la característica de control de un producto o proceso es capaz de satisfacer los requerimientos
- Vigilar la reducción de la variabilidad
- Identificar los procesos o características de procesos que necesitan mejora
- Asegurar que se satisfacen los requerimientos de los clientes
- Elegir entre distintas máquinas o instalaciones para realizar un producto
- Determinar si la reducción de producto no conforme puede ser obtenida mediante el centrado del proceso, la reducción de su variación o ambas

La ecuación utilizada para calcular la habilidad del proceso debe cumplir con las especificaciones y se expresa de la siguiente manera (Douglas C. Montgomery, 1991):

$$ICP = \frac{LSE - LIE}{6\hat{\sigma}}$$

Donde:

ICP: Índice de Capacidad del Proceso (Cp)

LSE: Límite superior Especificado

LIE: Límite inferior Especificado

σ : Desviación estándar de los datos individuales

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{d_2}$$

Donde:

\bar{R} = Promedio de los rangos de la carta de control.

d_2 = Constante de cálculo.

El índice de capacidad potencial (Cp) es una comparación entre los límites de especificación (tolerancia) y los límites del proceso sin tomar en cuenta la ubicación del mismo, existe un índice llamado “de capacidad real” (cpk) el cual toma en cuenta la localización del centro del proceso en comparación de los límites de especificación, si un proceso no es potencialmente capaz, definitivamente tampoco tiene capacidad real (Edgardo J. Escalante Vázquez, 2003).

Una manera de evaluar la capacidad del proceso para producir dentro de especificaciones, es comparar el ancho de la especificación con el ancho del proceso.

3.10.2 Índice de Capacidad Real

El índice Cp estima la capacidad potencial del proceso para cumplir con tolerancias, pero una de sus desventajas es que no toma en cuenta el centrado, sin embargo se puede modificar el Cp, para que además de tomar en cuenta la variabilidad, también evalúe dónde se localiza la media del proceso respecto a las especificaciones, al Cp modificado se le llama índice de capacidad real (Cpk) (Humberto Gutiérrez pulido, 1997).

Otra medida para la cuantificación del índice de capacidad de proceso es el Cpk, que está definido como el menor valor encontrado entre el Cpu y el Cpl, que se define como:

$$C_{pu} = \frac{LSE - \bar{X}}{3\sigma} \quad C_{pl} = \frac{\bar{X} - LIE}{3\sigma}$$

Donde:

Cpu: Capacidad de proceso teniendo en cuenta únicamente la especificación superior del proceso

Cpl: Capacidad de proceso teniendo en cuenta únicamente la especificación inferior del proceso

LIE: Limite de especificación inferior de la variable

LSE: Limite de especificación superior de la variable

\bar{X} = Valor promedio encontrado de los datos

σ : Desviación estándar del proceso

Cpu y Cpl solo evalúan la mitad de la distribución de los datos teniendo en cuenta solo 3σ , es útil cuando la especificación de la variable, solo se expresa como un máximo o como un mínimo, para indicar al analista en que sector de la especificación (superior o inferior) se presenta mas riesgo de incumplimiento de los valores establecidos.

Los valores de Cpk, son ampliamente utilizados como indicadores de la calidad de un proceso o producto, el valor de $Cpk = 1.33$ se ha establecido como un parámetro deseado porque la obtención de este valor en un proceso o producto significa que por cada 10,000 mediciones 3 de ellas existe la probabilidad estadística que se encuentre fuera de los límites de especificación.

En la **figura 3.17** se puede ver que el índice de capacidad real (Cpk) toma en cuenta el centrado del proceso, y que tan aceptable es su promedio y la desviación estándar de cada proceso.

3.11 Prueba de Hipótesis sobre Parámetros de Procesos

Una hipótesis estadística es un enunciado sobre los valores de los parámetros de una distribución de probabilidad, y estas se pueden utilizar para tomar decisiones acerca de cualquier proceso que se pueda muestrear, esta aplicación en seis sigma se utiliza para evaluar el desempeño real de los procesos (promedio y variación con respecto a una norma o especificación, para determinar si existen no diferencias entre procesos, con el fin de verificar el proceso mediante la comparación de los datos previos y posteriores (Augustine A. Stagliano, 2005) .

En este tipo de prueba se utilizan dos condiciones opuestas conocidas como:

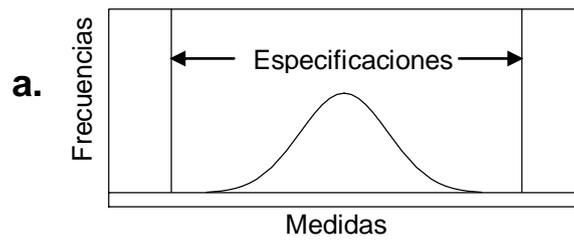
1. Hipótesis nula (H_0): sostiene que no existe diferencias entre el valor de la muestra y el parámetro de población sometido a prueba.
2. Hipótesis alternativa (H_1): sostiene que existe diferencia entre el valor de la muestra y parámetro de la población sometida a prueba.

En general, existen tres maneras posibles de realizar o llevar a cabo los parámetros como se puede ver en la **tabla 3.8**.

a.- Promedio Aceptable

Desviación estándar

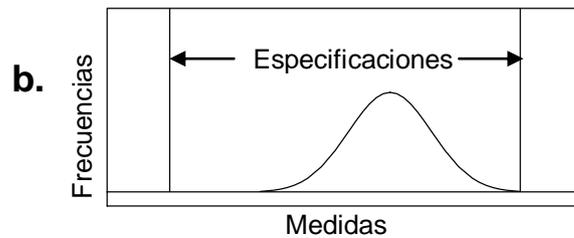
Aceptable. $Cpk > 1$



b.- Promedio aun aceptable

Desviación estándar

Aceptable. $Cpk = 1$

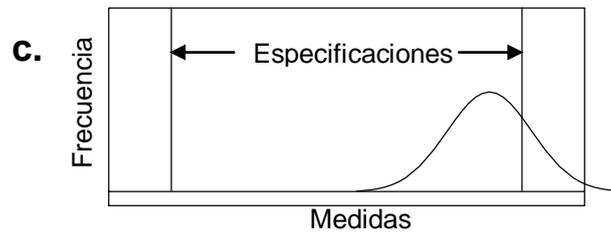


c.- Promedio muy alto

Desviación estándar

Potencialmente aceptable

$Cpk = Cpu < 1$

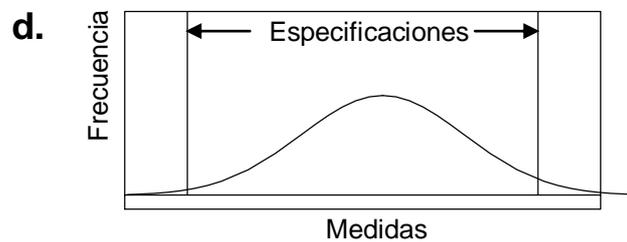


d.- Promedio aceptable

Desviación estándar

Muy grande

Cpu y $Cpl < 1$



e.- Promedio muy alto

Desviación estándar muy

Grande $Cpk = Cpu < 1$

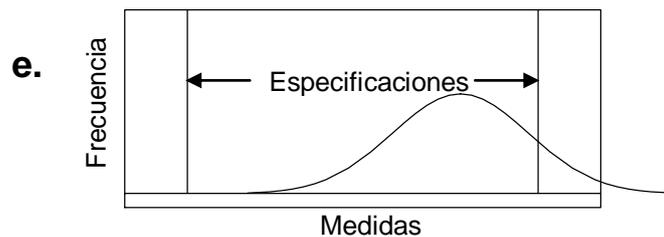


Figura 3. 17 Diferentes Procesos en Función del Cpk .

(Fuente: Humberto Gutiérrez Pulido, 1997)

Tabla 3. 8. Diferentes Maneras para Establecer Parámetros para una Prueba de Hipótesis
(Fuente: Douglas C. Montgomery, 1991).

Maneras posibles	Decisión para llevar a cabo el parámetro
1	Pruebas o conocimientos anteriores.
2	Resultado de alguna teoría o modelo del proceso.
3	Especificaciones establecidas o de diseño.

Para probar una hipótesis se toma una muestra aleatoria de la población observada y se calcula una estadística de prueba apropiada y después se acepta o se rechaza la hipótesis nula H_0 . El conjunto de valores de la estadística de prueba que lleva al rechazo de H_0 se llama región crítica o región de rechazo de la prueba.

3.11.1 Pruebas de Hipótesis con Dos Colas

Las pruebas con dos colas se utilizan para determinar si cierto parámetro, como el promedio o la varianza de un proceso, es igual al valor especificado.

Estas pruebas se establecen en términos de una hipótesis nula (H_0) y una hipótesis alterna (H_1) como se muestra a continuación.

$$H_0: \mu: \Phi = x$$

$$H_1: \mu: \Phi \neq x$$

Donde:

Φ es el parámetro sujeto a prueba.

x es algún valor especificado.

3.11.2 Prueba de Hipótesis con Una Cola

En las pruebas con una cola, se debe seleccionar una de dos hipótesis alternas posibles, se establece como una desigualdad ya sea “mayor que” o “menor que” como se muestra a continuación.

$$H_0: \Phi = x$$

$$H_a: \Phi < x \text{ o } H_a: \Phi > x$$

Donde:

Φ es el parámetro sujeto a prueba.

x es algún valor especificado.

3.11.3 Errores de Decisión

Douglas C. Montgomery (1991), menciona que en una prueba de hipótesis ya sea de una o dos colas puede cometerse dos tipos de errores, esto sucede al aceptar o rechazar H_0 se basa en la estimación de la muestra, es posible llegar a una decisión incorrecta, los dos tipos de error que se pueden presentar al realizar una prueba de hipótesis se denominan como errores tipo I y tipo II, las probabilidades que puedan ocurrir se denotan como:

$$\alpha = P \{ \text{error tipo I} \} = P \{ \text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es verdadera} \}$$

$$\beta = P \{ \text{error tipo II} \} = P \{ \text{aceptar } H_0 | H_0 \text{ es falsa} \}$$

Error tipo I

Este tipo de error se presenta cuando se rechaza H_0 y esta es verdadera, la probabilidad de cometer este tipo de error se denomina riesgo alfa (α).

Error tipo II

Este tipo de error se presenta cuando se acepta a H_0 cuando esta es falsa, la probabilidad de cometer este tipo de error se denomina riesgo beta (β).

Es más conveniente trabajar con el poder de la prueba donde:

$$\text{Poder} = 1 - \beta = P\{\text{rechazar } H_0 | H_0 \text{ es falsa}\}$$

El poder de la prueba es la probabilidad de rechazar correctamente H_0 . En el control de calidad, α se llama a veces riesgo del fabricante, ya que se denota la probabilidad de que sea rechazado un lote aceptable, o la probabilidad de que sea rechazado por funcionar insatisfactoriamente un proceso que produce valores aceptables de una característica de calidad en particular. A su mismo β se denomina a veces como riesgo del consumidor, ya que denota la probabilidad de aceptar un lote de calidad deficiente, o la probabilidad de que se deje seguir operando un proceso que trabaja insatisfactoriamente respecto a alguna característica de calidad (Augustine A. Stagliano, 2005).

El procedimiento general para una prueba de hipótesis es especificar un valor de la probabilidad de cometer un error α tipo I, y después diseñar un procedimiento de prueba para obtener un pequeño valor de la probabilidad de cometer el error β tipo II. Así se puede controlar o escoger directamente el riesgo α , el riesgo β es por lo general una función del tamaño muestral, y se controla indirectamente, cuanto más grande (s) sea (n) el (s) muestral (es) para la prueba, tanto menor será el riesgo β .

3.12 Muestreo y su Aplicación

Con frecuencia se necesita entender a las poblaciones de gran tamaño, pero debido a las restricciones de tiempo y costo, suele resultar impracticable o imposible trabajar con toda esa población, el muestreo estadístico permite recabar

información útil acerca de la población, sin necesidad de ver a todos y cada uno de los elementos que la componen (Augustine A. Stagliano, 2005).

El muestreo tiene diferentes aplicaciones en lo que se refiere a Seis Sigma, entre estas se encuentran las siguientes:

- Prueba de hipótesis.
- Formación de modelos de distribución de probabilidad.
- ANOVA.
- Diseños de experimentos.
- Validación del sistema de medición.
- Análisis de regresión entre otros.

La utilidad del muestreo es que puede utilizarse para estimar los parámetros de población y procesos (como promedio variación y proporciones) de manera eficaz y económica, también puede especificar el grado de precisión y exactitud de la prueba estadística antes de efectuarla en realidad (Douglas c. Montgomery, 1991).

3.12.1 Tipos de Muestreo

Las muestras pueden ser de dos tipos como lo establece Augustine A. Stagliano (2005):

1.- Muestreo de juicio

Se selecciona con base en la opinión del analista y los resultados se pueden utilizar para hacer inferencias sólo con respecto a aquellos elementos que forman parte de ella, es decir, observaciones reales.

2.- Muestreo Estadístico o Aleatorio

Se selecciona de manera aleatoria a partir de toda la población, y los resultados se pueden utilizar para hacer inferencias con respecto a toda la población.

En la **tabla 3.9** se ilustran las diferencias que existen entre estos dos métodos.

Tabla 3. 9. Comparación del Muestreo a Juicio y Estadístico
(Fuente: Augustine A. Stagliano, 2005).

Muestra de Juicio	Muestra estadística
La muestra se selecciona con base en el conocimiento y experiencia.	La muestra se selecciona de manera aleatoria
En el proceso de selección solo se incluye a un subconjunto de la población	En el proceso de selección se incluye a toda la población.
Se supone que la muestra es representativa de la población.	La muestra es representativa de la población.

3.12.2 Tipos de Datos de Población

Los datos se clasifican en dos categorías generales: atributos y variables, cuando se utilizan datos de atributos la atención se centra en aprender acerca de una o más características no numéricas específicas de la población que se está muestreando, con los datos de variable se estima un estimado numérico real para cada una o más características de la población sometida a muestreo (Luís Néstor Miranda (2006).

3.12.3 Técnicas de Muestreo

Existen diferentes técnicas de muestreo, a continuación se mencionan algunas mencionadas por Augustine A. Stagliano (2005).

Muestra aleatoria simple

La muestra se selecciona de manera puramente aleatoria; es decir todo elemento de la población tiene una posibilidad igual de resultar incluida en la muestra, esa es la forma más elemental de muestreo aleatorio y la mayor aplicación general en estimación de los valores poblacionales.

Muestra aleatoria estratificada

Se segmenta a la población en más de una capa, sonde todo elemento de la población tiene una cierta posibilidad (no necesariamente igual) de quedar incluido en la muestra, por lo general este método se utiliza para reducir el tamaño global de la muestra de poblaciones con varianzas grandes, también se utiliza con frecuencia en estrategias para reducir riesgos, en las que se da más valor a la selección de muestras procedentes de los estratos con mayor riesgo.

Muestreo sistemático

Las muestras se seleccionan con base en una secuencia predefinida y se eligen a mediada que la genera el proceso, por lo general este tipo de muestreo se utiliza para seleccionar muestras de procesos de manufactura para monitoreo y control de procesos en las instalaciones transaccionales, como son las transacciones de un cliente en un banco.

4. MODELO PROPUESTO

4.1 Antecedentes del Modelo Propuesto

En este capítulo se propone la metodología para diseñar e implementar un sistema que asegure las mediciones en la empresa Alpla Traiding tomando en cuenta herramientas estadísticas para asegurar el proceso productivo actual.

Esta empresa trabaja con el mejoramiento continuo, en el año 2008 se comienza a implementar y trabajar arduamente con el proyecto Seis sigma una filosofía de calidad mundial.

El método que a continuación se presenta es para un estudio de Gage R&R se lleva a cabo bajo la visión de Seis Sigma enfocado al sistema de medición.

Contar con el respaldo y la dirección de la organización es de suma importancia para que este proyecto se pueda llevar a cabo y además de la cooperación del personal que labora en esta empresa.

4.2 Implementación del Modelo propuesto

Con el modelo propuesto se pretende analizar y mejorar el sistema de medición actual en esta empresa, la metodología a seguir de este modelo es similar a la que proponen diferentes autores.

Para poder completar un estudio de Gage R&R se tienen que analizar el siguiente modelo propuesto que se componen de seis fases y 11 pasos inmerso dentro de ellas.

Metodología para llevar a cabo un estudio de Gage R&R en la empresa Alpla Traiding S.A. De C.V.

1. Calibración de equipos.
2. Identificación de variables críticas.

3. Cualitativas y cuantitativas
4. Elección de las botellas a medir.
5. Características de las botellas a medir.
6. Tomar una muestra de 10 botellas.
7. Formación de equipos de trabajo (Equipo A y B).
8. Se lleva a cabo las mediciones de diferentes equipos.
9. Análisis de la información.
10. Análisis de datos.
11. Propuesta de mejora y conclusión.

A continuación se muestra el diagrama de flujo en el que se puede observar las diferentes fases y pasos a seguir del proyecto estudio de Gage R&R ver **figura 4.1**.

4.3 Descripción de la Metodología Propuesta por Fases

Fase 1: Preparar el Equipo de Medición.

1.- Calibración de los Equipos:

En el presente estudio se usan los siguientes equipos de medición:

- Medidor de altura.
- Micrómetro.
- Medidor de claro de base. (ver anexo c)

Para llevar a cabo el presente estudio de Gage R&R es un requisito calibrar debidamente los equipos de medición a utilizar, tomar en cuenta este punto es muy importante, de no llevar a cabo dicha calibración se corre el riesgo de que sea el instrumento el que cause la mayor variación en el estudio y siendo así no tendría sentido o razón hacer un estudio de Gage R&R.

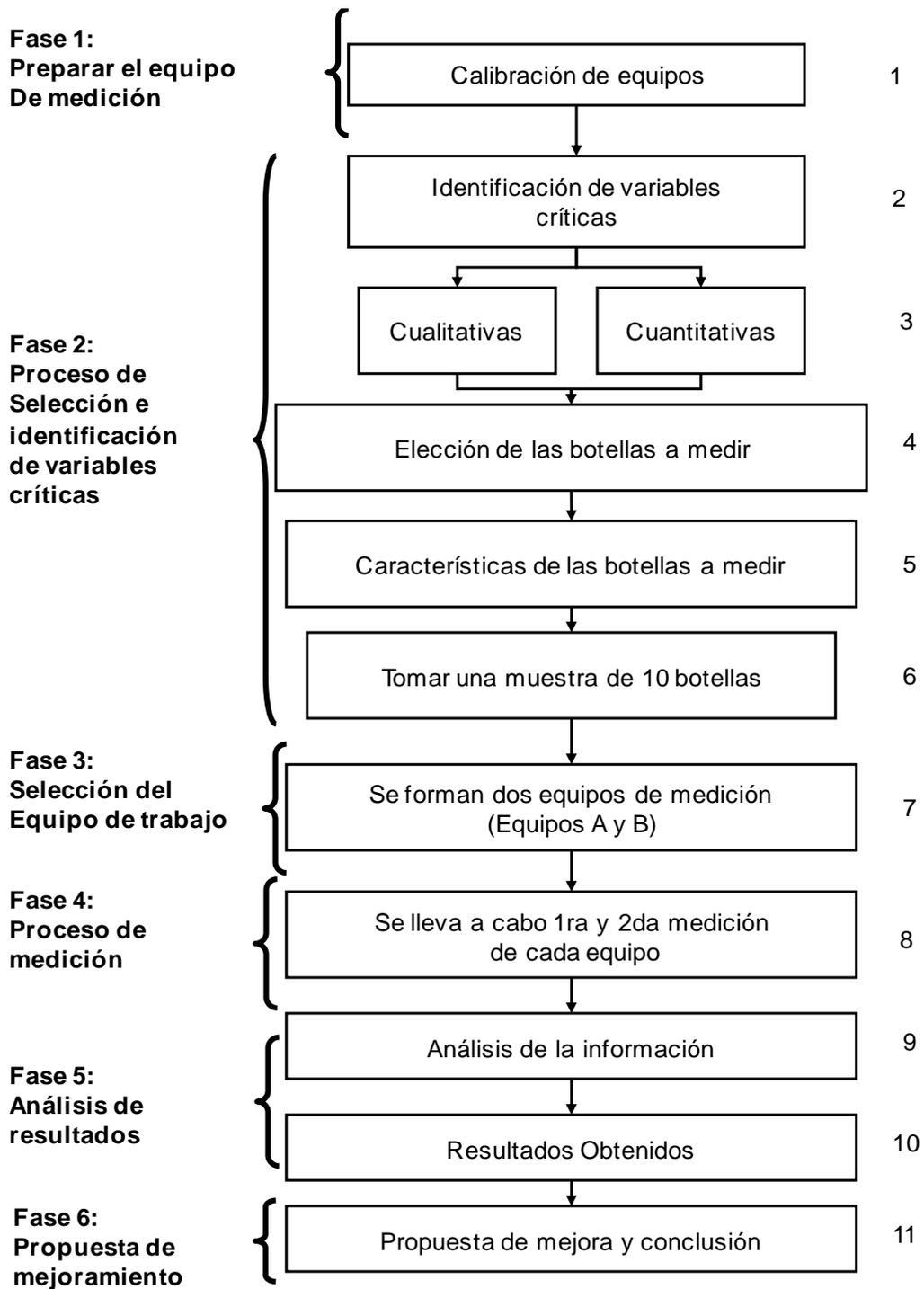


Figura 4. 1. Modelo Propuesto para el Estudio de Gage R&R
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

Nota: los números que se encuentran a la derecha son los pasos a seguir de cada fase, y a continuación se describen.

Fase 2: Proceso de Selección e Identificación de Variables Críticas

2.- Identificación de Variables Críticas:

Estas variables son aquellas que causan descontrol del proceso y se manifiesta directamente en la insatisfacción del cliente ya sea interno o externo.

Identificar las variables críticas del proceso conducirá a tener un panorama general del por que proviene la mayor variación en el proceso actual, es necesario tratar de reducirlas a su mínima expresión, esto conlleva a descartar una causante de variación.

Identificando las variables críticas se trabajara con ellas para reducirlas antes de comenzar el estudio de Gage R&R

3.- Variables Críticas Cuantitativas y Cualitativas:

Las variables críticas cuantitativas que se pueden observar son las siguientes:

- Tiempo
- Errores Humanos

Variables críticas Cualitativas que se pudieron observar son las siguientes:

- Capacitación y adiestramiento del personal que labora en el área de calidad.

Es necesario dar una breve explicación de las variables críticas que participan en el sistema de medición actual, son las siguientes:

- **Tiempo**

Participa en cuanto a la rapidez del trabajo para dimensionar, medir altura y el claro de base de las distintas presentaciones de los envases, y se puede precisar un error al registrar un dato incorrecto o efectuar mal la medición presionado por el tiempo.

- **Errores Humanos:**

Uno de los errores más comunes es de lectura y se presenta al capturar un dato incorrecto y esto hace que muchas veces la variación sea muy grande, comparada con la variación real.

- **Capacitación y Adiestramiento del Personal que Labora en el Área de Calidad:**

La capacitación es de vital importancia para que el inspector de calidad, realice las mediciones de la mejor manera y así reducir su variabilidad.

4. Elección de las Botellas a Medir:

El método de elección de botella es con base en la producción del día, de acuerdo a las presentaciones mencionadas en el Capítulo 2 (presentaciones fabricadas).

Para las pruebas de dimensionamiento y claro de base se utiliza la botella de Splash 600 ml 23 gr. cabe aclarar que se hace una excepción para la prueba de medición de altura en dicha prueba se utilizan botellas de Coca- Cola 2.5 Lts Retornable, las cuales no se fabrican en San Cristóbal de las Casas.

5. Características de las Botellas a Medir

Se mencionan como características de la botella, las partes de las mismas que se toman en cuenta para dimensionar y medir altura, como las siguientes:

- Altura
- Dimensión del cuello
- Dimensión Hombro superior
- Dimensión hombro inferior
- Dimensión Panel
- Dimensión Pinch (cintura)
- Dimensión Talón
- Claro de base

6. Muestra de las 10 Botellas

El método para elegir las 10 Botellas es a juicio ya que por la experiencia del Inspector este sabe distinguir donde se encuentra el número de molde de la botella.

Nota: son 18 moldes de los cuales se eligen 10 del 1-10 que es el número de botellas a elegir.

Fase 3

7. Selección del Equipo

Para la selección del equipo, fue necesario la formación de dos equipos (A, B), integrados cada uno de estos por dos inspectores de calidad, la explicación del por que hacer dos equipos es debido a que dos inspectores trabajan en un día y los otros dos trabajan en otro día y es necesario saber que equipo está midiendo mejor y así poder estandarizar el método de medición actual a continuación se muestra como quedan conformado cada equipo:

Equipo A:

Inspector 1A. HGL.

Inspector 2A. AML.

Equipo B:

Inspector 1B AMM.

Inspector 2B WAE.

Nota: Ver capítulo 2 (Proceso administrativo interno).

Fase 4

8. Proceso de Medición

El proceso de medición de ambos equipos se llevo a cabo en diferentes días, citando a los dos inspectores que están en turno a las 5 de la tarde en el laboratorio de las mismas instalaciones.

Se realizan dos mediciones de las cuales la primera es en orden ascendente de la botella 1-10 y la segunda medición es en orden aleatorio, para ambos trabajadores de los dos equipos.

Para aplicar la metodología propuesta es necesario identificar como desarrollar las mediciones con los equipos de trabajo participantes, esto se observa en la **figura 4.2.**

La explicación de esta figura para un estudio de Gage R&R, permite la necesidad de dos o tres operadores, en este caso son 2 operadores, que midieron dos veces para la misma prueba.

