



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO.**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTILÁN.**

**“APLICACIÓN DEL CONTROL ESTADÍSTICO DE  
PROCESOS EN LA MANUFACTURA DE VÁLVULAS  
INDUSTRIALES PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
CALIDAD”**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**P R E S E N T A:**

**J O R G E L Ó P E Z L Ó P E Z**

**A S E S O R:**

**ING. MARCOS BELISARIO GONZÁLEZ LORIA**

**CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO. 2013**



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN  
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES

ASUNTO: VOTO APROBATORIO



DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN  
PRESENTE

ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos a comunicar a usted que revisamos LA TESIS:

"Aplicación del Control Estadístico de Procesos en la Manufactura de Válvulas Industriales Para el Mejoramiento de la Calidad".

Que presenta el pasante: JORGE LÓPEZ LÓPEZ

Con número de cuenta: 40901046-6 para obtener el Título de: Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 29 de Julio de 2013.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	M.A. Diana Fabiola Arce Zaragoza	
VOCAL	Ing. Gabriel Vázquez Castillo	
SECRETARIO	Ing. Marcos Belisario González Loria	
1er SUPLENTE	M.E.M. Carlos Oropeza Legorreta	
2do SUPLENTE	Ing. Fernando Fierro Téllez	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional [art. 127].

HHA/Vc

## **Agradecimientos.**

### **A Dios...**

*Por darme la vida y sustento incondicional en todo momento, infinitamente agradecido.*

### **A mi familia...**

*Por ser el pilar más importante, por demostrarme siempre su cariño y apoyo ilimitado al estar conmigo en las buenas y en las malas creyendo firmemente en mí.*

### **A la UNAM – FESC...**

*Por haber permitido desarrollarme plenamente en mi formación académica.*

### **Al Sistema de Becas para Estudiantes Indígenas...**

*Por brindarme la oportunidad de demostrar que se puede generar un mejor futuro a través del estudio cuando se nos da la confianza y apoyo.*

*Al Ing. Marcos Belisario González Loria, asesor de tesis, por su valiosa guía y asesoramiento para la realización de la misma.*

## Índice.

Resumen. ....	1
Introducción. ....	2
Objetivos. ....	4
Objetivo general. ....	4
Objetivos particulares. ....	4
Planteamiento del problema. ....	5
Justificación. ....	5
Delimitación. ....	6
Capítulo 1. Fundamentación teórica sobre el control de calidad y control estadístico de procesos. ....	7
1.1 Control de calidad. ....	7
1.1.1 Definición de calidad. ....	7
1.1.2 Antecedentes del Control de Calidad. ....	8
1.1.3 Principales filosofías de control estadístico de procesos. ....	11
1.1.3.1 Ciclo Shewhart/Deming. ....	11
1.1.3.2 Seis Sigma. ....	12
1.1.3.3 Sistema de control de calidad cero y poka – yoke. ....	15
1.1.4 Las siete herramientas básicas del control de calidad. ....	17
1.1.4.1 Cuadro de Pareto: el principio de pocos vitales, muchos triviales. ....	18
1.1.4.2 Diagrama causa – efecto. ....	20
1.1.4.3 Estratificación. ....	21
1.1.4.4 Hojas de verificación. ....	21
1.1.4.5 Histograma. ....	22
1.1.4.6 Diagrama de dispersión. ....	23
1.2 Control estadístico de procesos. ....	24
1.2.1 Variación. ....	25
1.2.1.1 Variaciones aleatorias. ....	25
1.2.1.2 Variaciones asignables. ....	26
1.2.1