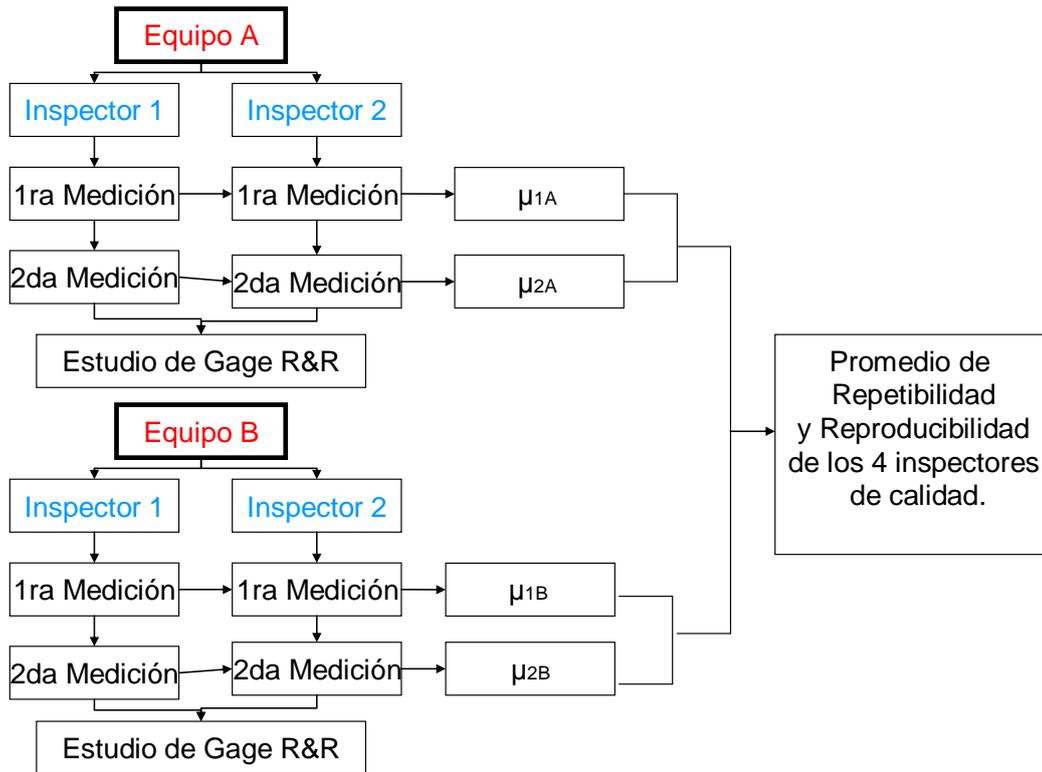


Figura 4. 2. Proceso de Medición
(Fuente. Información Propia de la Empresa)

Después de efectuar esta medición, se obtiene un promedio de ambos equipos, identificándolos con la simbología μ_{1A} , μ_{2A} , μ_{1B} y μ_{2B} , para ser contemplados para utilizar el programa minitab 15 como apoyo, ver **anexo A**.

Las fases 5 y 6 se desarrollan en los siguientes capítulos, donde se analizan la información para plantear la propuesta de mejoramiento.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. Interpretación de los Resultados de la Tabla de ANOVA de dos Factores con Interacción

Contemplando las siguientes hipótesis para un diseño de experimentos de efectos fijos para la media; correspondientes para las botellas (productos), operador y la combinación (interacción) de ambos identificados, en el **anexo A**.

1. $H_0: \mu_{1Botellas} = \mu_{2Botellas} \dots \mu_{10Botellas}$ vs $H_1: \mu_{1Botellas} \neq \mu_{2Botellas} \dots \mu_{10Botellas}$
2. $H_0: \mu_{1op} = \mu_{2op} \dots \mu_{4op}$ vs $H_1: \mu_{1op} \neq \mu_{2op} \dots \mu_{4op}$
3. $H_0: \mu_{1Botella*op} = \mu_{2Botella*op} \dots \mu_{4Botella*op}$ vs $H_1: \mu_{1 Botella*op} \neq \mu_{2Botella*op} \dots \mu_{4 Botella*op}$

Cuya explicación de las hipótesis son:

1. H_0 : Todas las partes de la botella son iguales vs H_1 : todas las partes de la botella son diferentes
2. H_0 : Todos los operadores miden con exactitud VS H_1 : todos los operadores miden diferente.
3. H_0 : Interacción entre botellas y operadores es insignificante Vs H_1 : Existe interacción entre botellas y operadores.

Los resultados en el programa minitab 15 se observan en la **Tabla 5.1**.

Tabla 5. 1 Resultado de Mediciones Altura (ANOVA de Dos Factores con Interacción).
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

Tabla ANOVA de dos factores con interacción					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	2.26866	0.252073	268.480	0.000
Operadores	1	0.00625	0.006250	6.657	0.030
No. de botel * Operadores	9	0.00845	0.000939	0.474	0.875

La decisión entre aceptar y rechazar estas hipótesis depende del valor de P (Ver en la última columna **tabla 5.1**) y al valor correspondiente del nivel de significancia, minitab da un valor de α que es de 0.25 con base en este valor se acepta o se rechaza las hipótesis anteriormente mencionadas.

Las reglas de decisión para P son:

1. Si el valor de p es mayor que α , se acepta H_0 .
2. Si el valor de p es menor que alfa, se rechaza H_0 .

Conclusión: se acepta la hipótesis nula, cuando la interacción de los operarios y productos es insignificante, estadísticamente se pueden trabajar de manera separada y en consecuencia el operador no tendrá dificultad para medir la pieza.

5.2 Interpretación de los Resultados de la Tabla de ANOVA de dos Factores sin Interacción

El término de interacción es eliminado en la tabla de ANOVA en la SC (Suma de cuadrados), y GL (Grados de libertad), se relacionan con términos correspondientes a Repetibilidad, el cual actúa como un error debido a los factores incontrolables. La interpretación de botellas y operadores es la misma como en la tabla de factores con interacción. Sin embargo es importante mencionar que el valor de P puede variar de una tabla de resultados ANOVA a otra.

Tabla 5. 2 Resultado de Mediciones Altura (ANOVA Dos Factores sin Interacción).
(Fuente: información propia de la empresa)

Tabla ANOVA dos factores sin interacción					
Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	2.26866	0.252073	152.136	0.000
Operadores	1	0.00625	0.006250	3.772	0.062
Repetibilidad	29	0.04805	0.001657		
Total	39	2.32296			

5.3 Interpretación de los Porcentajes de Contribución, Cálculo de la Desviación Estándar y la Varianza

La primer columna en la **tabla 5.3** proporciona y desglosa los cálculos de las varianzas, la segunda columna proporciona el porcentaje de contribución de los componentes de la varianza, los cuáles llegan a ser los básicos en un estudio de Gage R&R por el método de ANOVA.

Tabla 5. 3 Resultados de Mediciones Altura (Cálculo de las Varianzas)
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

R&R del sistema de medición		
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0018866	2.93
Repetibilidad	0.0016569	2.57
Reproducibilidad	0.0002297	0.36
Operadores	0.0002297	0.36
Parte a parte	0.0626041	97.07
Variación total	0.0644907	100.00

Como se puede observar el porcentaje de contribución del sistema total de R&R es 2.93, el cual se le atribuye 2.57 a Repetibilidad 0.36 a Reproducibilidad, y el 97.07 % del total de la variación lo aporta parte a parte (botella), esto implica que el sistema de medición es muy capaz.

En la **tabla 5.3** es importante hacer hincapié en esta tabla, porque proporciona los porcentajes de variación de las diferentes fuentes, donde la mayor variación proviene de la parte (botella) con un 97.07 %, mientras que el total de R&R es de 2.93 %, indicando que los operadores y el instrumento de medición se encuentran en buenas condiciones, notar que el porcentaje de contribución es dado simplemente dividiendo los componentes de la varianza entre la variación total. El porcentaje de contribución de R&R del sistema de medición total, se calcula de la siguiente manera, por ejemplo:

$$(0.0018866/0.0644907)*100=2.93$$

Nota: así se realizan los cálculos restantes.

En la **Tabla 5.4** proporciona porcentajes usando cálculos de la desviación estándar, que son obtenidos tomando las raíces cuadradas de componentes de la varianza. El estudio de variación es obtenido multiplicando la desviación estándar por 6, ejemplo:

$$0.43434 * 6 = 0.26061$$

El porcentaje de variación del estudio, es calculado dividiendo la desviación estándar entre el total de variación y multiplicando por 100, por ejemplo R&R del sistema de medición total se calcula de la siguiente manera:

$$(0.26061 / 1.52370) * 100 = 17.10$$

Nota: así se realizan los cálculos restantes.

Tabla 5. 4 Resultados de Mediciones Altura (Cálculo de la Desviación Estándar).
(Fuente: Información Propia de la Empresa)

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.043434	0.26061
Repetibilidad	0.040705	0.24423
Reproducibilidad	0.015154	0.09093
Operadores	0.015154	0.09093
Parte a parte	0.250208	1.50125
Variación total	0.253950	1.52370
Fuente	%Var. de estudio (%SV)	
R&R del sistema de medición total	17.10	
Repetibilidad	16.03	
Reproducibilidad	5.97	
Operadores	5.97	
Parte a parte	98.53	
Variación total	100.00	
Número de categorías distintas = 8		

El último dato que proporciona minitab es el número de categorías distintas en este caso es 8 y puede ser determinada como se muestra a continuación:

Número de categorías distintas= (De parte a parte / Desviación Estándar de R&R del sistema de medición total) * 1.4142

Número de categorías distintas= $((0.253950 / 0.043434) * 1.4142) = 8.2538$

La AIAG's⁶ establece que para tener un buen sistema de medición es necesario que el número de categorías sea mayor o igual a 5.

5.4 Interpretación de los Gráficos para un Estudio Gage R&R

En la **figura 5.1** se puede apreciar el porcentaje de contribución de Gage R&R, Repetibilidad, Reproducibilidad y parte a parte (botella).

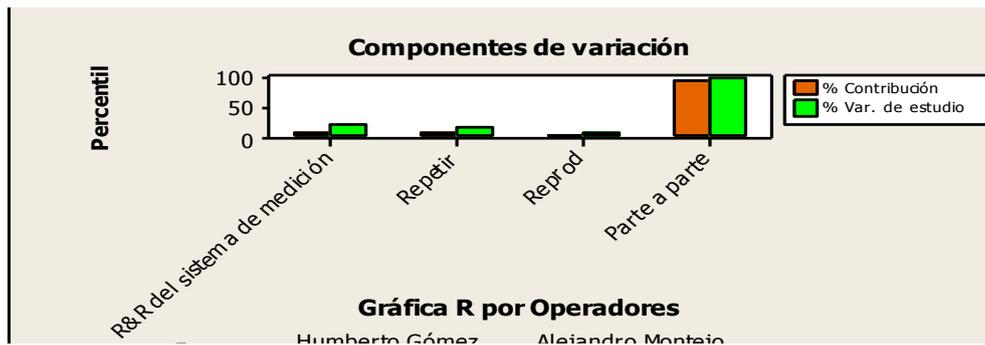


Figura 5. 1. Componentes de Variación (Medición de Altura Equipo A).
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

En la **Figura 5.2** Primero se interpreta el gráfico de Rangos por operador, si todos los puntos están dentro de los límites de control esto indica que los operadores están midiendo correctamente, de lo contrario si los puntos se encuentran fuera de los límites de control existe mucha variación entre dato y dato.

Sin embargo en el gráfico de media (x barra) se pueden ver puntos fuera de los límites de control, pero esto no significa que el proceso este fuera de control, si no que indica la capacidad del instrumento de medición para detectar la variación. Si

⁶ AIAG's: Automotive Industry Action Group

se presenta el caso donde la mayoría de los puntos se encuentre fuera de los límites de control, significa que el instrumento de medición es muy capaz para detectar la variación, en otras palabras el instrumento se encuentra en buen estado.

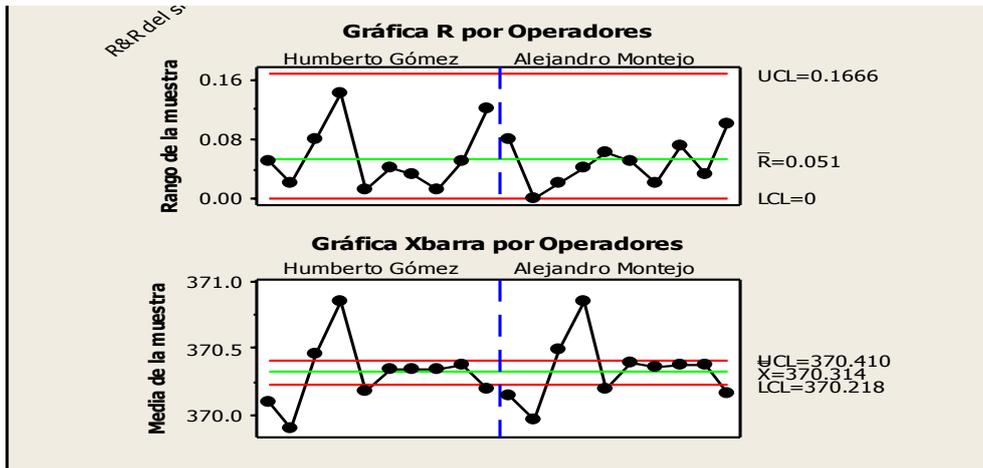


Figura 5. 2. Gráfico de Rangos y Medias (Medición de Altura Equipo A).
 (Fuente: Información Propia de la Empresa).

En la **Figura 5.3** se analiza las mediciones por número de botellas, donde se puede ver de la botella 1 hasta la 10 estos son los puntos blancos, mientras que los puntos negros representa la media de las dos réplicas (mediciones). Las mediciones y las medias no son las mismas porque la variación es muy baja, esto significa que cada botella es medida con mucha precisión y exactitud. Demasiada variabilidad alrededor de los puntos negros indica que el sistema de medición es muy pobre para distinguir las diferentes categorías. Combinando esta **figura 5.3** y la siguiente **5.4**, se puede determinar si la variabilidad del estudio de Gage R&R.

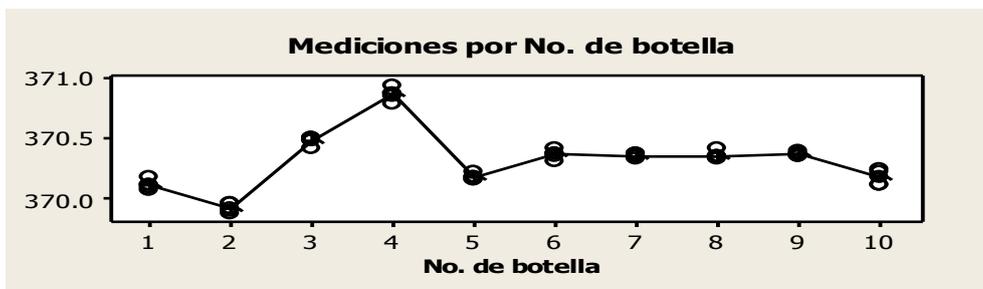


Figura 5. 3. Mediciones por Número de Botella (Medición de Altura Equipo A).
 (Fuente: Información Propia de la Empresa).

En la **Figura 5.4**, los círculos blancos representa las mediciones hechas por los operadores mientras que los dos círculos negros representa la media de los mismos, se puede observar que los datos de los diferentes operadores son muy parecidos y están muy cerca de la media lo cual indica que la variación es muy baja.

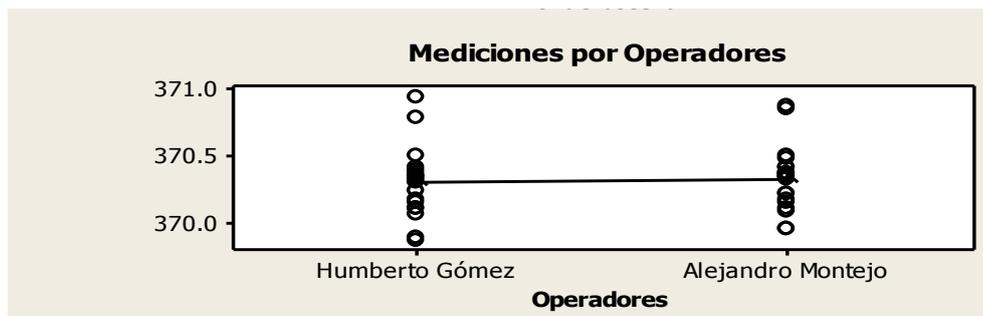


Figura 5. 4. Mediciones por Operadores (Medición de Altura Equipo A)
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Figura 5.5 Interacción de operadores por número de botella. Este gráfico es una visualización de los p-valor para Operadores * No. De botella. Si el valor de p es mayor a 0.25, la forma de cada línea tiende a seguir el mismo patrón y todos los puntos están cerca unos de otros, esto indica que la interacción es insignificativa entre la parte y Operador. El significado de la interacción es que algunos operadores pudieran tener problemas para medir algunas piezas y otras no.

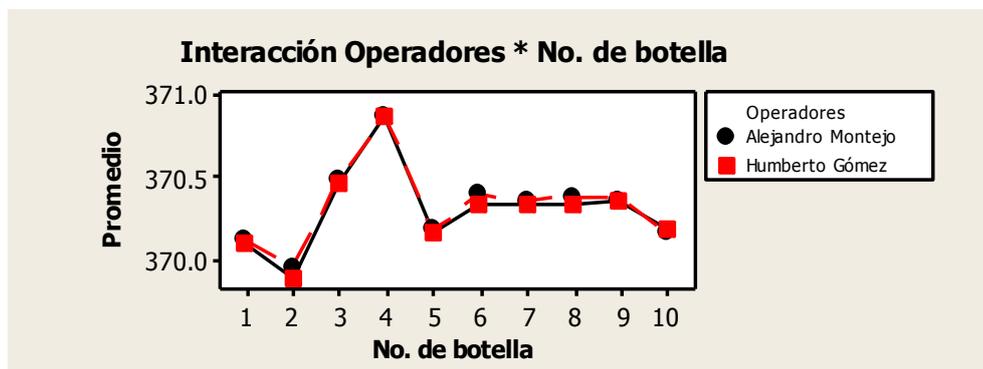


Figura 5. 5. Mediciones por Operadores (Medición de Altura Equipo A)
(Fuente: Información propia de la empresa).

A continuación se lleva a cabo un análisis de las siete pruebas realizadas, donde se puede observar resultados generales como gráficos, hojas de resultados, los porcentajes de las diferentes fuentes de variación y la Repetibilidad vs Reproducibilidad. Al final de cada prueba se concluye de donde proviene la mayor variación así como sus razones o algunas de las causas, del por que existe poca o mucha variación.

Nota: cada uno de los resultados se encuentran detallados el Anexo A, (Hojas de Resultados y Gráficos para las pruebas de R&R).

5.5 Análisis de la Prueba de Altura

En la **tabla 5.5** se presentan los resultados generales de la prueba de altura, se puede observar todo lo referente a esta prueba sin entrar a detalles. Para tomar una decisión acertada con los datos de esta tabla no es suficiente, cabe mencionar que se analizará de lo general a lo particular.

En las **tablas 5.6, 5.7 y 5.8** se pueden ver a detalle los porcentajes de variación de la botella como del sistema de medición y si hay o no interacción entre botellas y operadores, en esta prueba la variación se debe a la botella presentando porcentajes de parte a parte (botella) arriba de 90%.

La **tabla 5.9** se presentan los resultados de Repetibilidad vs Reproducibilidad, dejando a un lado la variación de la botella.

Tabla 5. 5 Resultados Generales de la Prueba de Altura

(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Núm. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
ALTURA	A	0.875 Sin interacción	R&R=2.93 Parte a Parte=97.07	8 muy buena	La variación es debido a parte a parte	Operadores miden correctamente	Repetibilidad baja	Poca variabilidad	Muy similar	Insignificante
	B	0.019 con interacción	R&R=6.83 Parte a Parte=93.17	5 adecuada	La variación es debido a parte a parte	Operadores miden correctamente	Repetibilidad baja	Variabilidad media	Diferencia notable	Insignificante
	Promedio	0.20 con interacción	R&R=3.01 Parte a Parte=96.99	7 Muy buena	La variación es debido a parte a parte	Operadores miden correctamente	Repetibilidad baja	Poca variabilidad	Muy similar	Insignificante

Tabla 5. 6 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, Promedio Equipo A y B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de altura	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	1.51
Reproducibilidad	1.51
Operadores	0.02
Op.*No de bot	1.49
Parte a parte	96.99
Variación total	100

Tabla 5. 7 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, Equipo A)
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Medición de altura	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	2.57
Reproducibilidad	0.36
Operadores	0.36
Op.*No de bot	0
Parte a parte	97.07
Variación total	100

Tabla 5. 8 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Altura, equipo B).
(Fuente: Hoja de cálculo minitab).

Medición de altura	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	3.25
Reproducibilidad	3.57
Operadores	0.29
Op.*No de bot	3.28
Parte a parte	93.17
Variación total	100

Tabla 5. 9 Repetibilidad vs Reproducibilidad Altura.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de altura			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0016569	>	0.0002297
B	0.001865	<	0.0020475
Promedio de equipos	0.000895	>	0.0008944

Conclusión

En los resultados analizados la variación es debida a la botella de Coca-Cola 2.5 litros, lo que significa que el equipo de medición esta en muy buenas condiciones y los inspectores de calidad están trabajando con un método similar o estándar. La Repetibilidad vs Reproducibilidad se analiza dejando a un lado la variación por partes cabe mencionar que cuando estas dos tienden a cero existe un buen sistema de medición, sin embargo si se puede mejorar el sistema de medición puede ser en la variación del equipo ya que la Repetibilidad es mayor que la Reproducibilidad en dos de tres ocasiones (equipo A y promedio de equipos).

El contar con un equipo de medición calibrado y un buen método de trabajo arroja resultados satisfactorios para el cliente así como para la empresa cumpliendo con el objetivo deseado reducir la variabilidad sus procesos.

En conclusión la variación en esta prueba esta dentro de lo normal, cumpliendo con las especificaciones de la empresa así como excelentes resultados y satisfacción al cliente.

Existe un método de trabajo estándar entre los 4 inspectores de calidad lo que se ve reflejado en excelentes resultados.

5.6 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento de Hombro Superior

En la **tabla 5.10** los resultados generales arrojan que el sistema de medición es el que está provocando la mayor variación, también existe interacción entre la botella y los operadores lo que significa que hay dificultad para medir esta parte de la botella.

En las **tablas 5.11, 5.12 y 5.13** se desglosan los resultados y porcentajes de cada una de las fuentes de variación donde la Reproducibilidad presenta resultados muy altos comparados con los otros componentes de variación.

En la **tabla 5.14** se presentan los resultados de Repetibilidad vs Reproducibilidad, donde la Reproducibilidad es mayor en los tres casos, lo que significa que el inspector de calidad requiera de un entrenamiento para usar el instrumento de medición o estandarizar el método de trabajo entre los cuatro inspectores de calidad. En esta tabla se excluye la variación por partes sin embargo en esta prueba es insignificante.

Tabla 5. 10. Resultados Generales de la Prueba Dimensión del Hombro Superior.
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
HOMBRO SUPERIOR	A	0.0 con interacción	R&R=97.97 Parte a Parte=2.03	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo)	Operadores tienen métodos diferentes	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	B	0.0 con interacción	R&R= 100 Parte a Parte= 0	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo)	Operadores tienen métodos diferentes	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	Promedio	0.0 con interacción	R&R=66.33 Parte a Parte=33.67	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo)	Equipos tienen métodos diferentes	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	significante

Tabla 5. 11. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Equipo A).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro superior	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	1.23
Reproducibilidad	96.75
Operadores	82.95
Op.*No de bot	13.79
Parte a parte	2.03
Variación total	100

Tabla 5. 12. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Equipo B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro superior	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	6.53
Reproducibilidad	93.47
Operadores	60.67
Op.*No de bot	32.8
Parte a parte	0
Variación total	100

Tabla 5. 13. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Superior, Promedio Equipo A y B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro superior	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	15.79
Reproducibilidad	50.54
Operadores	8.33
Op.*No de bot	42.21
Parte a parte	33.67
Variación total	100

Tabla 5. 14. Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Hombro Superior.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Dimensión Hombro Superior			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0002258	<	0.0177848
B	0.0020139	<	0.0288378
Promedio de equipos	0.0006539	<	0.0020938

Conclusión:

En esta prueba los inspectores de calidad manifestaron tener diferentes métodos de medición lo que se ve reflejado en la Reproducibilidad, la botella que se utilizó para llevar a cabo esta prueba es la de Splash 600 ml (botella de fanta), es una de las presentaciones con mayor variación en la mayoría de sus partes por el diseño de fabricación.

El objetivo en esta presentación es reducir al máximo su variación a pesar de su diseño y otras variables que pudieran existir, es importante estandarizar el método de medición, al realizar las observaciones correspondientes los inspectores utilizan de manera muy diferente el instrumento de medición llamado micrómetro.

La capacitación es de vital importancia en todo sistema de medición por los beneficios que proporciona, uno de ellos es el entrenamiento y uso del instrumento de medición así como mejorar los métodos de trabajo existentes.

5.7 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Hombro Inferior

La **tabla 5.15** se presenta los resultados generales de esta prueba donde la variación se debe al sistema de medición, dos de tres se debe a los operadores (Reproducibilidad), como se menciona anteriormente esta presentación presenta dificultad por su diseño de fabricación, una de las propuestas para reducir la variación al máximo es estandarizar el método de trabajo actual.

Las **tablas 5.16, 5.17 y 5.18** se pueden ver los porcentajes de variación desglosados, en esta prueba existe variación por las tres fuentes que son la botella, los inspectores y el instrumento de medición. Sin embargo la Reproducibilidad se hace manifiesta en gran manera, es necesario la mayoría de veces poner mucha atención en la Reproducibilidad y tratar de que esta sea mínima, de no ser así significa que los inspectores de calidad realizan su trabajo o sus pruebas de calidad como a ellos les parezca mejor.

Tabla 5.19 se presentan los resultados de Repetibilidad vs Reproducibilidad donde la Reproducibilidad es mayor en dos de tres ocasiones, en el equipo y en el B, la Repetibilidad se hace presente y es mayor en promedios de equipos (A y B).

Tabla 5. 15. Resultados Generales de la Prueba Dimensión del Hombro Inferior.
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
HOMBRO INFERIOR	A	0.052 Con interacción	R&R=86.46 Parte a Parte=13.54	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	Variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	B	0.28 sin interacción	R&R=92.21 Parte a Parte=7.79 La	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Operadores tienen métodos de medición diferentes	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	Promedio	0.130 Con interacción	R&R=72.64 Parte a Parte=27.36	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida al instrumento de medición	Equipos de trabajo tienen métodos de medición diferentes	Repetibilidad alta	variabilidad alta	Diferencia notable	significante

Tabla 5. 16. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Equipo A).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro inferior	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	21.38
Reproducibilidad	65.09
Operadores	50.4
Op.*No de bot	14.68
Parte a parte	13.54
Variación total	100

Tabla 5. 17 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Equipo B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro inferior	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	29.41
Reproducibilidad	62.8
Operadores	36.74
Op.*No de bot	26.06
Parte a parte	7.79
Variación total	100

Tabla 5. 18 Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Hombro Inferior, Promedio Equipo A y B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Hombro inferior	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	36.67
Reproducibilidad	35.97
Operadores	21.24
Op.*No de bot	14.74
Parte a parte	27.36
Variación total	100

Tabla 5. 19. Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Hombro Inferior.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión Hombro inferior			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0000687	<	0.000209
B	0.0003563	<	0.000761
Promedio de equipos	0.0001292	>	0.0001267

Conclusión:

Se presenta de nuevo la Reproducibilidad en ambos equipos los que significa tomar medidas correctivas para mejorar el sistema de medición actual, principalmente en los cuatro inspectores de calidad , se sabe que la variación en todo proceso es inevitable pero se debe trabajar y reducirla al máximo , buscando los mejores métodos de trabajo.

La mayoría de las veces se presenta demasiada variación en esta botella como se ha venido mencionando es debido diseño, eso puede ser un pretexto y un obstáculo para reducir dicha variación, es necesario hacer conciencia en el personal que se dedica a hacer tales mediciones, que entre más pequeña sea la Repetibilidad y la Reproducibilidad los productos que se ofrecen al cliente serán de calidad.

Estandarizar el método de trabajo es de vital importancia en esta prueba como se puede ver en los resultados obtenidos el equipo A mide muy diferente al equipo B, cuando esto sucede la Reproducibilidad siempre será mayor que la Repetibilidad.

5.8 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Panel

En la **tabla 5.20** se presentan los resultados generales donde la Repetibilidad y la variación por partes son las que tienen mayor porcentaje, en esta prueba la mayoría de veces existe poca variación debido a que esta parte de la botella es una de las más sencillas para dimensionarla, es la parte lisa donde se pega la etiqueta de las diferentes presentaciones.

El panel muchas veces presenta variación entre botellas debido a que es la parte central y es muy suave, con la experiencia del inspector esta prueba no requiere apretar mucho el micrómetro, como en todas pero en especial en esta prueba.

Estos resultados la mayoría de veces tiende a ser exactos como también precisos que es el objetivo de todo sistema de medición. En la **tabla 5.21, 5.22 y 5.23** se puede ver los porcentajes de cada una de las fuentes, en el equipo A como en el promedio de ambos equipos la mayoría de la variación se encuentra en la Repetibilidad y en la variación por partes, el equipo B presenta variación en la Reproducibilidad dando un alto porcentaje de interacción entre la botella y los inspectores de calidad, esto significa que existe alguna dificultad entre la botella y los inspectores de este equipo.

En la **tabla 5.24** se compara la Repetibilidad vs Reproducibilidad donde dos de tres veces la Repetibilidad es mayor que la Reproducibilidad lo que significa que el equipo de medición es el que está presentando variación, poner atención en la calibración en el cambio de usillo es muy importante para reducir la variación en el instrumento de medición.

Tabla 5. 20. Resultados Generales de la Prueba Dimensión Panel.
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Gráfico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
DIMENSIÓN PANEL	A	0.362 Sin interacción	R&R=41.44 Parte a Parte=58.56	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido a la diferencia de parte a parte	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	B	0.00 con interacción	R&R=92.39 Parte a Parte=7.61 La	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	variabilidad alta	Diferencia media	significante
	Promedio	0.194 con interacción	R&R=34.02 Parte a Parte=65.98	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido a la diferencia de parte a parte	Equipos (A y B) cuentan con precisión	Repetibilidad alta	variabilidad alta	Diferencia notable	significante

Tabla 5. 21. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Equipo A)
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión panel	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	35.76
Reproducibilidad	5.68
Operadores	5.68
Op.*No de bot	0
Parte a parte	58.56
Variación total	100

Tabla 5. 22. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Equipo B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión panel	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	16.66
Reproducibilidad	75.73
Operadores	22.62
Op.*No de bot	53.11
Parte a parte	7.61
Variación total	100

Tabla 5. 23. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Panel, Promedio Equipo A y B)
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Dimensión panel	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	24.56
Reproducibilidad	9.46
Operadores	2.57
Op.*No de bot	6.89
Parte a parte	65.98
Variación total	100

Tabla 5. 24. Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Panel.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión Panel			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0022197	>	0.0003526
B	0.0008523	<	0.0038739
Promedio de equipos (A y B)	0.0008869	>	0.0003417

Conclusión:

Como se menciona anteriormente que la parte del panel como el talón son las que presentan menor variación en todas las presentaciones de las botellas, es muy fácil cumplir con lo requerido por el cliente, se debe tener cuidado al cambiar usillos y al calibrar en pulgadas de no hacerlo muchas veces existe mucha variación debido al instrumento de medición.

En esta prueba la variación se debe al equipo es por cambiar el usillo y hacer las mediciones rápidas, ya sea por la presión del tiempo o por hacer otras tareas que implica el turno de cada inspector de calidad. Es necesario hacer conciencia que contar con un buen método de trabajo y un instrumento de medición calibrado, esto trae como beneficio un excelente sistema de medición que se ve reflejado en el producto final y la satisfacción de ambas partes como son el cliente y los inspectores de calidad al saber que realizan un trabajo de calidad.

5.9 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento de la cintura

En la **tabla 5.25** los resultados generales de esta prueba indican que la variación que existe es proveniente de la Repetibilidad y la Reproducibilidad la variación por partes y la interacción entre botellas y operadores es insignificante. En el gráfico de rangos existe muchos puntos fuera de control que demuestra mucha variabilidad así como en el gráfico de medias los puntos se encuentran dentro de los límites de control significa que el instrumento cuenta con poca exactitud.

En las **tablas 5.26, 5.27 y 5.28** se muestran los porcentajes de variación de las diferentes fuentes, donde se puede observar que los porcentajes se le atribuye al los operadores y al equipo de medición, la variación por partes y la interacción entre botellas y operadores tiende a cero lo que significa que se debe poner mucha atención en los operadores y en la calibración o uso del instrumento.

En la **tabla 5.29** en el equipo A Y B la Repetibilidad es más grande comparada con la Reproducibilidad, mientras que en el promedio de equipos A y B la Reproducibilidad es muy grande comparada con la repetibilidad.

Tabla 5. 25. Resultados Generales de la Prueba Dimensión Cintura.
(Fuente Información Propia de la Empresa)

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
DIMENSIÓN CINTURA	A	0.528 Sin interacción	R&R=92.63 Parte a Parte=7.37 La	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida al instrumento de medición	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	variabilidad alta	Diferencia media	Insignificante
	B	0.458 sin interacción	R&R=100 Parte a	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida al instrumento de medición	Operadores tienen métodos diferentes	Repetibilidad Alta	variabilidad alta	Diferencia notable	Insignificante
	Promedio	0.305 sin interacción	R&R=100 Parte a Parte=0 La	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Equipos tienen métodos diferentes	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	Insignificante

Tabla 5. 26. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Equipo A).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión cintura	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	65.39
Reproducibilidad	27.24
Operadores	27.24
Op.*No de bot	0
Parte a parte	7.37
Variación total	100

Tabla 5. 27. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Equipo B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Dimensión cintura	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	55.09
Reproducibilidad	44.91
Operadores	44.91
Op.*No de bot	0
Parte a parte	0
Variación total	100

Tabla 5. 28. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Cintura, Promedio Equipo A y B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Dimensión cintura	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	11.38
Reproducibilidad	88.62
Operadores	88.62
Op.*No de bot	0
Parte a parte	0
Variación total	100

Tabla 5. 29. Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Cintura.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión Cintura			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0048471	>	0.0020189
B	0.055762	>	0.045464
Promedio de equipos	0.016511	<	0.128562

Conclusión:

El dimensionar la cintura implica sujetar de una manera correcta la botella de no hacerlo así existe demasiada variación, es necesario capacitar a los inspectores de calidad en la sujeción o localización de la pieza, cuando la Repetibilidad es mayor que la Reproducibilidad significa que hay mucha variación de la pieza, a pesar que el método del ANOVA distingue la variación entre partes en este caso no arroja resultados de estos, sin embargo en la practica se puede ver muy claramente que el diseño de la botella es muy complicado en las partes que son hombro superior, hombro inferior, cintura y claro de base.

La prioridad en las partes de la botella que se dificultan es estandarizar el método de trabajo y calibrar el instrumento de medición, al revisar datos históricos de esta presentación se cumple con los requerimientos del cliente sin embargo eso no quiere decir que no exista variación.

5.10 Análisis de la Prueba de Dimensionamiento del Talón

En la **tabla 5.30** la variación existente proviene del sistema de medición actual (instrumento de medición y operadores) sin embargo la variación de la botella se ve reflejada en esta prueba. El talón es una de las partes muy fácil de dimensionarla donde los inspectores cumplen con los requerimientos fácilmente.

El equipo B en esta prueba tiene mucha precisión y exactitud comparada con el equipo A, cuando se presentan estos dos componentes la interacción entre operadores y la botella tiende a ser cero o aproximarse a cero, de lo contrario la interacción es grande, y esto explica que hay dificultad para realizar dicha medición.

En las **tablas 5.31, 5.32 y 5.33** se pueden observar los porcentajes de las diferentes fuentes de variación, en el equipo A la Reproducibilidad es muy alta en los operadores y con interacción, existe diferencias entre métodos de trabajo, mientras que el equipo B en Reproducibilidad es cero la variación existente se debe a la Repetibilidad y no existe interacción, en promedios de equipo (A y B) la variación esta compartida en las tres fuentes de variación que proporciona el método ANOVA sin embargo el porcentaje más alto es de Repetibilidad.

Tabla 5.34 presentan resultados de Repetibilidad vs Reproducibilidad, donde la Repetibilidad es mayor que la Reproducibilidad en el caso del equipo B y promedios de equipos (A y B), es importante hacer hincapié en cuidar la calibración del instrumento y el método de trabajo a utilizar.

Tabla 5. 30. Resultados Generales de la Prueba Dimensión Talón.
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
DIMENSIÓN TALÓN	A	0.100 Con interacción	R&R=90.44 Parte a Parte=9.56 La	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación a los operadores	Operadores tienen métodos diferentes	Repetibilidad Alta	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	B	1.00 sin interacción	R&R=52.00 Parte a Parte=47.14	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a la diferencias de partes	Operadores cuentan con métodos iguales	Repetibilidad baja	variabilidad alta	Diferencia notable	significante
	Promedio	0.130 Con interacción	R&R=72.64 Parte a Parte=27.36	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida al equipo	Equipos tienen métodos diferentes	Repetibilidad alta	variabilidad alta	Diferencia notable	insignificante

Tabla 5. 31. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Equipo A).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión talón	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	12.31
Reproducibilidad	78.13
Operadores	72.18
Op.*No de bot	5.95
Parte a parte	9.56
Variación total	100

Tabla 5. 32. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Equipo B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión talón	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	52.86
Reproducibilidad	0
Operadores	0
Op.*No de bot	0
Parte a parte	47.14
Variación total	100

Tabla 5. 33. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Talón, Promedio Equipo A y B).
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión talón	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	45.32
Reproducibilidad	23.42
Operadores	23.42
Op.*No de bot	0
Parte a parte	31.26
Variación total	100

Tabla 5. 34. Repetibilidad vs Reproducibilidad Dimensión Talón.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Dimensión Talón			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.001755	<	0.0111375
B	0.0030593	>	0
Promedio de equipos	0.0024683	>	0.0012758

Conclusión:

Esta prueba es una de las más confiables o en la que existe poca variación de igual manera con la parte del panel, que son las partes que no tienen figuras ni logotipos son totalmente lisas. Por lo que se puede ver que tanto la Repetibilidad como la Reproducibilidad tienden a cero.

Capacitar al inspector de calidad en uso y manejo del micrómetro significa bajar el nivel de Repetibilidad no solo en esta prueba si no en todas las presentaciones.

La clave en el uso del micrómetro es no apretar demasiado ni dejar demasiado libre el paso de la botella debe ser en un termino medio, una de las sugerencias es ver que inspector mide con mayor precisión y exactitud, e imitar su método de trabajo y que este capacite a los demás inspectores (capacitación interna).

5.11 Análisis de la Prueba medición de claro de base

En la **tabla 5.35** se encuentran los resultados generales de la prueba de claro de base la función de esta prueba es medir la distancia de la base al punto de inyección.

En esta prueba es una de las que presenta mayor variación, debida a que el centro de la base de la botella se debe poner en medio de un dispositivo que mide el espesor de la base, en el equipo B la Reproducibilidad es la que aporta mayor variación, equipo A y el promedio de los equipos (A y B) la Repetibilidad es la que aporta mayor variación, también existe interacción lo que significa que existe dificultad entre inspectores y las botellas.

En las **tablas 5.36, 5.37 y 5.38** se presentan los porcentajes de cada fuente de variación, en el equipo A la Repetibilidad aporta un 84.14% de variación mientras que en el equipo B es la Reproducibilidad que arroja un resultado de 70.19 % y en promedio de los equipos (A y B) es la Reproducibilidad 52.52% estos resultados explican la **tabla 5.39** donde se compara la Repetibilidad vs Reproducibilidad.

Tabla 5. 35. Resultados Generales de la Prueba Claro de Base.
(Fuente: Información Propia de la Empresa).

Nombre de la prueba	Equipo	Valor de P	% de contribución Total de Gage R&R vs Parte a parte	Num. De categorías distintas	Componentes de variación	Gráfico de Rangos	Grafico (X barra)	Mediciones por No. De botella	Mediciones por operadores	Interacción operadores* No. De botella
CLARO DE BASE	A	0.462 Sin interacción	R&R=94.66 Parte a Parte=5.37	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida al equipo de medición	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	Variabilidad Media	Diferencia Notable	Insignificante
	B	0.00 con interacción	R&R=95.19 Parte a Parte=4.81	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Operadores cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	Variabilidad Alta	Diferencia Media	Significante
	Promedio	0.014 con interacción	R&R=100 Parte a Parte=0	1 Sistema de medición muy pobre	La variación es debido sistema de medición (operadores y equipo) mayor variación debida a los operadores	Equipos de medición (A y B) cuentan con precisión	Repetibilidad Alta	Variabilidad Alta	Diferencia Notable	Significante

Tabla 5. 36. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Equipo A).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de claro de base	
Equipo A	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	84.14
Reproducibilidad	10.49
Operadores	10.49
Op.*No de bot	0
Parte a parte	5.37
Variación total	100

Tabla 5. 37. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Equipo B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de claro de base	
Equipo B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	25.1
Reproducibilidad	70.09
Operadores	6.73
Op.*No de bot	63.36
Parte a parte	4.81
Variación total	100

Tabla 5. 38. Porcentaje de Contribución de las Diferentes Fuentes de Variación (Claro de Base, Promedio Equipo A y B).

(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de claro de base	
Promedio de equipo A y B	
Fuente de variación	% de contribución
Repetibilidad	47.48
Reproducibilidad	52.52
Operadores	0
Op.*No de bot	52.52
Parte a parte	0
Variación total	100

Tabla 5. 39. Repetibilidad vs Reproducibilidad Medición Claro de Base.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab).

Medición de claro de base			
Equipo	Repetibilidad	< ó >	Reproducibilidad
A	0.0506228	>	0.0063134
B	0.023855	<	0.06662
Promedio de equipos	0.0184525	<	0.02041

Conclusión:

Esta prueba presenta mucha variación entre dato y dato se puede observar en el gráfico de rangos, los inspectores de calidad necesitan entrenamiento en el uso del instrumento de medición, tal vez sea necesario un dispositivo de fijación para el calibrador donde el inspector pueda utilizarlo con facilidad.

Para medir el claro de base la botella tiene que estar bien centrada en el medidor de claro de base de no ser así es donde la variación aumenta de una manera significativa, por lo que es necesario que se reduzca la variación estandarizando el método de trabajo.

Al llevar a cabo esta prueba en las diferentes presentaciones de 600 ml los inspectores de calidad pueden ver en la parte de arriba de la botella si esta centrada o no en el medidor, pero para las presentaciones de 2000 ml y 2500 no se puede hacer esto, es ahí donde se puede ver la necesidad de estandarizar el método de trabajo.

6. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

6.1 Conclusiones

Se puede observar en los resultados obtenidos el equipo A está midiendo con mayor exactitud que el equipo B, en promedio ambos equipos están cumpliendo respecto a las especificaciones de la empresa, sin embargo cabe mencionar que se puede mejorar el sistema de medición actual ya que existe precisión pero no exactitud. En la **tabla 6.1** se hace una comparación de la variación de la botella (variación por parte) vs sistema de medición, aclarando que son 7 mediciones.

Tabla 6. 1. Comparación de Variación por Partes vs Sistema de Medición.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Equipo	Variación por parte	Sistema de medición
A	2	5
B	1	6
Promedio de equipos	3	4

La mayor parte de la variación depende del sistema de medición (inspectores de calidad e instrumento de medición) ahora se necesita saber si los operadores están midiendo con un método diferente o si el instrumento de medición está mal calibrado o puede necesitar ser rediseñado, a continuación en la **tabla 6.2**. Se puede observar la comparación de Repetibilidad y Reproducibilidad.

Tabla 6. 2. Comparación de Repetibilidad vs Reproducibilidad.
(Fuente: Hoja de Cálculo Minitab)

Equipo	Repetibilidad	Reproducibilidad
A	4	3
B	2	5
Promedio de equipos	4	3

6.2 Sugerencias

Al analizar los datos se puede observar que la mayor parte de la variación depende del sistema de medición y de reproducibilidad, esto significa que los operarios pueden estar utilizando métodos diferentes de trabajo. En el manual de Seis Sigma que se maneja en esta empresa, establece darle prioridad a la reproducibilidad, de no hacerlo es como lanzar una moneda al aire.

Al realizar las mediciones, los inspectores mencionaron que la botella de splash 600 ml (botella de fanta, ver anexo c) es muy difícil medirla por el diseño de fabricación y eso dificulta que las mediciones sean exactas a comparación de la prueba de altura en las botellas de Coca-Cola 2500 ml retornable donde se presenta menor variación.

En la botella de Splash 600 ml, lo prioritario sería estandarizar el método entre los cuatro inspectores de calidad con capacitación. Otra observación y una mejora que se podría llevar a cabo en pruebas de R&R es que los operadores deben saber la importancia de un sistema de medición que toda empresas necesita para ser competente a nivel mundial lo que significa dedicarle tiempo y esmero.

Fuentes de Información

1. Escalante Vázquez, Edgardo J. (2001). *Análisis y Mejoramiento de la Calidad*. Primera edición. México: Limusa.
2. Escalante Vázquez, Edgardo J. (2003). *Seis Sigma, Metodología y técnicas*. Primera edición. México: Limusa.
3. Goldsby, Thomas., y Martichenko, Robert. (2005). *Lean Six Sigma Logistic*. EUA: J. Ross.
4. Gómez Fraile, Fermín., Vilar Barrio, José Francisco. y Tejero Monzón Miguel. (2003). *6 σ Seis Sigma*. Segunda edición. México: Fundación Confemental.
5. Gutiérrez Garza, Gustavo. (2002). *Aterrizando Seis Sigma del concepto a la práctica*. Primera edición. México: Castillo.
6. Gutiérrez Pulido, Humberto. (1997). *Calidad Total y Productividad*. México: Mc. Graw Hill.
7. Gutiérrez Pulido, Humberto. y De la Vara Salazar Roman. (2004). *Control estadístico de la calidad y Seis Sigma*. México: Mc Graw Hill.
8. Guadalupe Echeverría, Víctor Rodrigo. (2008). *Diseño de una Metodología a través de Indicadores Metrológicos que Asegure los Sistemas de Medición en las Industrias Productoras de Artículos Plásticos, para Mejorar la Calidad de sus Productos*. [En línea]. Guayaquil-Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral. Disponible en: <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6126/3/TESIS.pdf>. [2009, 3 de Septiembre].
9. Minitab (2009). *Guía para un estudio de R&R Minitab 15*. [En línea]. Disponible en <http://www.minitab.com>. [2009, 20 de Septiembre].
10. Miranda Rivero, Luis Néstor. (2006). *Seis Sigma guía para principiantes*. México: Panorama.
11. Morales Macedo Jorge Antonio. (2007). *Aplicación de la Metodología Seis Sigma, en la Mejora del Desempeño en el Consumo de Combustible de un Vehículo en las Condiciones de Uso del Mismo*. [En línea]. Santa fe ciudad de México: Universidad Iberoamericana. Disponible en: http://www.bib.uia.mx/tesis/pdf/014873/014873_00.pdf. [2009, 10 de Octubre]

12. Stagliano, Augustine A. (2005). *Herramientas Avanzadas de Six Sigma*. (Trad. Jolly, Juan Carlos). Primera edición. México: Panorama. (Original en inglés, 2004).
13. Tennant, Geoff. (2002). *Six Sigma, control estadístico del proceso y administración total de la calidad en la manufactura*. (Trad. Jolly, Juan Carlos.) Primera edición. México: Panorama. (Original en ingles, 2001).
14. Wang, Jiahong. (2004). *assessing measurement system acceptability for process control and analysis using gage R&R study*. [En línea]. EUA: Universidad del estado de Wisconsin. Disponible en: <http://www.uwstout.edu/lib/thesis/2004/2004wangj.pdf>. [2009, 15 de Octubre]
15. Walker H, Fred. (2009). *The certified Quality Inspector handbook*. EUA: ASQ.

Anexo A

Hoja de Resultados y Gráficos de las Pruebas de R&R MEDICIÓN DE ALTURA

Equipo A

Partes: 10 Operadores: 2
Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición: Medición de altura CC 2.5 Lt
Fecha del estudio: 30/Octubre/2009
Notificado por: Valentín Gómez Jiménez
Tolerancia:
Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	2.26866	0.252073	268.480	0.000
Operadores	1	0.00625	0.006250	6.657	0.030
No. de botel * Operadores	9	0.00845	0.000939	0.474	0.875
Repetibilidad	20	0.03960	0.001980		
Total	39	2.32296			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	2.26866	0.252073	152.136	0.000
Operadores	1	0.00625	0.006250	3.772	0.062
Repetibilidad	29	0.04805	0.001657		
Total	39	2.32296			

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0018866	2.93
Repetibilidad	0.0016569	2.57
Reproducibilidad	0.0002297	0.36
Operadores	0.0002297	0.36
Parte a parte	0.0626041	97.07

Variación total 0.0644907 100.00

Desv.Est.

Fuente	(DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.043434	0.26061
Repetibilidad	0.040705	0.24423
Reproducibilidad	0.015154	0.09093
Operadores	0.015154	0.09093
Parte a parte	0.250208	1.50125
Variación total	0.253950	1.52370

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	17.10
Repetibilidad	16.03
Reproducibilidad	5.97
Operadores	5.97
Parte a parte	98.53
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 8

R&R del sistema de medición para Mediciones

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Mediciones

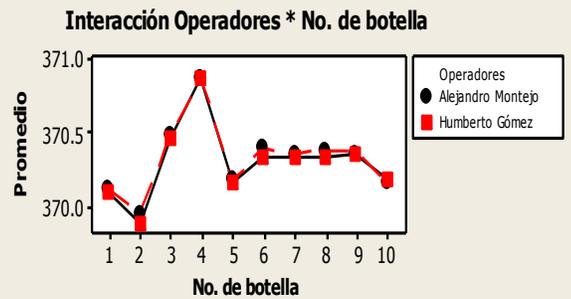
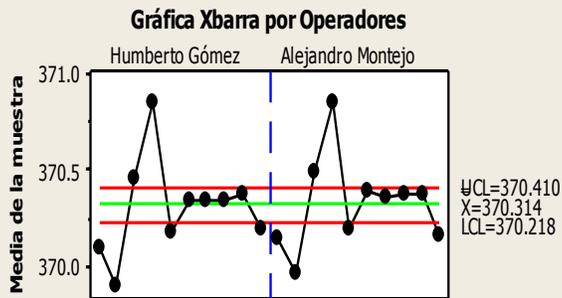
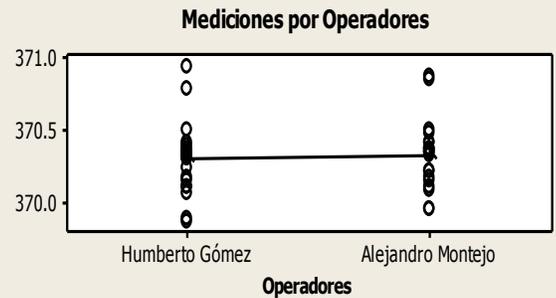
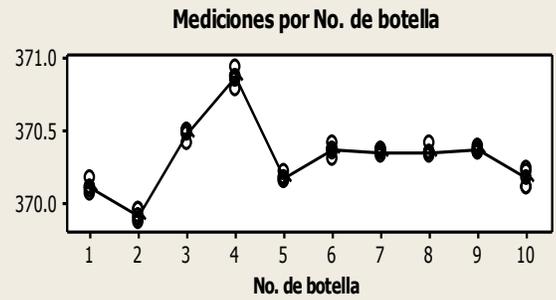
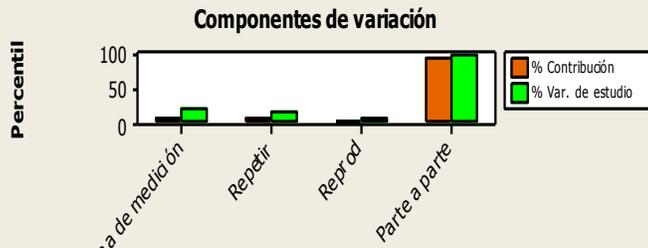
Notificado por: Valentín Gómez Jimenéz

Nombre del sistema de medición: Medición de altura CC 2.5 Lt

Tolerancia:

Fecha del estudio: 30/Octubre/2009

Misc:



Equipo B

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Mediciones

Nombre del sistema de medición: Medición de altura CC 2.5 Lt
 Fecha del estudio: 30/Octubre/2009
 Notificado por: Valentín Gómez Jiménez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	1.97326	0.219251	38.9972	0.000
Operadores	1	0.00900	0.009000	1.6008	0.238
No. de botel * Operadores	9	0.05060	0.005622	3.0146	0.019
Repetibilidad	20	0.03730	0.001865		
Total	39	2.07016			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0039125	6.83
Repetibilidad	0.0018650	3.25
Reproducibilidad	0.0020475	3.57
Operadores	0.0001689	0.29
Operadores*No. de botel	0.0018786	3.28
Parte a parte	0.0534072	93.17
Variación total	0.0573197	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.062550	0.37530
Repetibilidad	0.043186	0.25911
Reproducibilidad	0.045249	0.27150
Operadores	0.012996	0.07797
Operadores*No. de botel	0.043343	0.26006
Parte a parte	0.231100	1.38660
Variación total	0.239415	1.43649

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	26.13
Repetibilidad	18.04
Reproducibilidad	18.90
Operadores	5.43
Operadores*No. de botel	18.10
Parte a parte	96.53
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 5

R&R del sistema de medición para Mediciones

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Mediciones

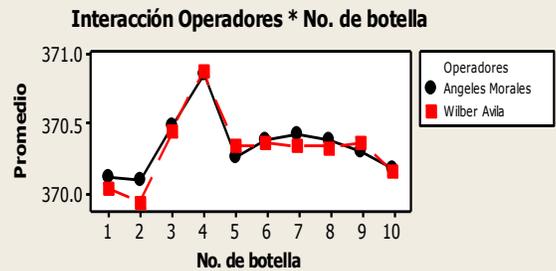
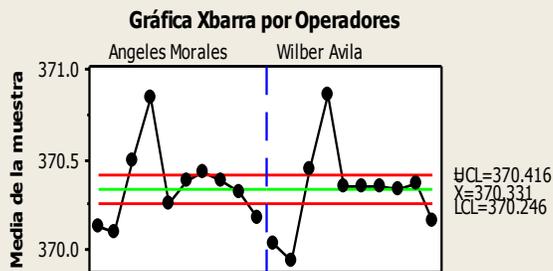
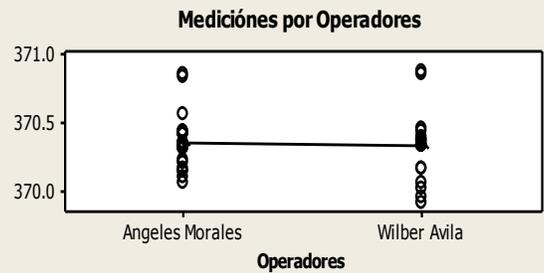
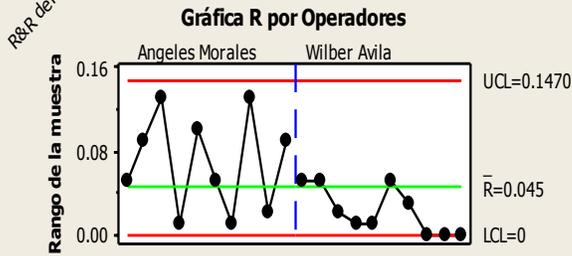
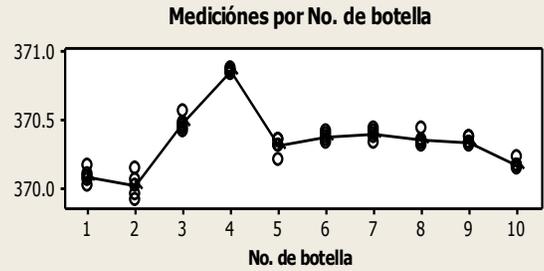
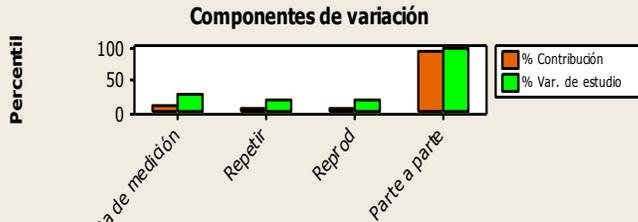
Notificado por: Valentín Gómez Jimenéz

Nombre del sistema de medición: Medición de altura CC 2.5 Lt

Tolerancia:

Fecha del estudio: 30/Octubre/2009

Misc:



PROMEDIOS DE EQUIPO A Y B.

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Nombre del sistema de medición: Medición de altura
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	2.09701	0.233001	87.5671	0.000
Operadores	1	0.00289	0.002890	1.0861	0.325
No. De botel * Operadores	9	0.02395	0.002661	2.9730	0.020
Repetibilidad	20	0.01790	0.000895		
Total	39	2.14175			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0017894	3.01
Repetibilidad	0.0008950	1.51
Reproducibilidad	0.0008944	1.51
Operadores	0.0000115	0.02
Operadores*No. De botel	0.0008829	1.49
Parte a parte	0.0575851	96.99
Variación total	0.0593745	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.042301	0.25381
Repetibilidad	0.029917	0.17950
Reproducibilidad	0.029906	0.17944
Operadores	0.003385	0.02031
Operadores*No. De botel	0.029714	0.17828
Parte a parte	0.239969	1.43981
Variación total	0.243669	1.46201

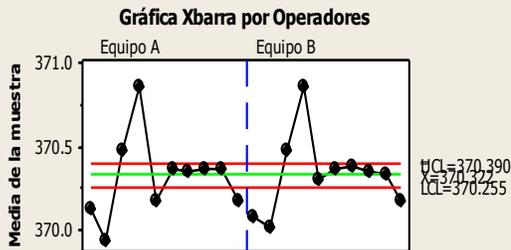
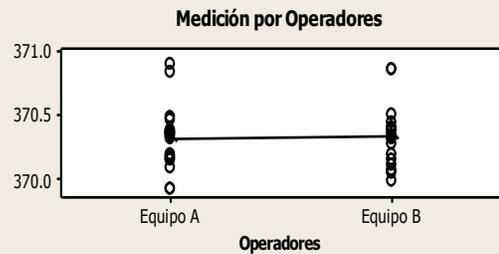
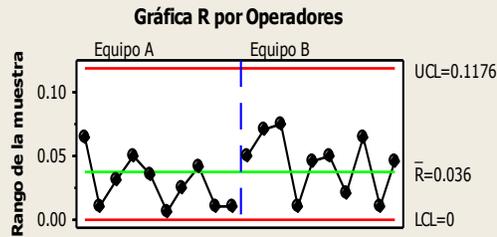
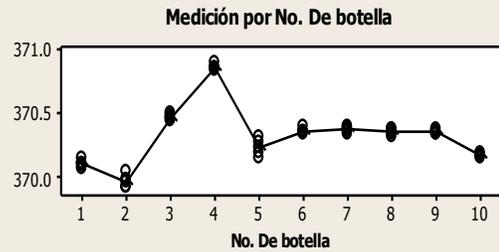
Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	17.36
Repetibilidad	12.28
Reproducibilidad	12.27
Operadores	1.39
Operadores*No. De botel	12.19
Parte a parte	98.48
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 7

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

Nombre del sistema de medición: Medición de altura
 Fecha del estudio:

Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:



DIMENSIÓN HOMBRO SUPERIOR

Equipo A

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Hombro superior
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez Jiménez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.061076	0.006786	1.2813	0.359
Operadores	1	0.310288	0.310288	58.5873	0.000
No. de botel * Operadores	9	0.047666	0.005296	23.4525	0.000
Repetibilidad	20	0.004517	0.000226		
Total	39	0.423546			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

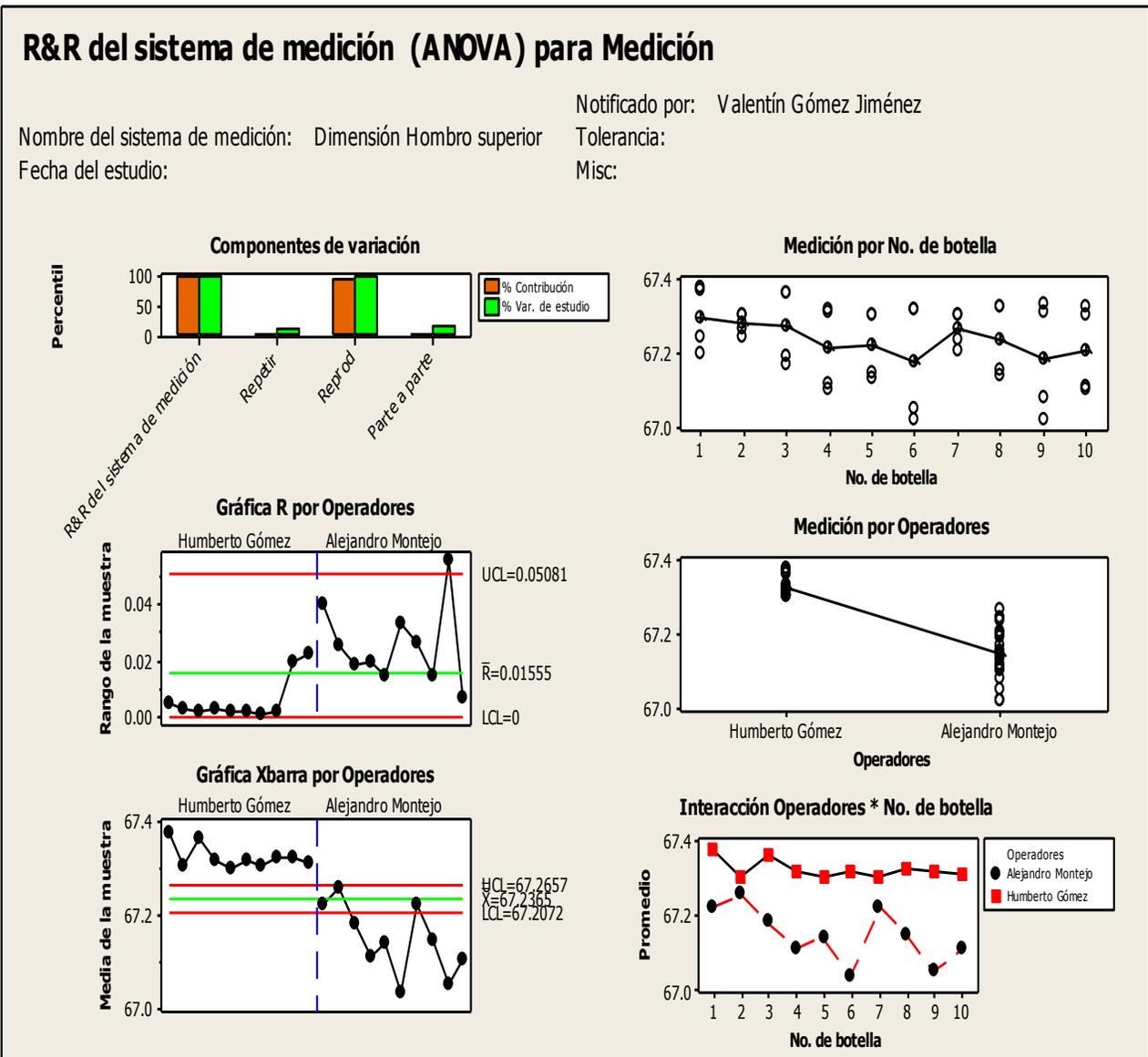
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0180106	97.97
Repetibilidad	0.0002258	1.23
Reproducibilidad	0.0177848	96.75
Operadores	0.0152496	82.95
Operadores*No. de botel	0.0025352	13.79
Parte a parte	0.0003725	2.03
Variación total	0.0183831	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.134204	0.805221
Repetibilidad	0.015027	0.090165
Reproducibilidad	0.133360	0.800157
Operadores	0.123489	0.740936
Operadores*No. de botel	0.050350	0.302103
Parte a parte	0.019300	0.115802
Variación total	0.135584	0.813506

Fuente %Var. de estudio (%SV)

R&R del sistema de medición total	98.98
Repetibilidad	11.08
Reproducibilidad	98.36
Operadores	91.08
Operadores*No. de botel	37.14
Parte a parte	14.23
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Equipo B

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Hombro superior
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez Jiménez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.188803	0.020978	0.9427	0.534
Operadores	1	0.396607	0.396607	17.8217	0.002
No. de botel * Operadores	9	0.200288	0.022254	11.0504	0.000
Repetibilidad	20	0.040278	0.002014		
Total	39	0.825975			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0308517	100.00
Repetibilidad	0.0020139	6.53
Reproducibilidad	0.0288378	93.47
Operadores	0.0187177	60.67
Operadores*No. de botel	0.0101201	32.80
Parte a parte	0.0000000	0.00
Variación total	0.0308517	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.175646	1.05388
Repetibilidad	0.044876	0.26926
Reproducibilidad	0.169817	1.01890
Operadores	0.136812	0.82087
Operadores*No. de botel	0.100599	0.60359
Parte a parte	0.000000	0.00000
Variación total	0.175646	1.05388

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	100.00
Repetibilidad	25.55

Reproducibilidad	96.68
Operadores	77.89
Operadores*No. de botel	57.27
Parte a parte	0.00
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

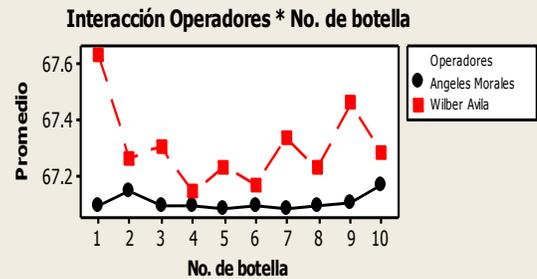
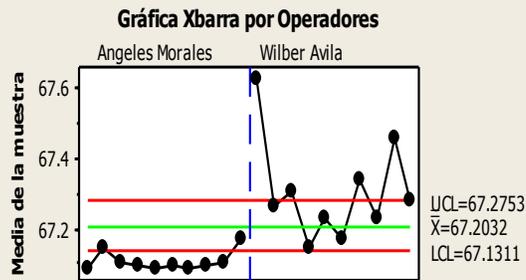
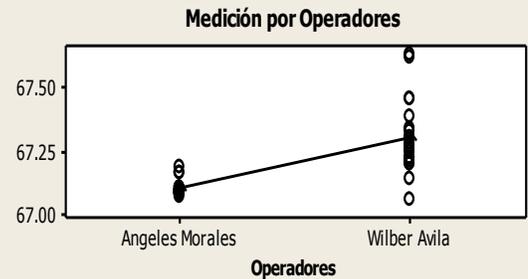
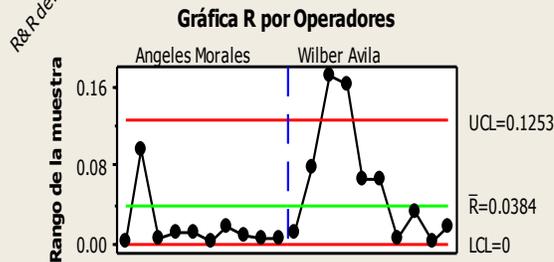
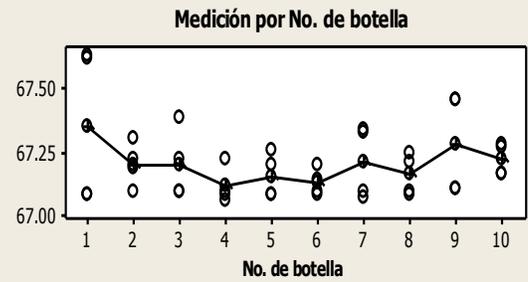
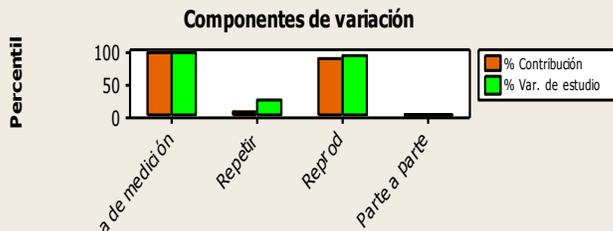
Notificado por: Valentín Gómez Jiménez

Nombre del sistema de medición: Dimensión Hombro superior

Tolerancia:

Fecha del estudio:

Misc:



Promedio de equipo A y B

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Hombro superior
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez Jiménez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.087580	0.0097311	2.34430	0.110
Operadores	1	0.011056	0.0110556	2.66337	0.137
No. de botel * Operadores	9	0.037359	0.0041510	6.34768	0.000
Repetibilidad	20	0.013079	0.0006539		
Total	39	0.149074			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0027477	66.33
Repetibilidad	0.0006539	15.79
Reproducibilidad	0.0020938	50.54
Operadores	0.0003452	8.33
Operadores*No. de botel	0.0017485	42.21
Parte a parte	0.0013950	33.67
Variación total	0.0041427	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0524184	0.314511
Repetibilidad	0.0255722	0.153433
Reproducibilidad	0.0457576	0.274545
Operadores	0.0185804	0.111483
Operadores*No. de botel	0.0418154	0.250892
Parte a parte	0.0373502	0.224101
Variación total	0.0643641	0.386184

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	81.44

Repetibilidad	39.73
Reproducibilidad	71.09
Operadores	28.87
Operadores*No. de botel	64.97
Parte a parte	58.03
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

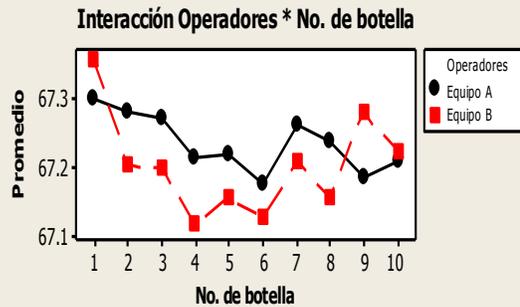
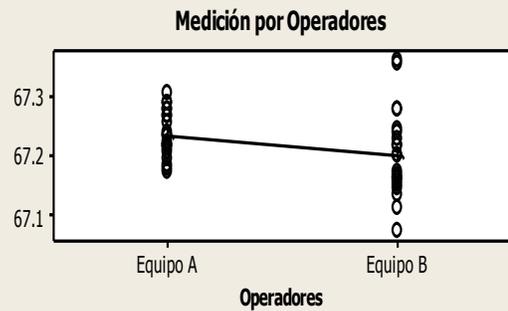
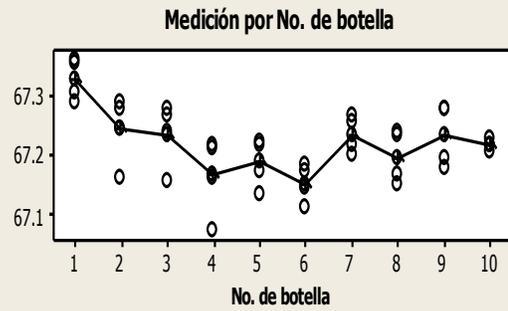
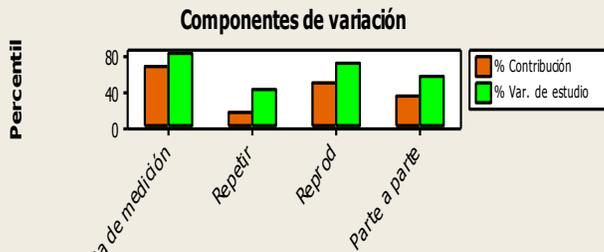
Notificado por: Valentín Gómez Jiménez

Nombre del sistema de medición: Dimensión Hombro superior

Tolerancia:

Fecha del estudio:

Misc:



Dimensión Hombro Inferior

Equipo A

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.0030350	0.0003372	2.0671	0.147
Operadores	1	0.0034040	0.0034040	20.8662	0.001
No. de botel * Operadores	9	0.0014682	0.0001631	2.3738	0.052
Repetibilidad	20	0.0013745	0.0000687		
Total	39	0.0092818			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0002780	86.46
Repetibilidad	0.0000687	21.38
Reproducibilidad	0.0002092	65.09
Operadores	0.0001620	50.40
Operadores*No. de botel	0.0000472	14.68
Parte a parte	0.0000435	13.54
Variación total	0.0003215	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0166726	0.100035
Repetibilidad	0.0082901	0.049740
Reproducibilidad	0.0144655	0.086793
Operadores	0.0127297	0.076378
Operadores*No. de botel	0.0068706	0.041224
Parte a parte	0.0065971	0.039583
Variación total	0.0179303	0.107582

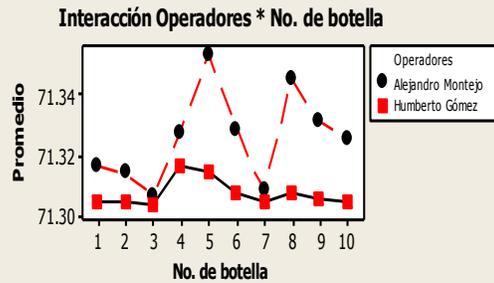
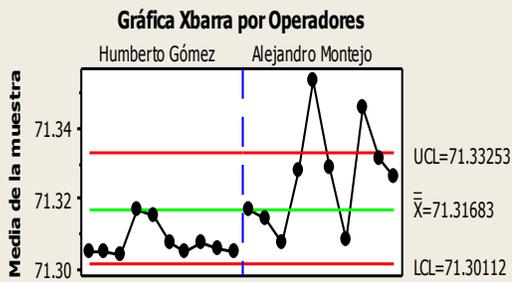
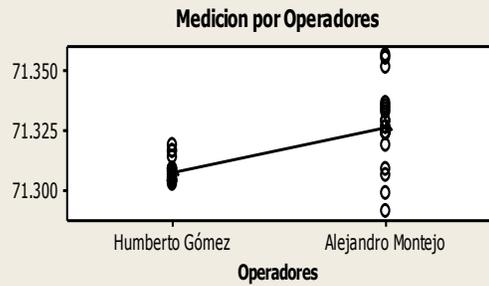
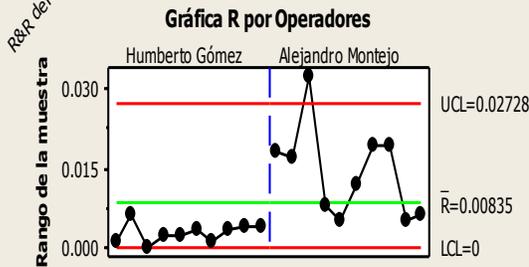
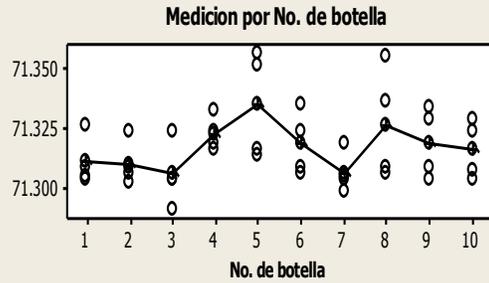
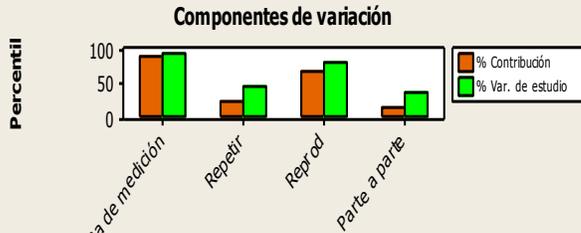
Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	92.99
Repetibilidad	46.23
Reproducibilidad	80.68
Operadores	71.00
Operadores*No. de botel	38.32
Parte a parte	36.79
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medicion

Nombre del sistema de medición:
Fecha del estudio:

Notificado por:
Tolerancia:
Misc:



Equipo B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Hombro inferior
 Fecha del estudio: 02/Nov/09
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.0122917	0.0013657	1.3824	0.319
Operadores	1	0.0098910	0.0098910	10.0115	0.011
No. de botel * Operadores	9	0.0088917	0.0009880	2.7727	0.028
Repetibilidad	20	0.0071265	0.0003563		
Total	39	0.0382010			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0011173	92.21
Repetibilidad	0.0003563	29.41
Reproducibilidad	0.0007610	62.80
Operadores	0.0004452	36.74
Operadores*No. de botel	0.0003158	26.06
Parte a parte	0.0000944	7.79
Variación total	0.0012117	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0334260	0.200556
Repetibilidad	0.0188766	0.113259
Reproducibilidad	0.0275858	0.165515
Operadores	0.0210986	0.126592
Operadores*No. de botel	0.0177714	0.106628
Parte a parte	0.0097183	0.058310
Variación total	0.0348101	0.208861

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	96.02
Repetibilidad	54.23
Reproducibilidad	79.25
Operadores	60.61

Operadores*No. de botel	51.05
Parte a parte	27.92
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medicion

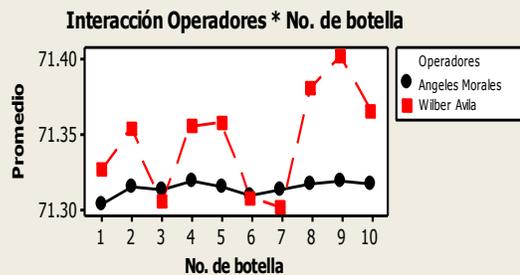
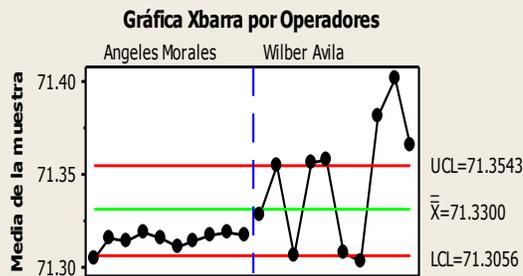
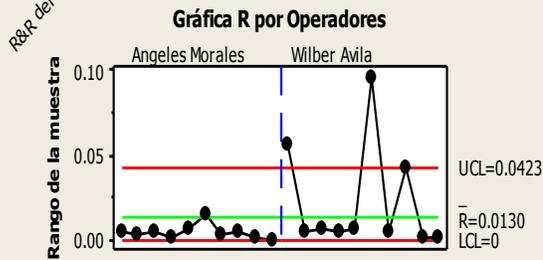
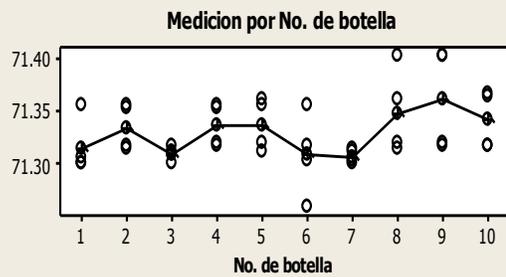
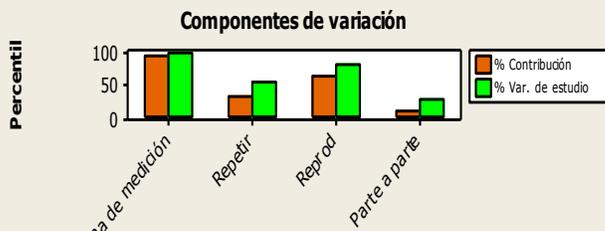
Notificado por: Valentín Gómez

Nombre del sistema de medición: Hombro inferior

Tolerancia:

Fecha del estudio: 02/Nov/09

Misc:



Promedio de equipo A y B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Promedios de equipos Hombro inferior
 Fecha del estudio: 02/Nov/09
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.0055663	0.0006185	2.65440	0.081
Operadores	1	0.0017292	0.0017292	7.42148	0.023
No. de botel * Operadores	9	0.0020970	0.0002330	1.80378	0.130
Repetibilidad	20	0.0025835	0.0001292		
Total	39	0.0119761			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

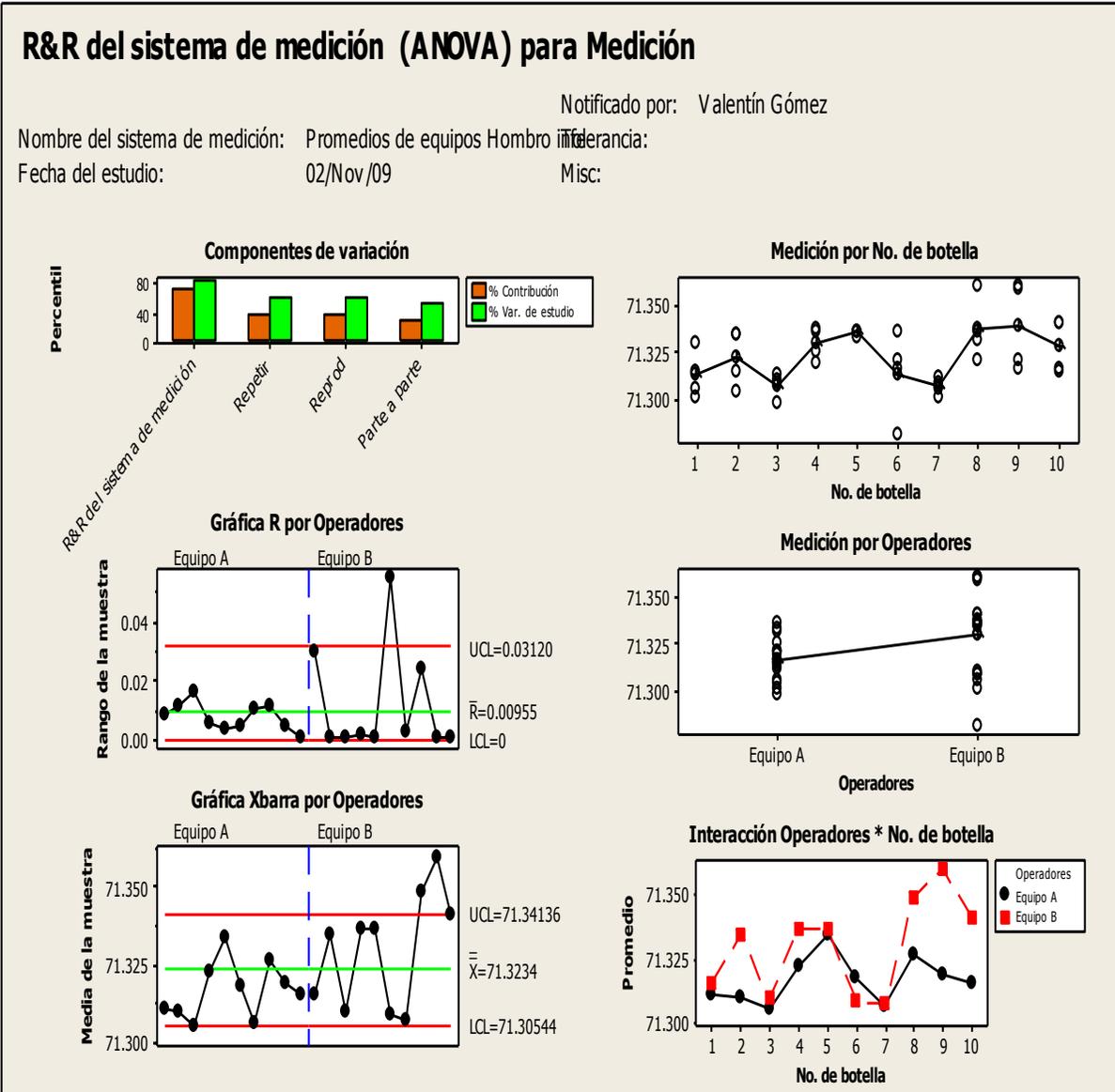
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0002559	72.64
Repetibilidad	0.0001292	36.67
Reproducibilidad	0.0001267	35.97
Operadores	0.0000748	21.24
Operadores*No. de botel	0.0000519	14.74
Parte a parte	0.0000964	27.36
Variación total	0.0003523	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0159969	0.095981
Repetibilidad	0.0113655	0.068193
Reproducibilidad	0.0112572	0.067543
Operadores	0.0086493	0.051896
Operadores*No. de botel	0.0072051	0.043231
Parte a parte	0.0098168	0.058901
Variación total	0.0187689	0.112613

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	85.23
Repetibilidad	60.56
Reproducibilidad	59.98
Operadores	46.08

Operadores*No. de botel	38.39
Parte a parte	52.30
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Dimensión Cintura

Equipo A

Hoja de trabajo de estudio R&R del sistema de medición

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Cintura
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.063288	0.0070320	1.53731	0.266
Operadores	1	0.045226	0.0452256	9.88703	0.012
No. de botel * Operadores	9	0.041168	0.0045742	0.92038	0.528
Repetibilidad	20	0.099399	0.0049699		
Total	39	0.249080			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.063288	0.0070320	1.45076	0.213
Operadores	1	0.045226	0.0452256	9.33040	0.005
Repetibilidad	29	0.140567	0.0048471		
Total	39	0.249080			

R&R del sistema de medición

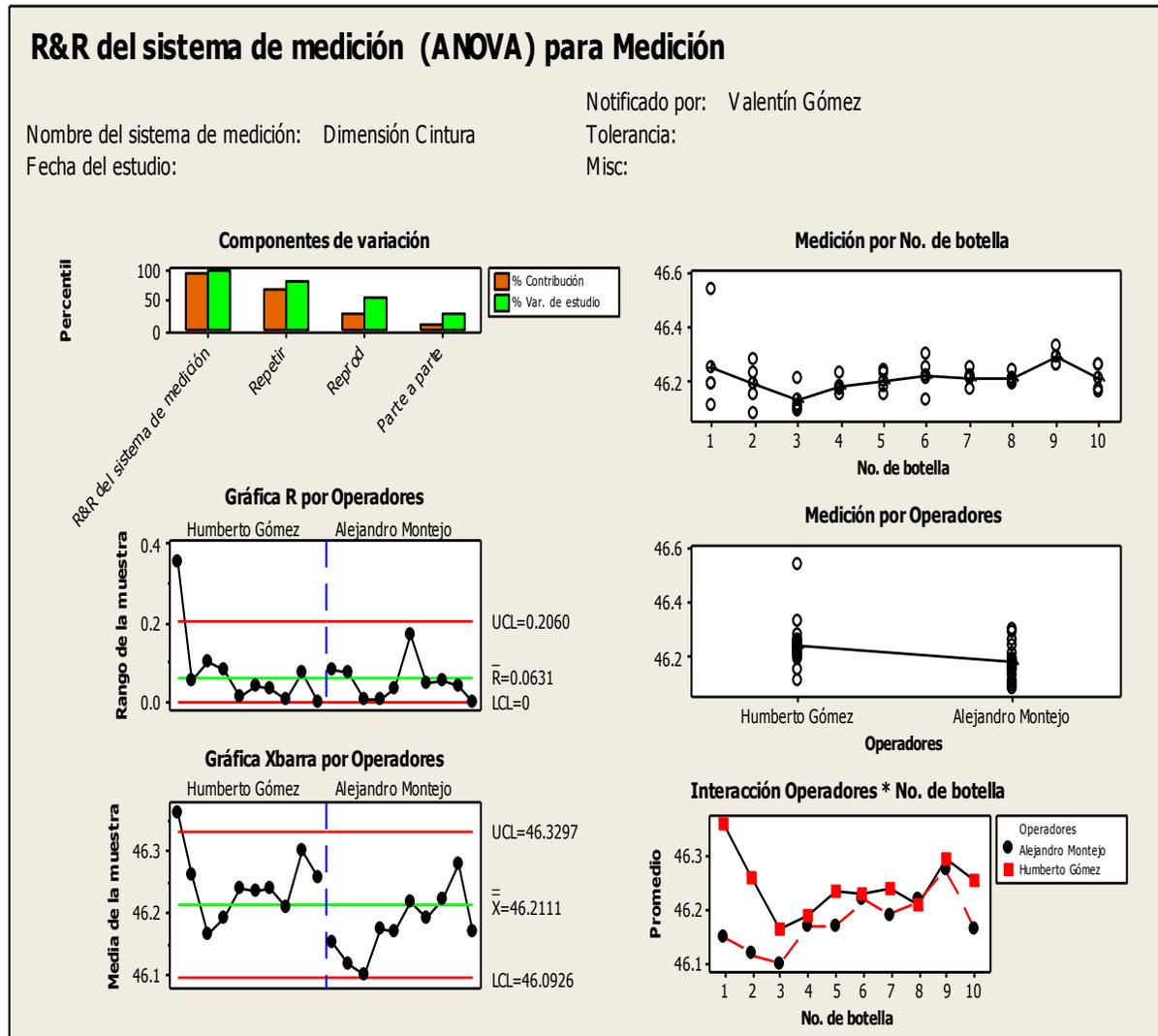
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0068660	92.63
Repetibilidad	0.0048471	65.39
Reproducibilidad	0.0020189	27.24
Operadores	0.0020189	27.24
Parte a parte	0.0005462	7.37
Variación total	0.0074123	100.00

Fuente Desv.Est. (DE) Var. de estudio (6 * SD)

R&R del sistema de medición total	0.0828616	0.497170
Repetibilidad	0.0696213	0.417728
Reproducibilidad	0.0449324	0.269595
Operadores	0.0449324	0.269595
Parte a parte	0.0233714	0.140228
Variación total	0.0860946	0.516567

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	96.24
Repetibilidad	80.87
Reproducibilidad	52.19
Operadores	52.19
Parte a parte	27.15
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Equipo B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Cintura
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.46109	0.051232	0.9068	0.557
Operadores	1	0.96503	0.965034	17.0815	0.003
No. de botel * Operadores	9	0.50846	0.056496	1.0192	0.458
Repetibilidad	20	1.10865	0.055432		
Total	39	3.04323			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.46109	0.051232	0.9188	0.523
Operadores	1	0.96503	0.965034	17.3062	0.000
Repetibilidad	29	1.61711	0.055762		
Total	39	3.04323			

R&R del sistema de medición

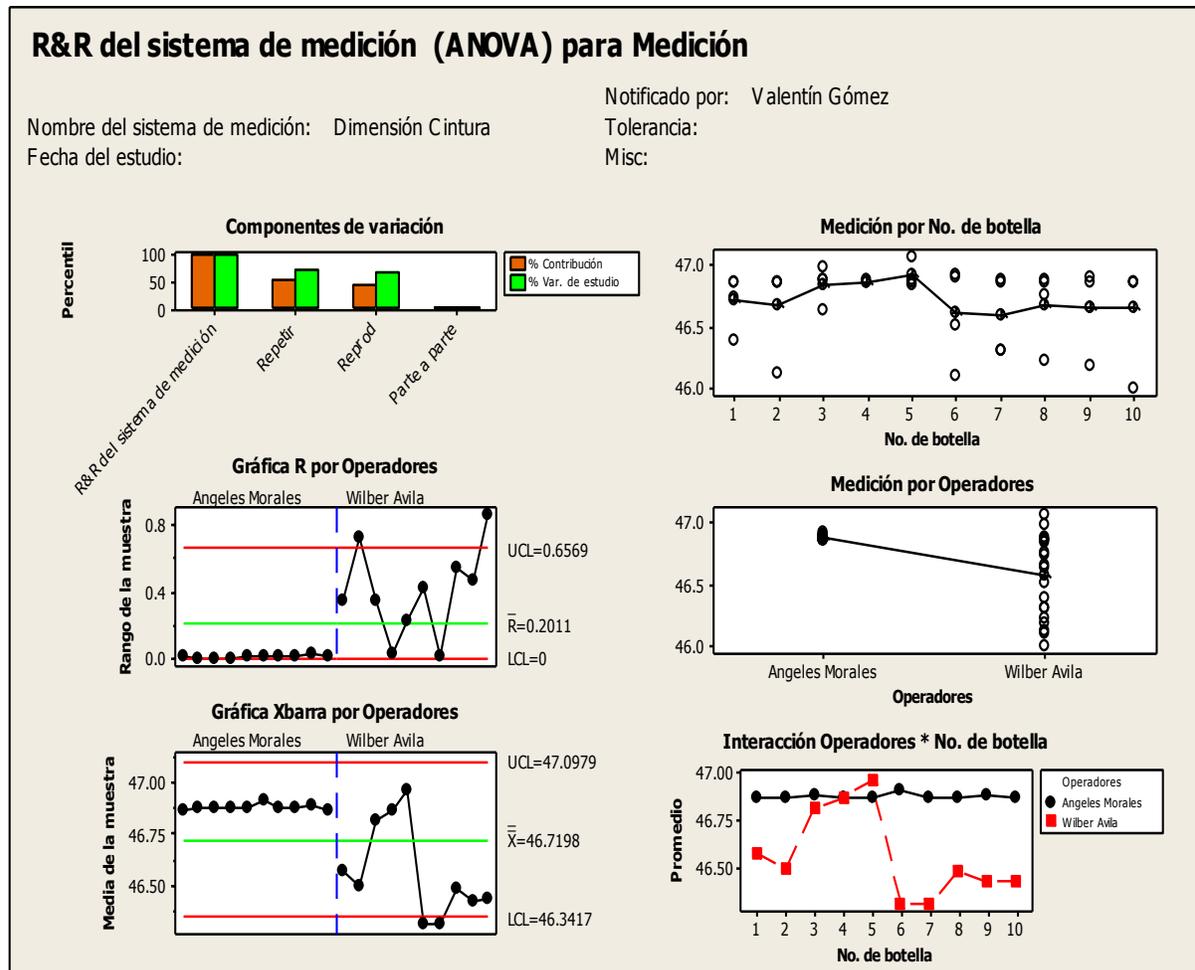
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.101226	100.00
Repetibilidad	0.055762	55.09
Reproducibilidad	0.045464	44.91
Operadores	0.045464	44.91
Parte a parte	0.000000	0.00
Variación total	0.101226	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.318160	1.90896
Repetibilidad	0.236140	1.41684
Reproducibilidad	0.213222	1.27933
Operadores	0.213222	1.27933

Parte a parte	0.000000	0.00000
Variación total	0.318160	1.90896

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	100.00
Repetibilidad	74.22
Reproducibilidad	67.02
Operadores	67.02
Parte a parte	0.00
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Promedio de equipos A Y B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Cintura
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.08700	0.00967	0.497	0.844
Operadores	1	2.58776	2.58776	132.942	0.000
No. De botel * Operadores	9	0.17519	0.01947	1.282	0.305
Repetibilidad	20	0.30364	0.01518		
Total	39	3.15358			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.08700	0.00967	0.585	0.798
Operadores	1	2.58776	2.58776	156.728	0.000
Repetibilidad	29	0.47882	0.01651		
Total	39	3.15358			

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.145073	100.00
Repetibilidad	0.016511	11.38
Reproducibilidad	0.128562	88.62
Operadores	0.128562	88.62
Parte a parte	0.000000	0.00
Variación total	0.145073	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.380885	2.28531
Repetibilidad	0.128496	0.77097
Reproducibilidad	0.358556	2.15134
Operadores	0.358556	2.15134
Parte a parte	0.000000	0.00000

Dimensión Panel

Equipo A

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Panel

Fecha del estudio:

Notificado por: Valentín Gómez

Tolerancia:

Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.150823	0.0167581	6.77436	0.004
Operadores	1	0.009272	0.0092720	3.74817	0.085
No. De botel * Operadores	9	0.022264	0.0024737	1.17494	0.362
Repetibilidad	20	0.042108	0.0021054		
Total	39	0.224467			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.150823	0.0167581	7.54959	0.000
Operadores	1	0.009272	0.0092720	4.17709	0.050
Repetibilidad	29	0.064372	0.0022197		
Total	39	0.224467			

R&R del sistema de medición

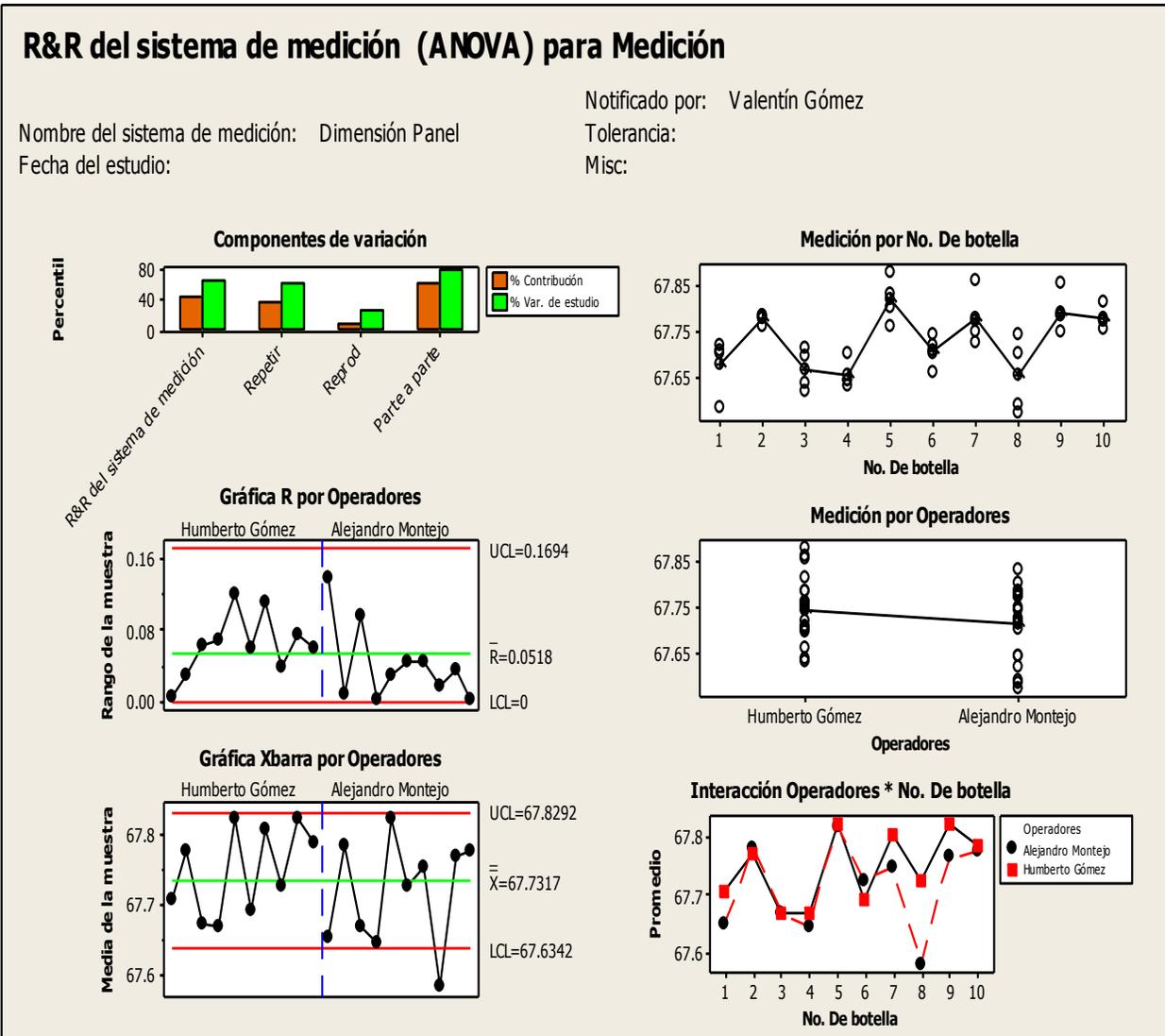
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0025723	41.44
Repetibilidad	0.0022197	35.76
Reproducibilidad	0.0003526	5.68
Operadores	0.0003526	5.68
Parte a parte	0.0036346	58.56
Variación total	0.0062069	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0507183	0.304310
Repetibilidad	0.0471140	0.282684
Reproducibilidad	0.0187780	0.112668
Operadores	0.0187780	0.112668
Parte a parte	0.0602875	0.361725
Variación total	0.0787841	0.472704

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
--------	------------------------

R&R del sistema de medición total	64.38
Repetibilidad	59.80
Reproducibilidad	23.83
Operadores	23.83
Parte a parte	76.52
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Equipo B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Panel
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.070587	0.0078430	1.24777	0.373
Operadores	1	0.029431	0.0294306	4.68221	0.059
No. De botel * Operadores	9	0.056571	0.0062856	7.37468	0.000
Repetibilidad	20	0.017046	0.0008523		
Total	39	0.173635			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0047262	92.39
Repetibilidad	0.0008523	16.66
Reproducibilidad	0.0038739	75.73
Operadores	0.0011573	22.62
Operadores*No. De botel	0.0027167	53.11
Parte a parte	0.0003893	7.61
Variación total	0.0051156	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0687475	0.412485
Repetibilidad	0.0291946	0.175168
Reproducibilidad	0.0622407	0.373444
Operadores	0.0340184	0.204110
Operadores*No. De botel	0.0521215	0.312729
Parte a parte	0.0197318	0.118391
Variación total	0.0715232	0.429139

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	96.12
Repetibilidad	40.82
Reproducibilidad	87.02
Operadores	47.56

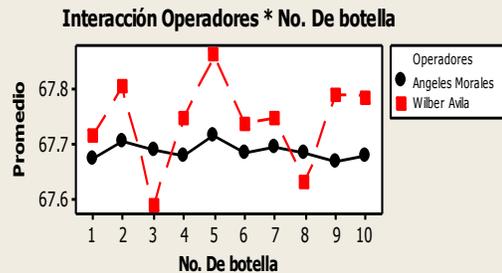
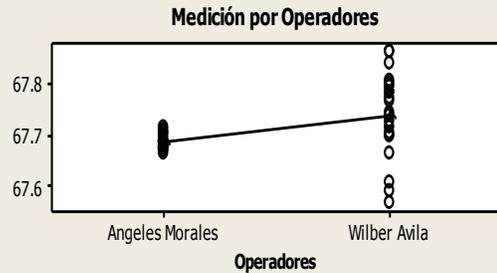
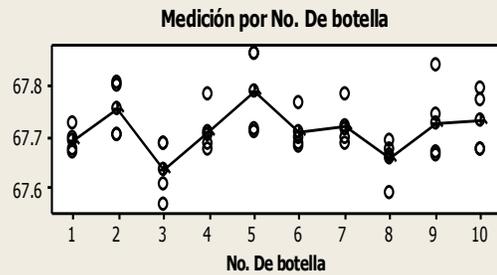
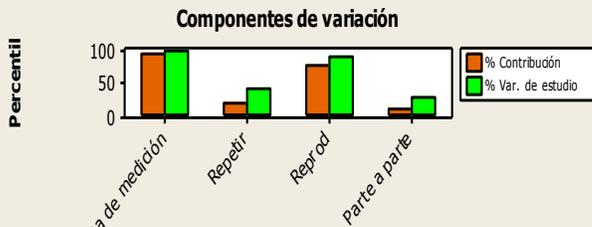
Operadores*No. De botel	72.87
Parte a parte	27.59
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Panel
 Fecha del estudio:

Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:



Promedio de equipo A y B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Panel
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.098242	0.0109157	7.88250	0.003
Operadores	1	0.003240	0.0032400	2.33968	0.160
No. De botel * Operadores	9	0.012463	0.0013848	1.56136	0.194
Repetibilidad	20	0.017738	0.0008869		
Total	39	0.131683			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0012286	34.02
Repetibilidad	0.0008869	24.56
Reproducibilidad	0.0003417	9.46
Operadores	0.0000928	2.57
Operadores*No. De botel	0.0002489	6.89
Parte a parte	0.0023827	65.98
Variación total	0.0036114	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0350517	0.210310
Repetibilidad	0.0297813	0.178688
Reproducibilidad	0.0184851	0.110911
Operadores	0.0096312	0.057787
Operadores*No. De botel	0.0157778	0.094667
Parte a parte	0.0488132	0.292879
Variación total	0.0600945	0.360567

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	58.33
Repetibilidad	49.56
Reproducibilidad	30.76
Operadores	16.03

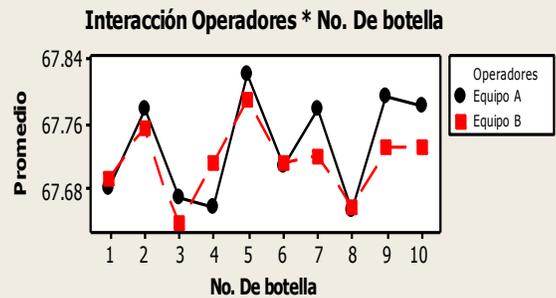
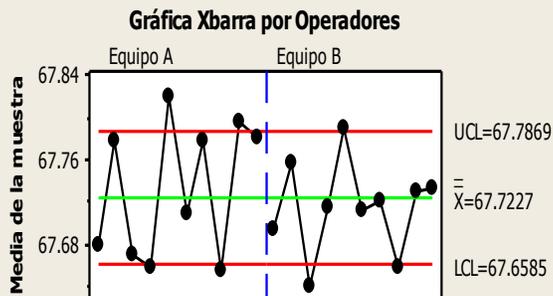
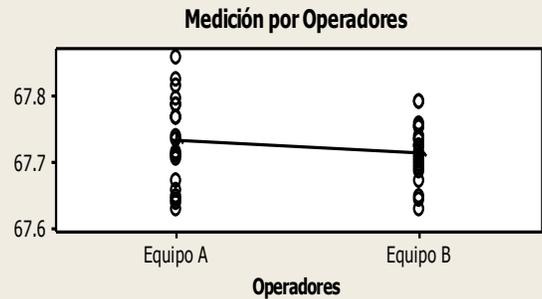
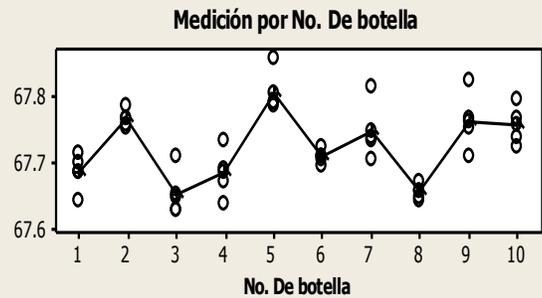
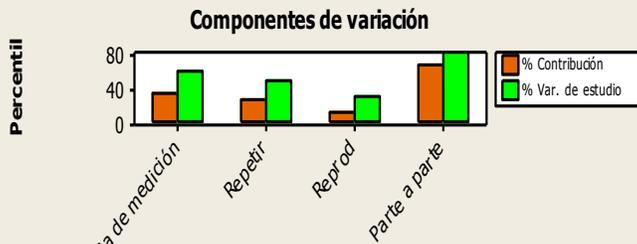
Operadores*No. De botel	26.26
Parte a parte	81.23
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Panel
 Fecha del estudio:

Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:



Dimensión talón

Equipo A

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Talón
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.080141	0.008905	2.5799	0.087
Operadores	1	0.209236	0.209236	60.6208	0.000
No. De botel * Operadores	9	0.031064	0.003452	1.9667	0.100
Repetibilidad	20	0.035099	0.001755		
Total	39	0.355541			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

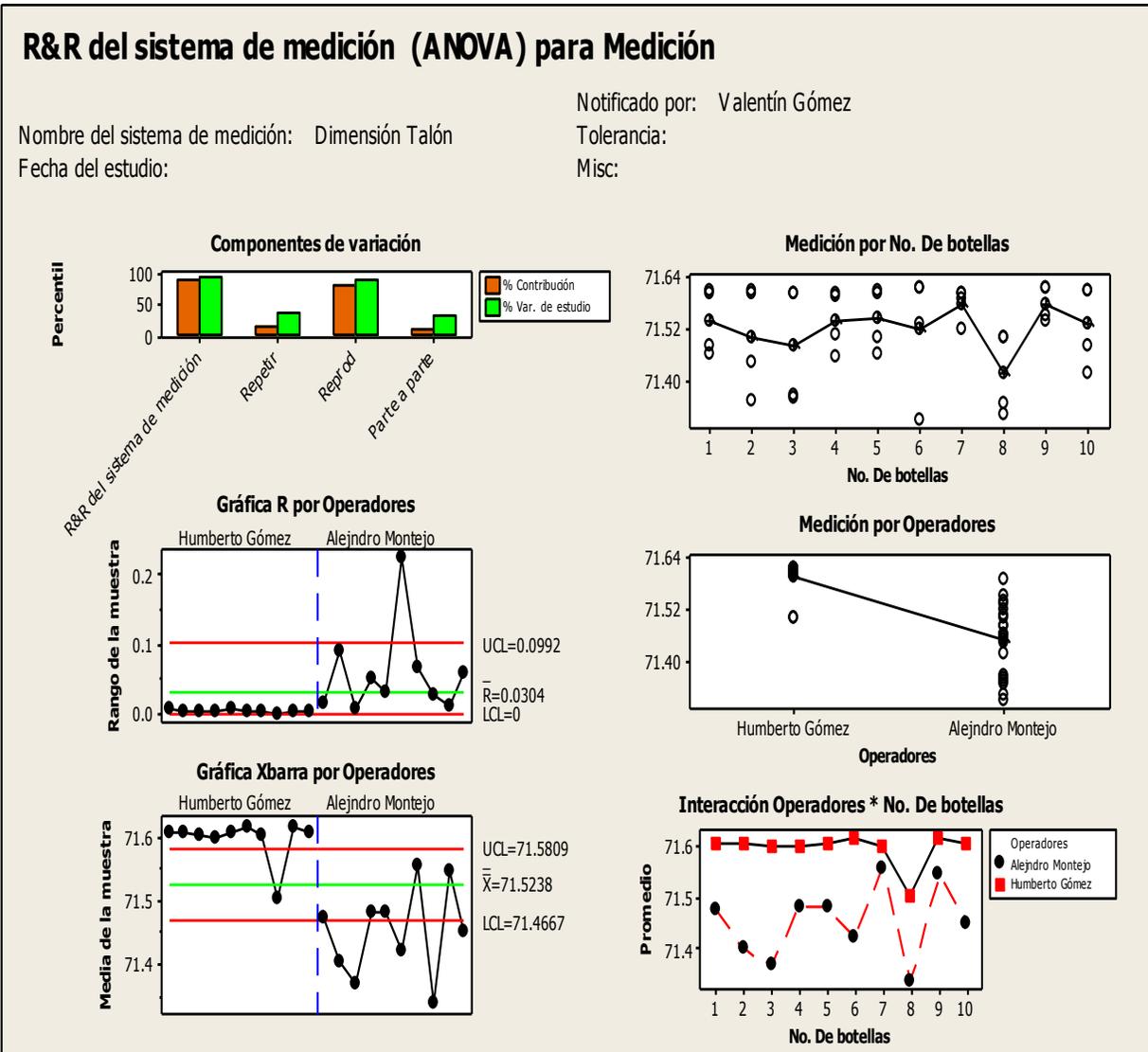
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0128925	90.44
Repetibilidad	0.0017550	12.31
Reproducibilidad	0.0111375	78.13
Operadores	0.0102892	72.18
Operadores*No. De botel	0.0008483	5.95
Parte a parte	0.0013633	9.56
Variación total	0.0142558	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.113545	0.681271
Repetibilidad	0.041892	0.251355
Reproducibilidad	0.105534	0.633207
Operadores	0.101436	0.608615
Operadores*No. De botel	0.029125	0.174753
Parte a parte	0.036922	0.221534
Variación total	0.119397	0.716385

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	95.10

Repetibilidad	35.09
Reproducibilidad	88.39
Operadores	84.96
Operadores*No. De botel	24.39
Parte a parte	30.92
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Equipo B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Talón
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.125753	0.0139726	175.480	0.000
Operadores	1	0.001156	0.0011556	14.513	0.004
No. De botel * Operadores	9	0.000717	0.0000796	0.018	1.000
Repetibilidad	20	0.088003	0.0044002		
Total	39	0.215629			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.125753	0.0139726	4.56722	0.001
Operadores	1	0.001156	0.0011556	0.37774	0.544
Repetibilidad	29	0.088720	0.0030593		
Total	39	0.215629			

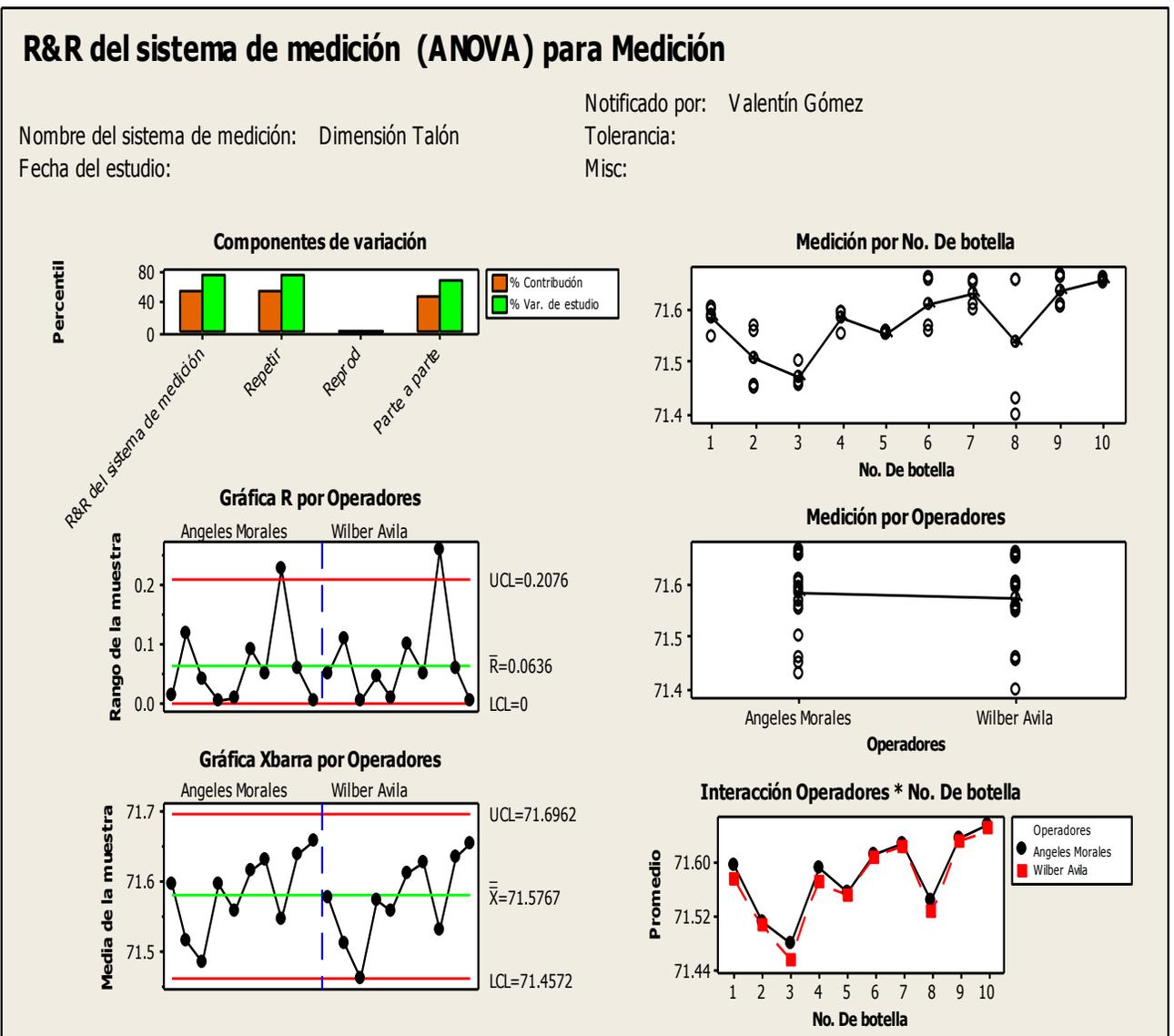
R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0030593	52.86
Repetibilidad	0.0030593	52.86
Reproducibilidad	0.0000000	0.00
Operadores	0.0000000	0.00
Parte a parte	0.0027283	47.14
Variación total	0.0057876	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0553111	0.331866
Repetibilidad	0.0553111	0.331866
Reproducibilidad	0.0000000	0.000000
Operadores	0.0000000	0.000000
Parte a parte	0.0522332	0.313399
Variación total	0.0760764	0.456459

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	72.70
Repetibilidad	72.70
Reproducibilidad	0.00
Operadores	0.00
Parte a parte	68.66
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Promedio de mediciones equipo A y B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Dimensión Talón
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.083511	0.0092790	4.2968	0.020
Operadores	1	0.027984	0.0279841	12.9583	0.006
No. De botel * Operadores	9	0.019436	0.0021595	0.8283	0.598
Repetibilidad	20	0.052145	0.0026073		
Total	39	0.183076			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.083511	0.0092790	3.7593	0.003
Operadores	1	0.027984	0.0279841	11.3373	0.002
Repetibilidad	29	0.071581	0.0024683		
Total	39	0.183076			

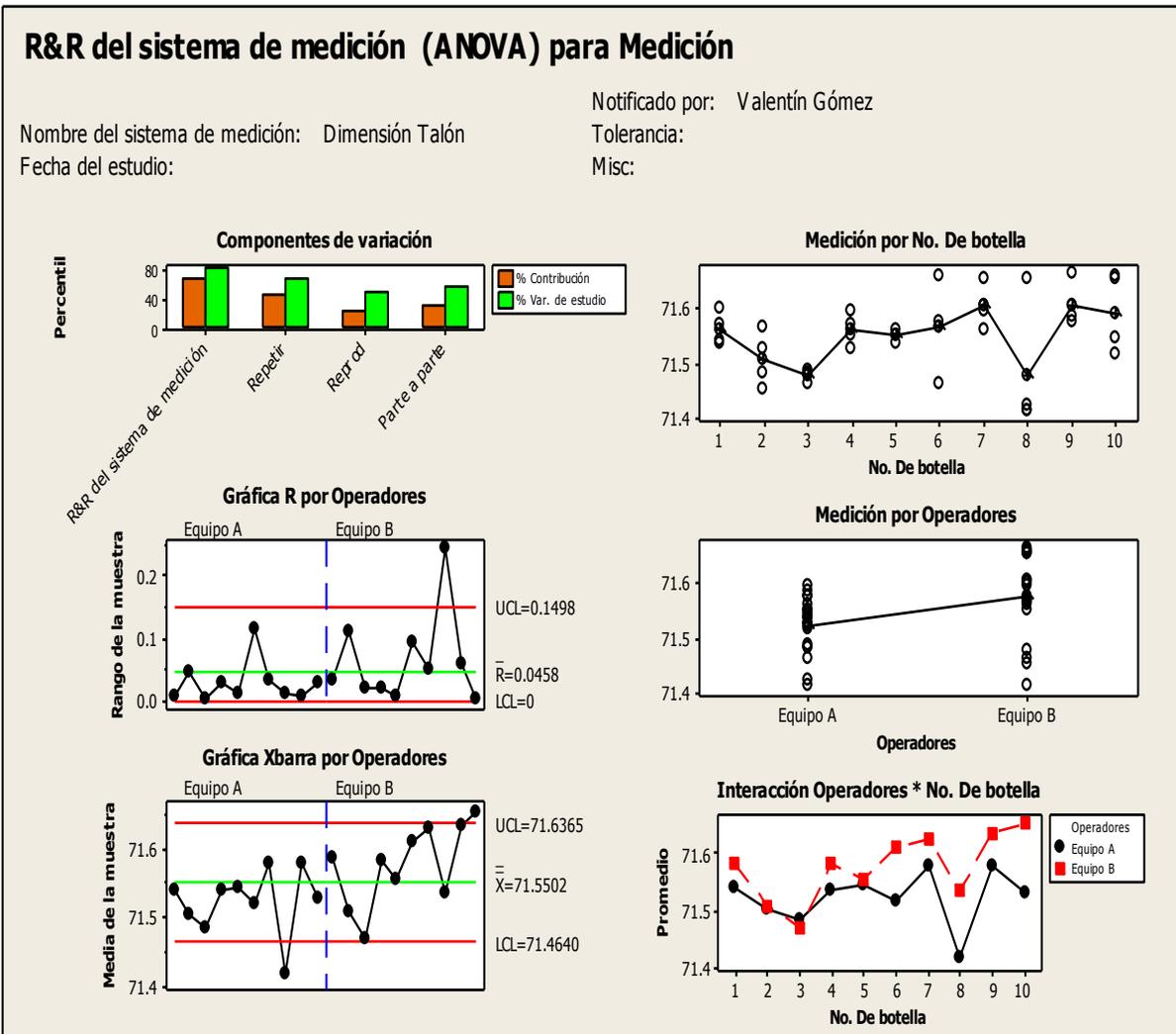
R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0037441	68.74
Repetibilidad	0.0024683	45.32
Reproducibilidad	0.0012758	23.42
Operadores	0.0012758	23.42
Parte a parte	0.0017027	31.26
Variación total	0.0054468	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.0611891	0.367135
Repetibilidad	0.0496821	0.298093
Reproducibilidad	0.0357182	0.214309
Operadores	0.0357182	0.214309
Parte a parte	0.0412635	0.247581
Variación total	0.0738023	0.442814

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	82.91
Repetibilidad	67.32
Reproducibilidad	48.40
Operadores	48.40
Parte a parte	55.91
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Medición de claro de base

Equipo A

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Medición de claro de base
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.57184	0.063538	1.24405	0.375
Operadores	1	0.17689	0.176890	3.46345	0.096
No. de botel * Operadores	9	0.45966	0.051073	1.01296	0.462
Repetibilidad	20	1.00840	0.050420		
Total	39	2.21679			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. de botel	9	0.57184	0.063538	1.25512	0.302
Operadores	1	0.17689	0.176890	3.49428	0.072
Repetibilidad	29	1.46806	0.050623		
Total	39	2.21679			

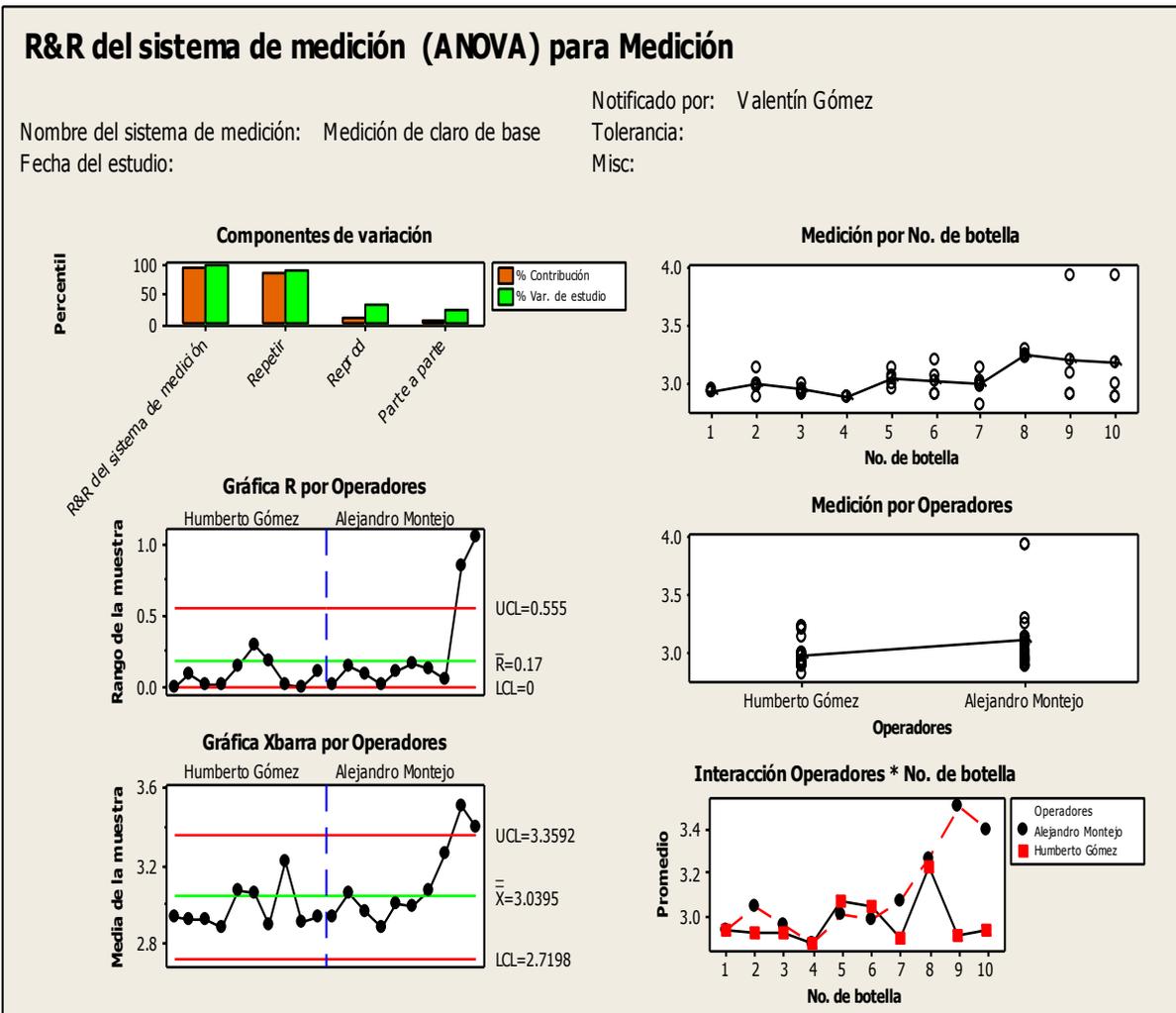
R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0569361	94.63
Repetibilidad	0.0506228	84.14
Reproducibilidad	0.0063134	10.49
Operadores	0.0063134	10.49
Parte a parte	0.0032288	5.37
Variación total	0.0601649	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.238613	1.43168
Repetibilidad	0.224995	1.34997
Reproducibilidad	0.079457	0.47674
Operadores	0.079457	0.47674
Parte a parte	0.056822	0.34093
Variación total	0.245285	1.47171

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	97.28
Repetibilidad	91.73
Reproducibilidad	32.39
Operadores	32.39
Parte a parte	23.17
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Equipo B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Medición de claro de base
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	1.46346	0.162607	1.12687	0.431
Operadores	1	0.27225	0.272250	1.88669	0.203
No. De botel * Operadores	9	1.29870	0.144300	6.04905	0.000
Repetibilidad	20	0.47710	0.023855		
Total	39	3.51151			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

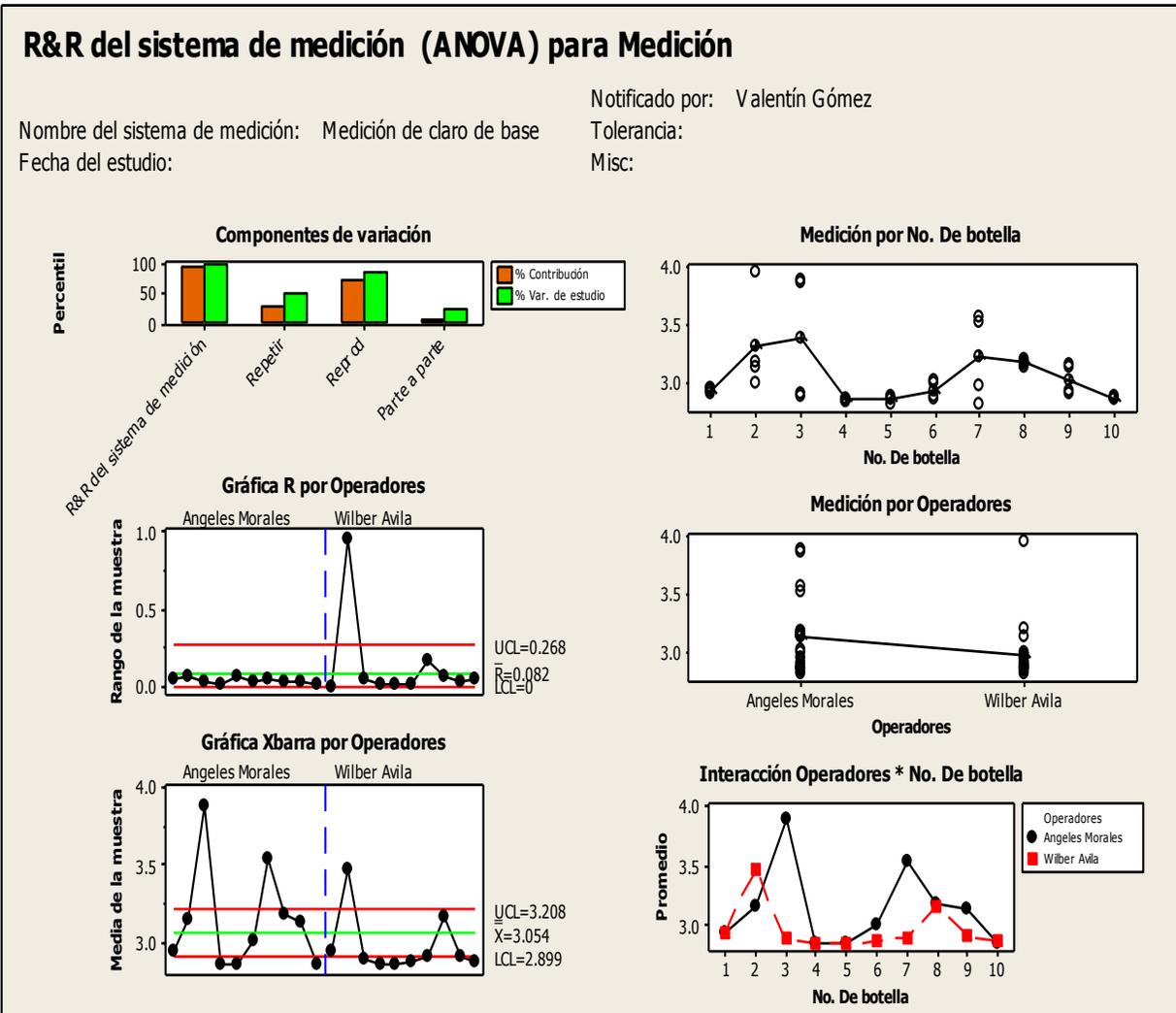
Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0904750	95.19
Repetibilidad	0.0238550	25.10
Reproducibilidad	0.0666200	70.09
Operadores	0.0063975	6.73
Operadores*No. De botel	0.0602225	63.36
Parte a parte	0.0045767	4.81
Variación total	0.0950517	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.300791	1.80474
Repetibilidad	0.154451	0.92670
Reproducibilidad	0.258109	1.54865
Operadores	0.079984	0.47991
Operadores*No. De botel	0.245403	1.47242
Parte a parte	0.067651	0.40591
Variación total	0.308305	1.84983

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	97.56
Repetibilidad	50.10
Reproducibilidad	83.72
Operadores	25.94

Operadores*No. De botel	79.60
Parte a parte	21.94
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1



Promedio de equipo A y B

Partes: 10 Operadores: 2
 Réplicas: 2 Total de corridas: 40

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

R&R del sistema de medición para Medición

Nombre del sistema de medición: Medición de claro de base
 Fecha del estudio:
 Notificado por: Valentín Gómez
 Tolerancia:
 Misc:

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. De botel	9	0.48420	0.0537997	0.90767	0.556
Operadores	1	0.00196	0.0019600	0.03307	0.860
No. De botel * Operadores	9	0.53345	0.0592725	3.21217	0.014
Repetibilidad	20	0.36905	0.0184525		
Total	39	1.38866			

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0388625	100.00
Repetibilidad	0.0184525	47.48
Reproducibilidad	0.0204100	52.52
Operadores	0.0000000	0.00
Operadores*No. De botel	0.0204100	52.52
Parte a parte	0.0000000	0.00
Variación total	0.0388625	100.00

Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.197136	1.18281
Repetibilidad	0.135840	0.81504
Reproducibilidad	0.142864	0.85718
Operadores	0.000000	0.00000
Operadores*No. De botel	0.142864	0.85718
Parte a parte	0.000000	0.00000
Variación total	0.197136	1.18281

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	100.00
Repetibilidad	68.91
Reproducibilidad	72.47
Operadores	0.00

Operadores*No. De botel	72.47
Parte a parte	0.00
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 1

R&R del sistema de medición (ANOVA) para Medición

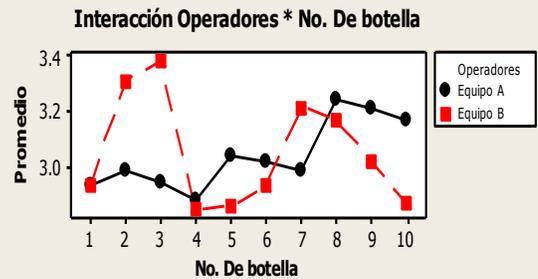
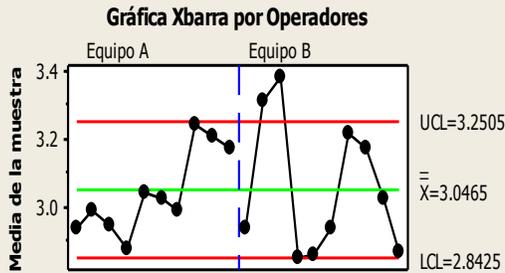
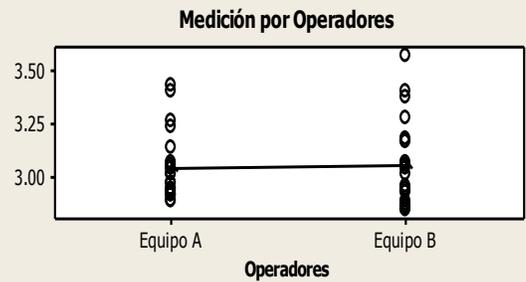
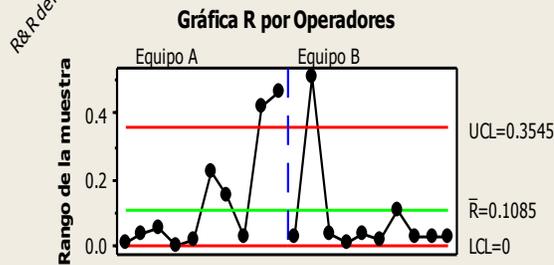
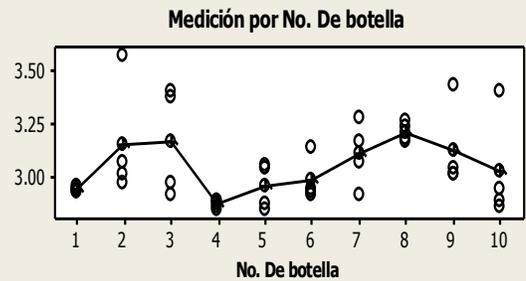
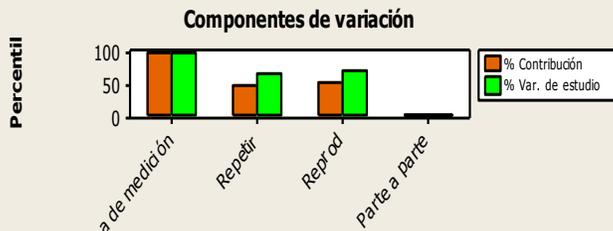
Notificado por: Valentín Gómez

Nombre del sistema de medición: Medición de claro de base

Tolerancia:

Fecha del estudio:

Misc:



Anexo B

Concepto de Minitab Versión 15 y su Uso en un Estudio de Gage R&R

Concepto de Minitab versión 15

Minitab 15 es la versión más reciente que refleja muchas de las mejoras solicitadas frecuentemente por los clientes. En general Minitab versión 15 tiene la misma apariencia y funciona de la misma manera que Minitab 14.

Minitab 15 cuenta más potencia que las versiones previas y un diseño muy fácil de usar que le permite a usted manejarlo con soltura y un entrenamiento mínimo, MINITAB 15 es el software estadístico hecho para los profesionales del Siglo 21.

Enfocado al sistema de medición cuenta con:

- Gage R&R: Método ANOVA y XBar-R
- Gage R&R anidado
- Estudio de atributo Gage- Método largo AIAG
- Linealidad y precisión Gage

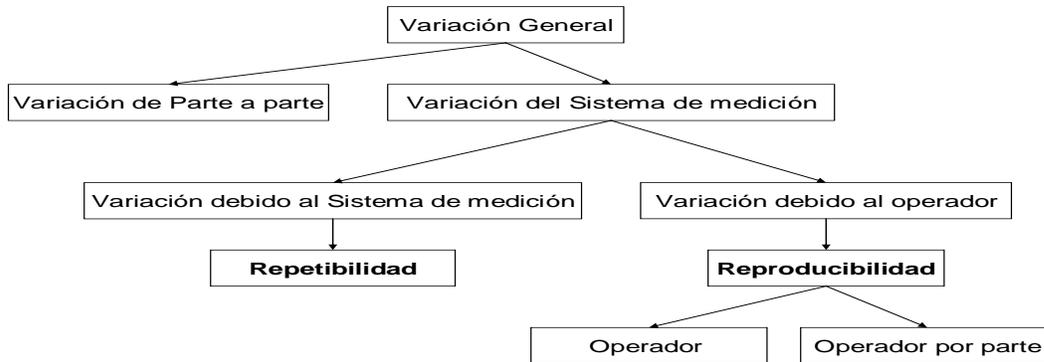
Introducción general para realizar un estudio de Gage R&R

Los siguientes pasos que se mencionan son los requeridos para llevar a cabo un estudio de Gage R&R.

Estadísticas > Herramientas de calidad > Estudio sobre sistema de medición > Estudio de R&R del sistema de medición (cruzado)

Los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad del sistema de medición determinan cuánto de la variación del proceso se debe a la variación del sistema de medición, a la variación del instrumento y cuanto a la parte que se analiza. Minitab provee dos métodos para el estudio R&R del sistema de medición cruzado como son los

métodos de gráficos de medias y rangos (X y R) o el ANOVA. El método X y R divide la variación general en tres categorías: parte a parte, Repetibilidad y Reproducibilidad. El método ANOVA va un paso más adelante y divide la Reproducibilidad en sus componentes de operador y operador por parte.



El método ANOVA es más exacto que el método X y R, en parte, porque explica la interacción Operador por Parte

Elementos del cuadro de diálogo

Números de parte: Ingrese la columna que contiene los nombres o números de partes.

Operadores: Ingrese la columna que contenga los nombres o números de operador (opcional).

Datos de medición: Ingrese la columna que contenga las mediciones observadas.

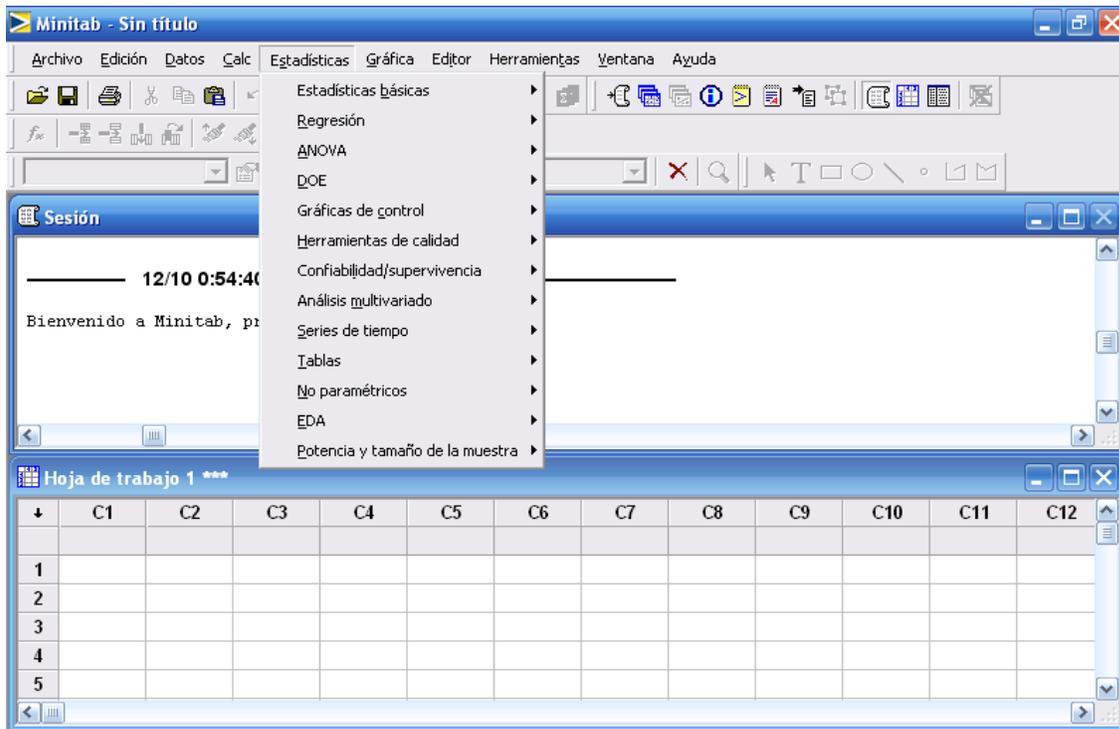
Método de análisis

ANOVA: Elija esta opción para utilizar el método ANOVA.

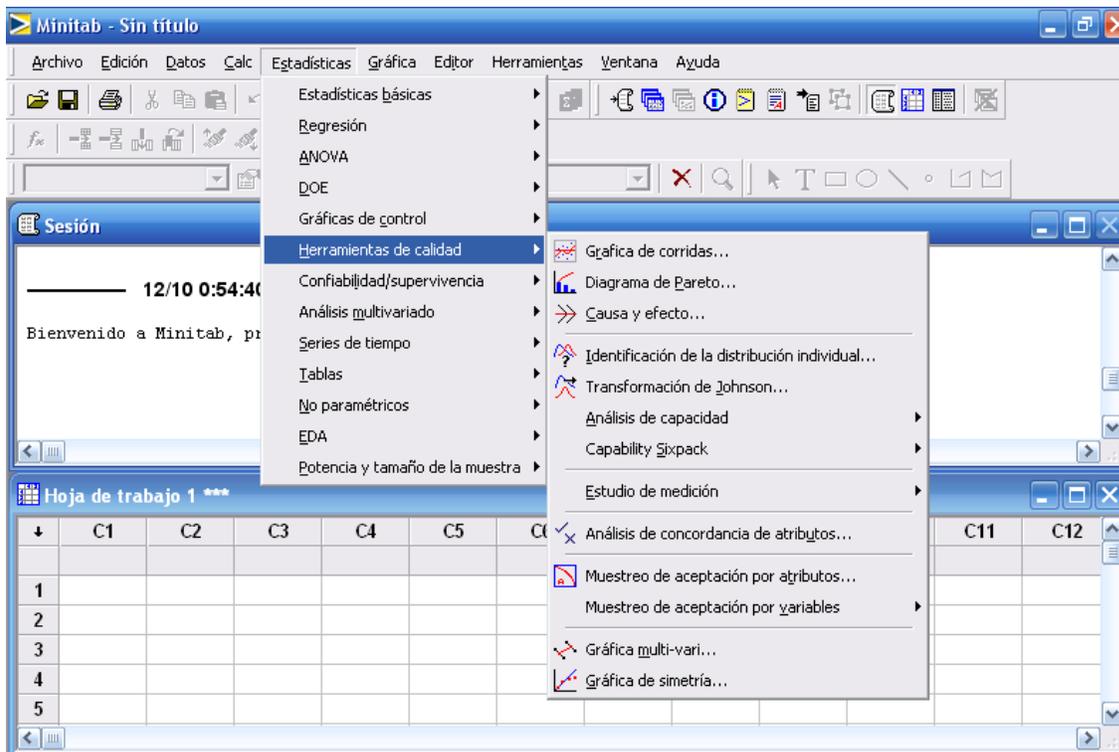
Xbarra y R: Elija esta opción para utilizar el método X y R.

Pasos para realizar un estudio de Gage R&R:

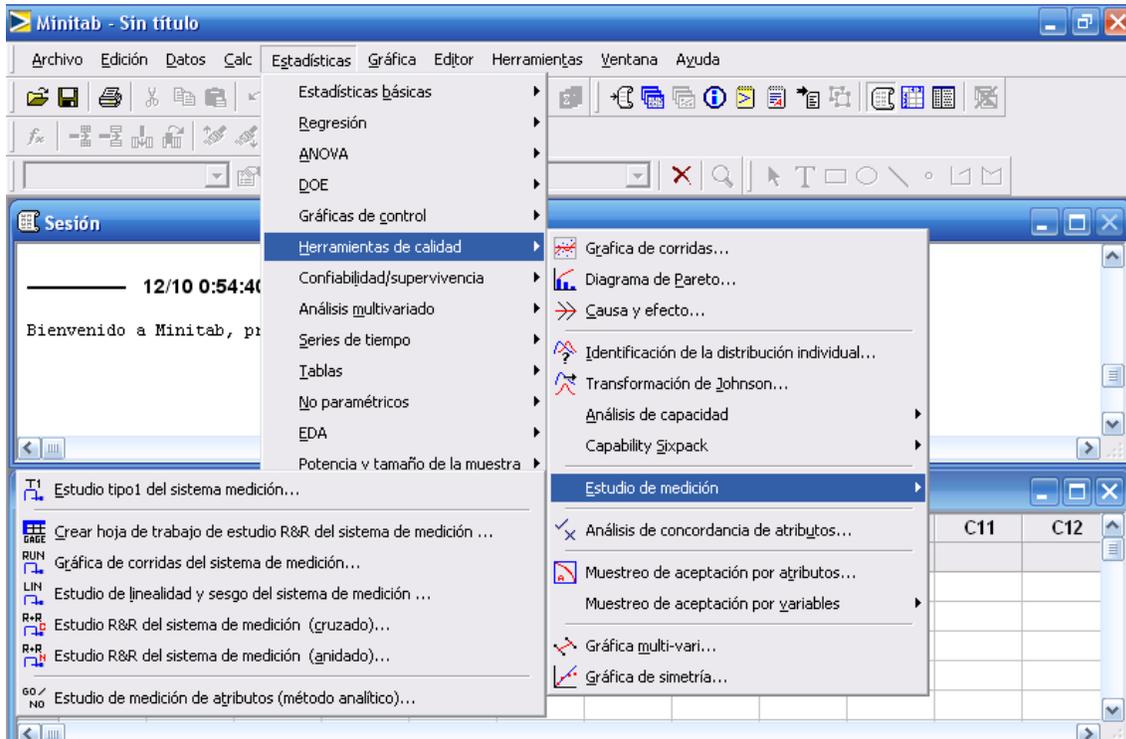
1.- Seleccione en el menú de la barra de herramientas **Estadísticas**



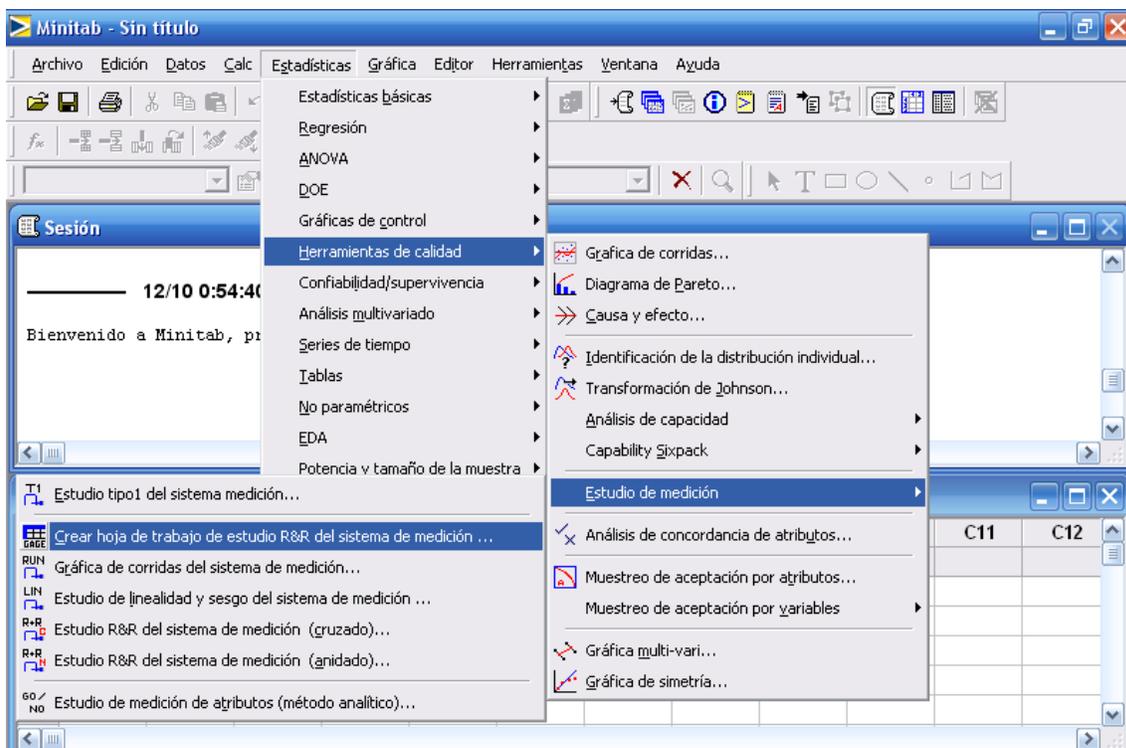
2.- Del menú que se muestra en esta opción elegir “herramientas de calidad”



3.- Se vuelve a mostrar otra lista desplegable y se elige “Estudio de medición”

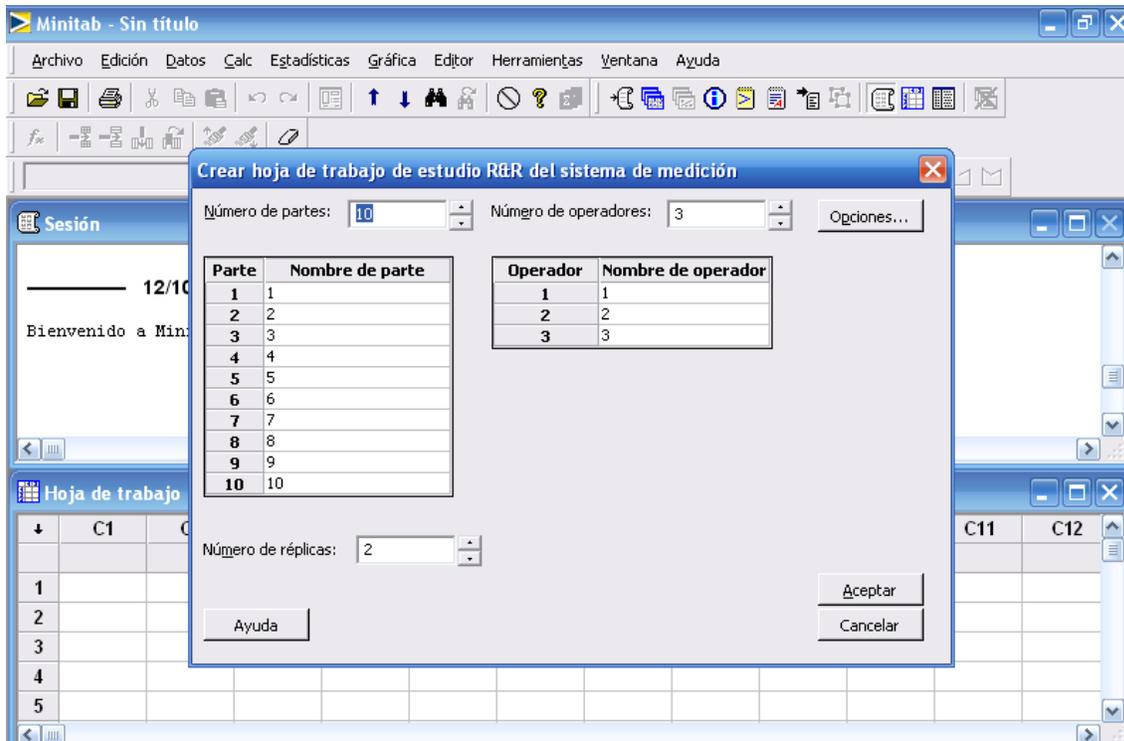


4.- Al dar clic ahí muestra diferentes opciones de las cuales se elegirá “crear hoja de trabajo de estudios R&R del sistemas de medición”

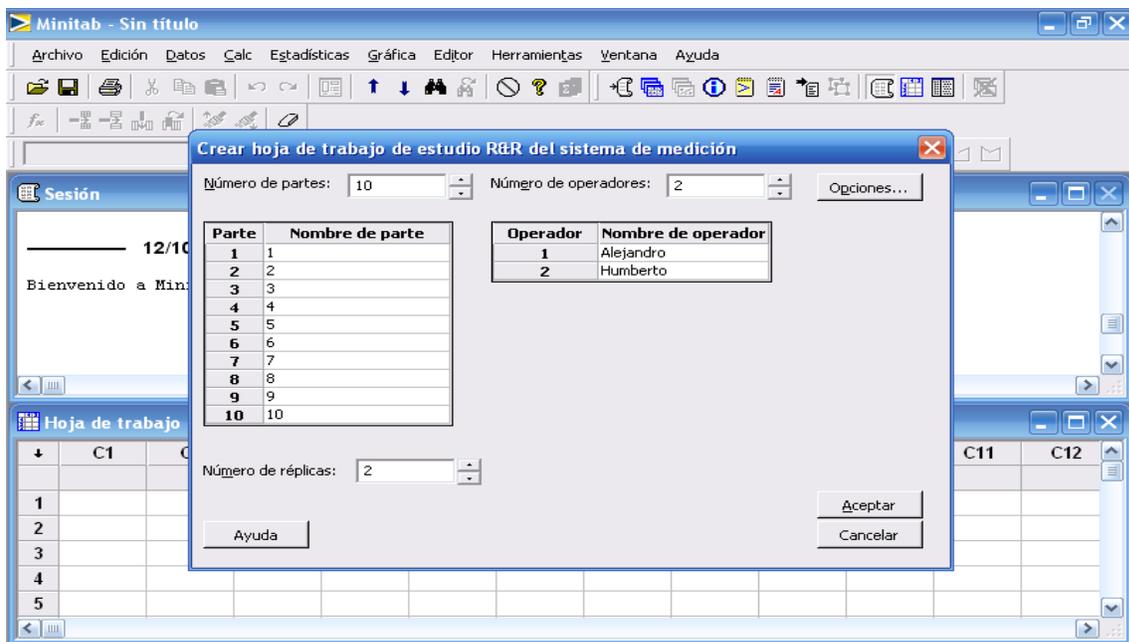


5.- Al dar clic en esta opción pide datos como son:

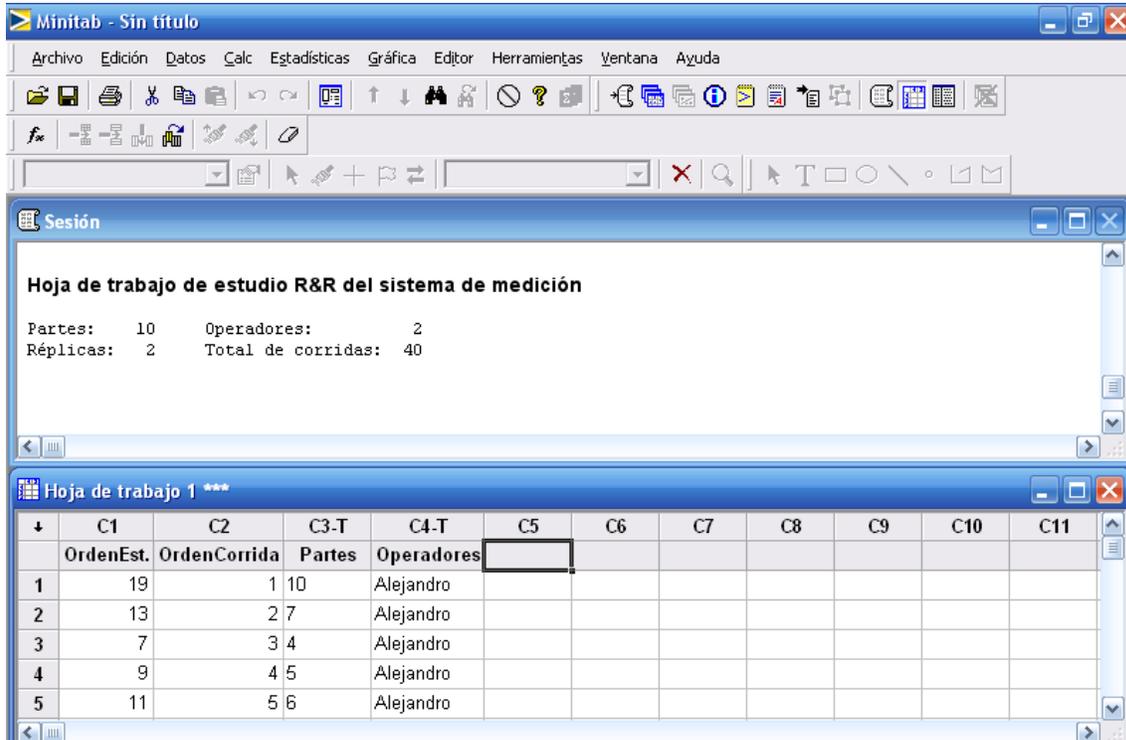
- Numero de partes
- Numero de operadores
- Número de replicas
- Nombre de la parte
- Nombre del operador



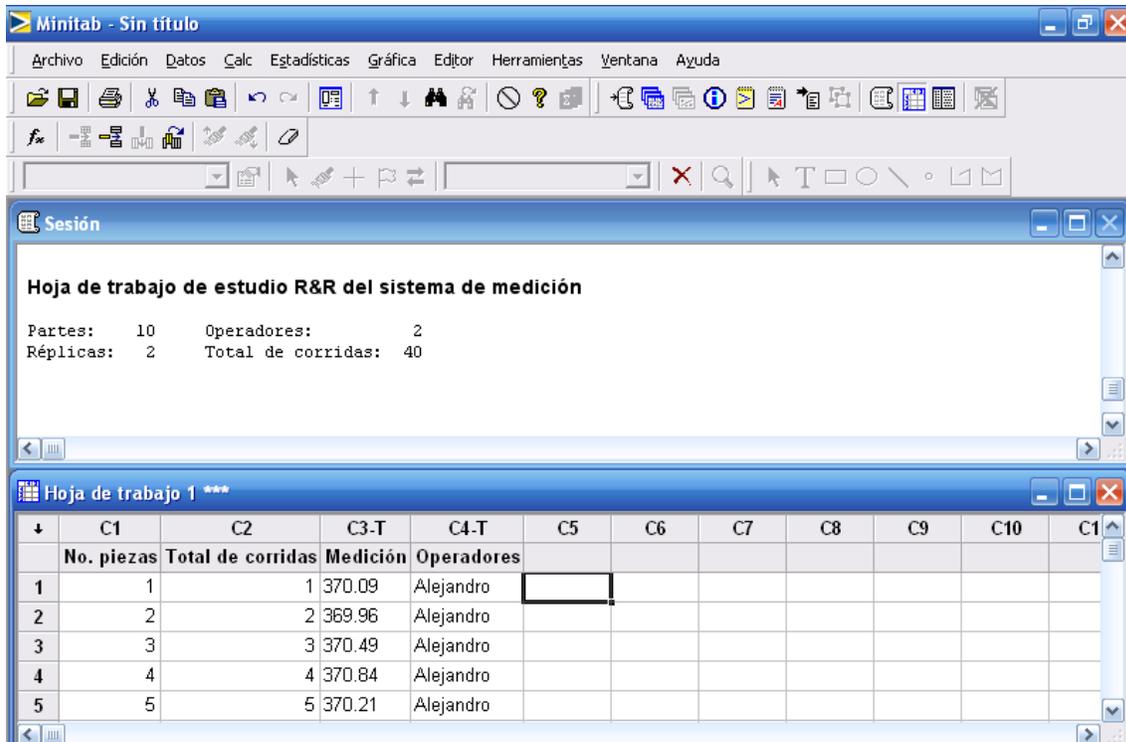
6.- Al llenar los datos pedidos por el programa se da clic en aceptar



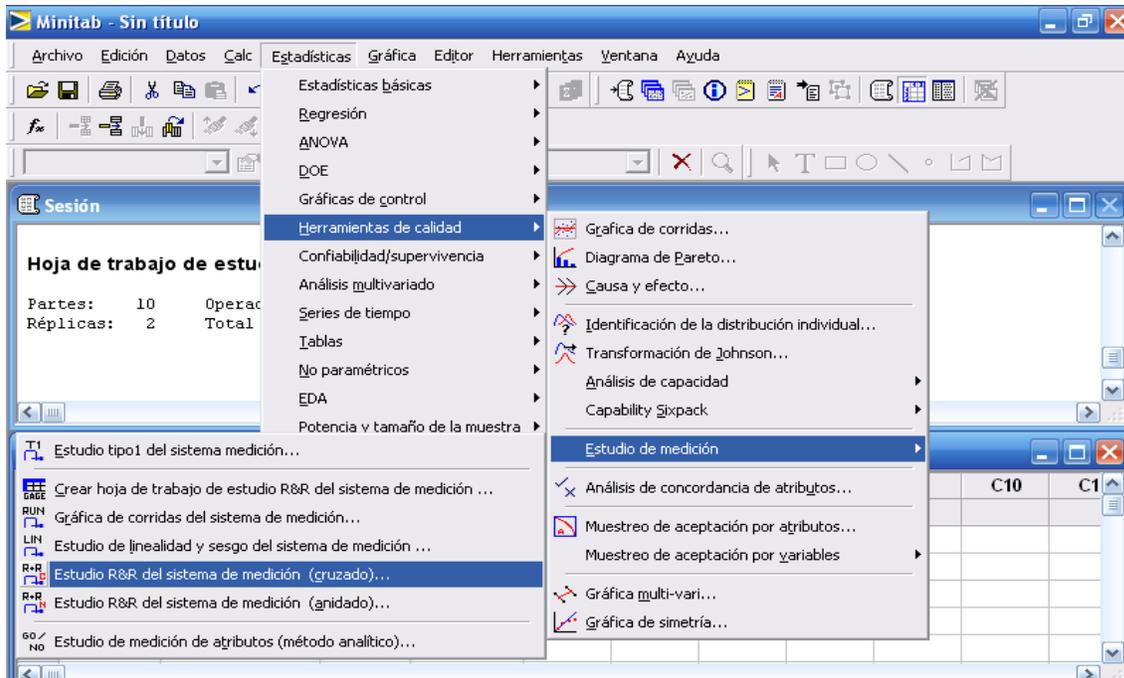
7.- El programa envía una hoja con los datos que se capturaron en el paso 6 los cuales se deben borrar para insertar los datos del estudio de R&R del interés del lector.



8.- En este paso el programa, ya da lista una hoja para empezar a trabajar con un estudio de Gage R&R

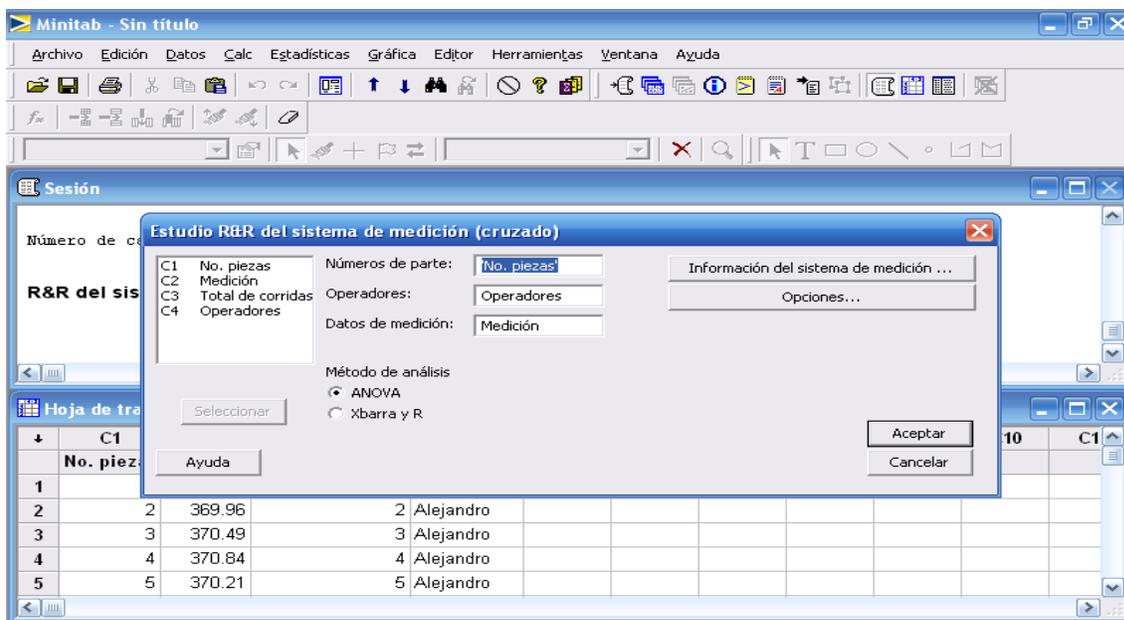


9.- Al introducir todas la mediciones obtenidas, por los diferentes operadores, se repite el paso 1. 2, 3, y después de estos pasos se da clic en “estudio de R&R del sistema de medición (cruzado)...”

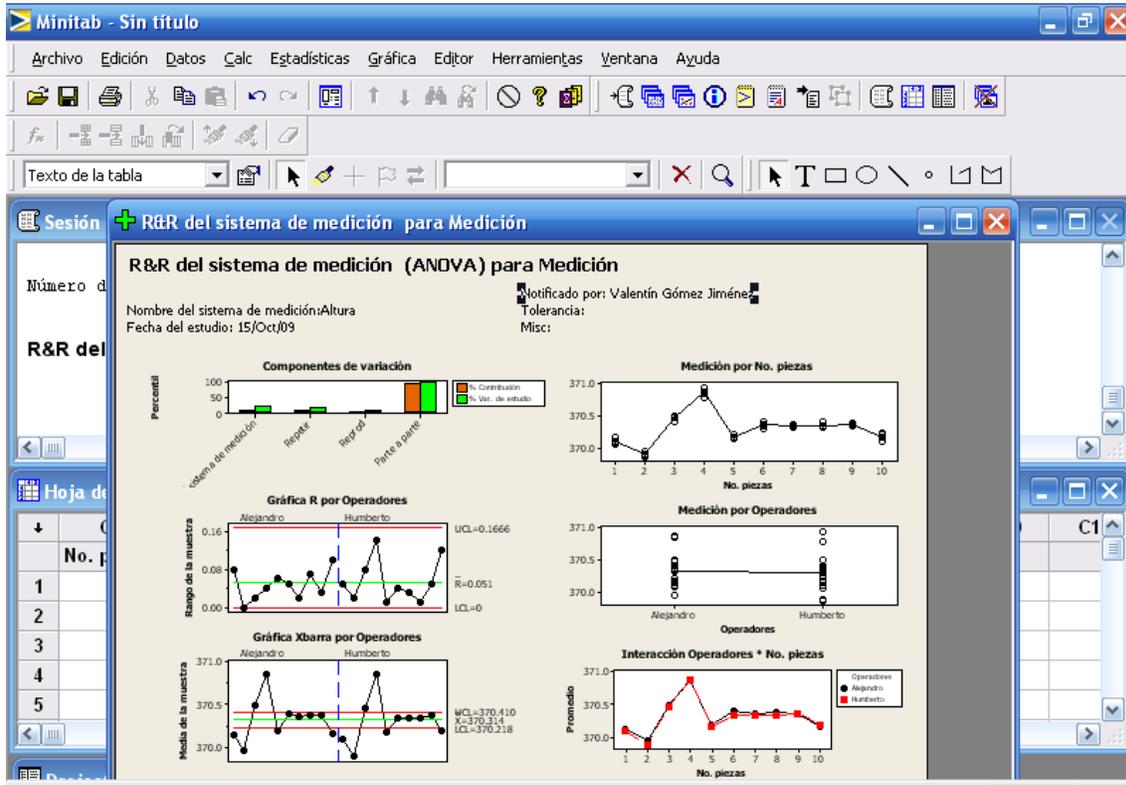


10- El programa arroja una tabla para inserta los datos de la columna, c1=No. De piezas, c2=Medición (lecturas obtenidas), c3=total de corridas, c4=Operadores. Dar clic en aceptar, y a continuación se observaran los resultados obtenidos.

Nota: se observa que se puede elegir por el método de medias y rangos o por el método de ANOVA, esto es a criterio del que este realizando el estudio de R&R.



11.- Gráfico obtenida por el programa estadístico minitab.



12.- Datos o resultados obtenidos.

	C1	C2	C3	C4-T	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
	No. piezas	Medición	Total de corridas	Operadores							
1	1	370.09		1 Alejandro							
2	2	369.96		2 Alejandro							
3	3	370.49		3 Alejandro							
4	4	370.84		4 Alejandro							
5	5	370.21		5 Alejandro							

13.- Resultados obtenidos

R&R del sistema de medición para Medición

Estudio R&R del sistema de medición - método ANOVA

Tabla ANOVA de dos factores con interacción

Alfa para eliminar el término de interacción = 0.25

Tabla ANOVA dos factores sin interacción

Fuente	GL	SC	MC	F	P
No. piezas	9	2.26866	0.252073	152.136	0.000
Operadores	1	0.00625	0.006250	3.772	0.062
Repetibilidad	29	0.04805	0.001657		
Total	39	2.32296			

R&R del sistema de medición

Fuente	VarComp	%Contribución (de VarComp)
R&R del sistema de medición total	0.0018866	2.93
Repetibilidad	0.0016569	2.57
Reproducibilidad	0.0002297	0.36
Operadores	0.0002297	0.36
Parte a parte	0.0626041	97.07
Variación total	0.0644907	100.00

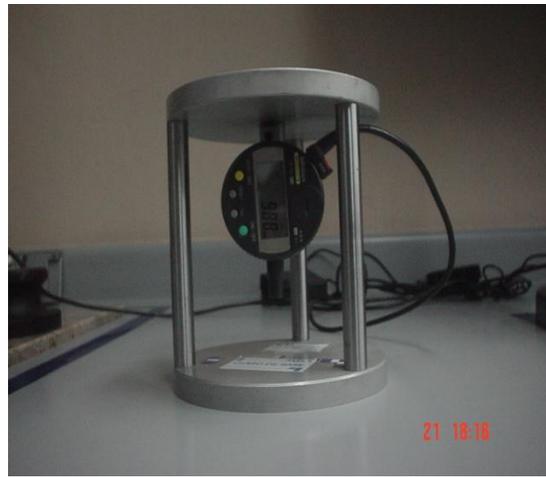
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. de estudio (6 * SD)
R&R del sistema de medición total	0.043434	0.26061
Repetibilidad	0.040705	0.24423
Reproducibilidad	0.015154	0.09093
Operadores	0.015154	0.09093
Parte a parte	0.250208	1.50125
Variación total	0.253950	1.52370

Fuente	%Var. de estudio (%SV)
R&R del sistema de medición total	17.10
Repetibilidad	16.03
Reproducibilidad	5.97
Operadores	5.97
Parte a parte	98.53
Variación total	100.00

Número de categorías distintas = 8

Anexo C

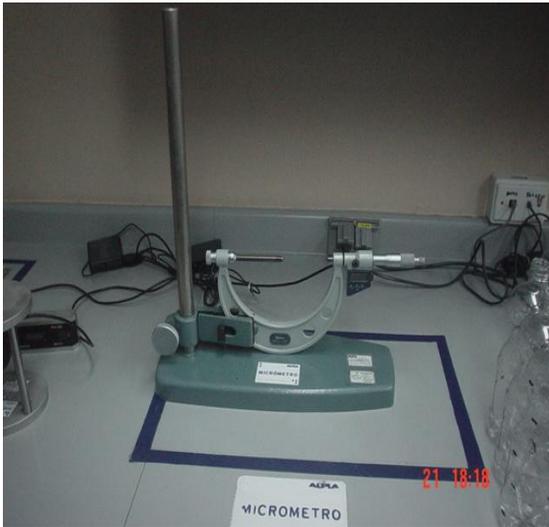
Fotografías de Instrumentos de Medición y Botellas para Pruebas de R&R.



Fotografía C-1 Medidor de claro de base.
Fuente: laboratorio de calidad.



Fotografías C-2 Medidor de altura.
Fuente: laboratorio de calidad.

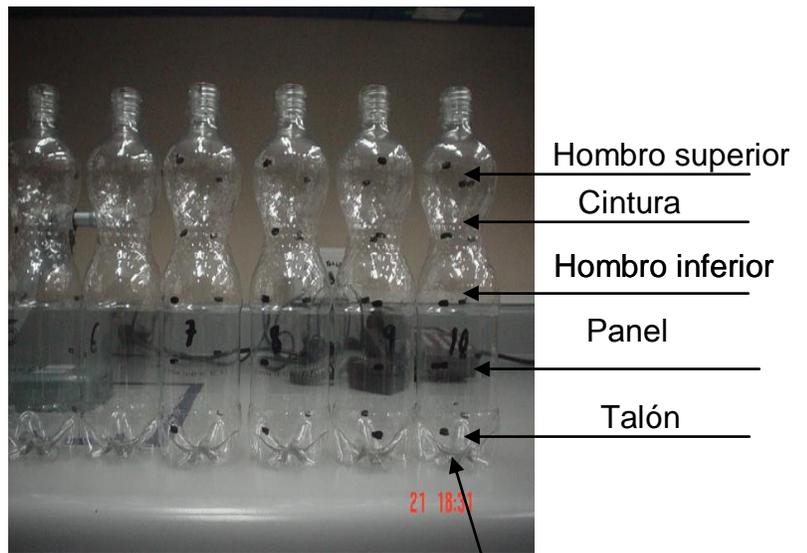


Fotografías C-3 Micrómetro para medir espesores.
Fuente: laboratorio de calidad.

Botellas para pruebas de R&R



Fotografías C-4 Medidor de altura.
Fuente: Laboratorio de calidad.



Fotografías C-5 Botella Splash 600 ml.
Fuente: laboratorio de calidad

Claro de base

Anexo D

Formatos para la Recolección de Datos

Altura

ALTURA		
	EQUIPO A	
Inspector 1	Inspector 2	
HGL	AML	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
370,07	370,09	370,08
369,87	369,96	369,92
370,42	370,49	370,46
370,93	370,84	370,89
370,17	370,21	370,19
370,31	370,42	370,37
370,33	370,35	370,34
370,34	370,41	370,38
370,39	370,35	370,37
370,12	370,21	370,17
2da Medición	2da Medición	
370,12	370,17	370,15
369,89	369,96	369,93
370,5	370,47	370,49
370,79	370,88	370,84
370,16	370,15	370,16
370,35	370,37	370,36
370,36	370,37	370,37
370,33	370,34	370,34
370,34	370,38	370,36
370,24	370,11	370,18

ALTURA		
	EQUIPO B	
Inspector 1	Inspector 2	
AMM	WAE	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
370,1	370,01	370,06
370,05	369,9	369,98
370,42	370,44	370,43
370,85	370,87	370,86
370,2	370,35	370,28
370,35	370,33	370,34
370,43	370,36	370,40
370,31	370,33	370,32
370,3	370,36	370,33
370,13	370,15	370,14
2da Medición	2da Medición	
370,15	370,06	370,11
370,14	369,95	370,05
370,55	370,46	370,51
370,84	370,86	370,85
370,3	370,34	370,32
370,4	370,38	370,39
370,42	370,33	370,38
370,44	370,33	370,39
370,32	370,36	370,34
370,22	370,15	370,19

ALTURA	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
370,08	370,06
369,92	369,98
370,46	370,43
370,89	370,86
370,19	370,28
370,37	370,34
370,34	370,40
370,38	370,32
370,37	370,33
370,17	370,14
2da Medición	2da Medición
370,15	370,11
369,93	370,05
370,49	370,51
370,84	370,85
370,16	370,32
370,36	370,39
370,37	370,38
370,34	370,39
370,36	370,34
370,18	370,19

Hombro superior

HOMBRO SUPERIOR		
	EQUIPO A	
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
67,378	67,203	67,29
67,307	67,245	67,28
67,366	67,191	67,28
67,317	67,101	67,21
67,301	67,148	67,22
67,318	67,054	67,19
67,304	67,21	67,26
67,323	67,155	67,24
67,331	67,026	67,18
67,303	67,105	67,20
2da Medición	2da Medición	
67,373	67,243	67,31
67,304	67,27	67,29
67,364	67,173	67,27
67,314	67,12	67,22
67,303	67,134	67,22
67,32	67,021	67,17
67,303	67,236	67,27
67,325	67,141	67,23
67,312	67,081	67,20
67,325	67,111	67,22

HOMBRO SUPERIOR		
	EQUIPO B	
AMM	WAE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
67,087	67,634	67,36
67,193	67,301	67,25
67,093	67,387	67,24
67,086	67,062	67,07
67,077	67,196	67,14
67,087	67,202	67,14
67,075	67,331	67,20
67,097	67,242	67,17
67,102	67,456	67,28
67,169	67,287	67,23
2da Medición	2da Medición	
67,086	67,622	67,35
67,099	67,223	67,16
67,099	67,218	67,16
67,096	67,224	67,16
67,087	67,262	67,17
67,09	67,136	67,11
67,092	67,337	67,21
67,088	67,21	67,15
67,106	67,455	67,28
67,164	67,271	67,22

HOMBRO SUPERIOR	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
67,29	67,36
67,28	67,25
67,28	67,24
67,21	67,07
67,22	67,14
67,19	67,14
67,26	67,20
67,24	67,17
67,18	67,28
67,20	67,23
2da Medición	2da Medición
67,31	67,35
67,29	67,16
67,27	67,16
67,22	67,16
67,22	67,17
67,17	67,11
67,27	67,21
67,23	67,15
67,20	67,28
67,22	67,22

Hombro inferior

HOMBRO INFERIOR		
	EQUIPO A	
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
71,305	71,308	71,31
71,302	71,306	71,30
71,304	71,323	71,31
71,316	71,324	71,32
71,314	71,351	71,33
71,306	71,335	71,32
71,304	71,299	71,30
71,309	71,355	71,33
71,308	71,334	71,32
71,303	71,329	71,32
2da Medición	2da Medición	
71,304	71,326	71,32
71,308	71,323	71,32
71,304	71,291	71,30
71,318	71,332	71,33
71,316	71,356	71,34
71,309	71,323	71,32
71,305	71,318	71,31
71,306	71,336	71,32
71,304	71,329	71,32
71,307	71,323	71,32

HOMBRO INFERIOR		
	EQUIPO B	
AMM	WBE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
71,302	71,3	71,30
71,317	71,352	71,33
71,312	71,308	71,31
71,319	71,353	71,34
71,319	71,355	71,34
71,317	71,355	71,34
71,314	71,304	71,31
71,314	71,36	71,34
71,318	71,401	71,36
71,317	71,365	71,34
2da Medición	2da Medición	
71,306	71,355	71,33
71,314	71,356	71,34
71,316	71,302	71,31
71,318	71,357	71,34
71,312	71,361	71,34
71,303	71,26	71,28
71,312	71,3	71,31
71,319	71,402	71,36
71,319	71,402	71,36
71,317	71,366	71,34

HOMBRO INFERIOR	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
71,31	71,30
71,30	71,33
71,31	71,31
71,32	71,34
71,33	71,34
71,32	71,34
71,30	71,31
71,33	71,34
71,32	71,36
71,32	71,34
2da Medición	2da Medición
71,32	71,33
71,32	71,34
71,30	71,31
71,33	71,34
71,34	71,34
71,32	71,28
71,31	71,31
71,32	71,36
71,32	71,36
71,32	71,34

Cintura

CINTURA		
EQUIPO A		
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
46,537	46,19	46,36
46,286	46,154	46,22
46,112	46,101	46,11
46,148	46,173	46,16
46,231	46,185	46,21
46,252	46,302	46,28
46,221	46,213	46,22
46,212	46,246	46,23
46,334	46,257	46,30
46,257	46,166	46,21
2da Medición	2da Medición	
46,187	46,108	46,15
46,234	46,08	46,16
46,216	46,097	46,16
46,231	46,168	46,20
46,245	46,153	46,20
46,212	46,135	46,17
46,256	46,167	46,21
46,205	46,192	46,20
46,262	46,295	46,28
46,257	46,168	46,21

CINTURA		
EQUIPO B		
AMM	WAE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
46,852	46,746	46,80
46,869	46,128	46,50
46,874	46,641	46,76
46,869	46,853	46,86
46,876	46,847	46,86
46,918	46,519	46,72
46,866	46,309	46,59
46,878	46,218	46,55
46,899	46,191	46,55
46,864	46,854	46,86
2da Medición	2da Medición	
46,869	46,398	46,63
46,869	46,851	46,86
46,873	46,977	46,93
46,869	46,875	46,87
46,868	47,063	46,97
46,908	46,096	46,50
46,879	46,311	46,60
46,868	46,752	46,81
46,867	46,66	46,76
46,868	46,001	46,43

CINTURA	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
46,36	46,80
46,22	46,50
46,11	46,76
46,16	46,86
46,21	46,86
46,28	46,72
46,22	46,59
46,23	46,55
46,30	46,55
46,21	46,86
2da Medición	2da Medición
46,15	46,63
46,16	46,86
46,16	46,93
46,20	46,87
46,20	46,97
46,17	46,50
46,21	46,60
46,20	46,81
46,28	46,76
46,21	46,43

Panel

Panel		
	EQUIPO A	
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
67,707	67,722	67,71
67,788	67,786	67,79
67,638	67,62	67,63
67,634	67,645	67,64
67,761	67,806	67,78
67,661	67,747	67,70
67,751	67,729	67,74
67,706	67,59	67,65
67,786	67,748	67,77
67,758	67,776	67,77
2da Medición	2da Medición	
67,703	67,584	67,64
67,76	67,778	67,77
67,7	67,716	67,71
67,703	67,644	67,67
67,881	67,834	67,86
67,72	67,702	67,71
67,861	67,772	67,82
67,744	67,573	67,66
67,859	67,784	67,82
67,817	67,773	67,80

Panel		
	EQUIPO B	
AMM	WAE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
67,67	67,7	67,69
67,704	67,809	67,76
67,687	67,568	67,63
67,674	67,707	67,69
67,717	67,865	67,79
67,688	67,702	67,70
67,698	67,715	67,71
67,693	67,59	67,64
67,663	67,843	67,75
67,676	67,776	67,73
2da Medición	2da Medición	
67,676	67,726	67,70
67,705	67,802	67,75
67,688	67,606	67,65
67,685	67,785	67,74
67,712	67,865	67,79
67,683	67,767	67,73
67,687	67,784	67,74
67,678	67,666	67,67
67,672	67,743	67,71
67,675	67,797	67,74

Panel	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
67,71	67,69
67,79	67,76
67,63	67,63
67,64	67,69
67,78	67,79
67,70	67,70
67,74	67,71
67,65	67,64
67,77	67,75
67,77	67,73
2da Medición	2da Medición
67,64	67,70
67,77	67,75
67,71	67,65
67,67	67,74
67,86	67,79
67,71	67,73
67,82	67,74
67,66	67,67
67,82	67,71
67,80	67,74

Talón

Talón		
	EQUIPO A	
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
71,604	71,482	71,54
71,606	71,447	71,53
71,601	71,37	71,49
71,597	71,454	71,53
71,603	71,498	71,55
71,617	71,533	71,58
71,601	71,523	71,56
71,501	71,35	71,43
71,616	71,55	71,58
71,609	71,422	71,52
2da Medición	2da Medición	
71,609	71,466	71,54
71,605	71,356	71,48
71,604	71,363	71,48
71,6	71,505	71,55
71,609	71,466	71,54
71,614	71,311	71,46
71,603	71,589	71,60
71,501	71,325	71,41
71,615	71,538	71,58
71,607	71,481	71,54

Talón		
	EQUIPO B	
AMM	WAE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
71,59	71,55	71,57
71,57	71,56	71,57
71,502	71,456	71,48
71,595	71,551	71,57
71,559	71,558	71,56
71,57	71,56	71,57
71,607	71,601	71,60
71,43	71,4	71,42
71,665	71,661	71,66
71,656	71,65	71,65
2da Medición	2da Medición	
71,602	71,6	71,60
71,452	71,455	71,45
71,462	71,46	71,46
71,593	71,593	71,59
71,553	71,551	71,55
71,659	71,656	71,66
71,653	71,651	71,65
71,657	71,655	71,66
71,607	71,604	71,61
71,659	71,654	71,66

Talón	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
71,54	71,57
71,53	71,57
71,49	71,48
71,53	71,57
71,55	71,56
71,58	71,57
71,56	71,60
71,43	71,42
71,58	71,66
71,52	71,65
2da Medición	2da Medición
71,54	71,60
71,48	71,45
71,48	71,46
71,55	71,59
71,54	71,55
71,46	71,66
71,60	71,65
71,41	71,66
71,58	71,61
71,54	71,66

Claro De base

Claro de base		
	EQUIPO A	
HGL	AML	
Inspector 1A	Inspector 2A	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
2,93	2,94	2,94
2,88	3,12	3,00
2,93	3	2,97
2,88	2,87	2,88
3,14	2,95	3,05
3,19	3,07	3,13
2,98	3,14	3,06
3,22	3,29	3,26
2,91	3,93	3,42
2,88	3,92	3,40
2da Medición	2da Medición	
2,93	2,92	2,93
2,96	2,98	2,97
2,91	2,92	2,92
2,87	2,88	2,88
3	3,06	3,03
2,91	2,91	2,91
2,81	3,01	2,91
3,23	3,24	3,24
2,91	3,09	3,00
2,99	2,88	2,94

Claro de base		
	EQUIPO B	
AMM	WAE	
Inspector 1B	Inspector 2B	
1ra Medición	1ra Medición	Promedio
2,95	2,94	2,95
3,12	3	3,06
3,89	2,91	3,40
2,85	2,85	2,85
2,82	2,86	2,84
3,01	2,87	2,94
3,56	2,98	3,27
3,18	3,13	3,16
3,15	2,92	3,04
2,86	2,89	2,88
2da Medición	2da Medición	
2,91	2,94	2,93
3,18	3,95	3,57
3,87	2,87	3,37
2,84	2,84	2,84
2,89	2,85	2,87
2,99	2,86	2,93
3,52	2,81	3,17
3,16	3,2	3,18
3,12	2,9	3,01
2,85	2,85	2,85

Claro de base	
PROMEDIOS	
PROMEDIO EQUIPO A	PROMEDIO EQUIPO B
1ra Medición	1ra Medición
2,94	2,95
3,00	3,06
2,97	3,40
2,88	2,85
3,05	2,84
3,13	2,94
3,06	3,27
3,26	3,16
3,42	3,04
3,40	2,88
2da Medición	2da Medición
2,93	2,93
2,97	3,57
2,92	3,37
2,88	2,84
3,03	2,87
2,91	2,93
2,91	3,17
3,24	3,18
3,00	3,01
2,94	2,85

Glosario

Sistema de medición: sistema de medición basándose en MSA (2002) (Measurement System Analysis) el cual establece como “la colección de instrumentos, estándares, operaciones, métodos, equipo de sujeción (mixtures), software, personal, medio ambiente y suposiciones usadas para cuantificar una unidad de medida o para asignar una evaluación a la característica que está siendo medida”).

AIAG's: Automotive Industry Action Group.

Calibración: Conjunto de operaciones que establecen, en condiciones especificadas, la relación entre los valores de una magnitud indicados por un instrumento de medición o por un sistema de medición, o los valores representados por una medida materializada o por un material de referencia, y los valores correspondientes a esa magnitud materializados por patrones.

Especificación: exigencia o requisito que debe cumplir un producto, un proceso o un servicio, ya que siempre el procedimiento por medio del cual puede determinarse si el requisito exigido es satisfactorio. Una especificación puede ser una norma, pero generalmente hace parte de esta.

Patrón: Medida materializada, instrumento de medición, material de referencia o sistema de medición destinado a definir, materializar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para que sirva de referencia.

Población: Son todos los elementos que forman parte de un grupo en el que se interesa.

Tolerancia: Se define como campo de tolerancia la imprecisión de mecanización admisible, es decir, la diferencia entre las dimensiones límites, entre las que puede variar una cota sin comprometer la funcionabilidad y el intercambio de un elemento dado.

Marco de muestreo: Es el listado, base de datos, o cualquier identificador específico de todos los elementos que se incluirán en la muestra.

Unidad de muestreo: es el elemento real sujeto de muestreo.

Gage o Gauge: Instrumento de medición.

Abreviaturas

SGA: Sistema de Gestión Alimenticia (ISO 22000).

LSC: Límite Superior de Control.

LIC: Límite Inferior de Control.

GC: Gráfico de Control

Cp: Índice de Capacidad Potencial.

Cpk: Índice de capacidad real.

R&R: Repetibilidad y Reproducibilidad

IMER: Reciclaje de material

H₀: Hipótesis nula.

H₁: Hipótesis alternativa

GL: Grados de Libertad

MSA: Measurement System Análisis (Análisis de sistemas de mediciones).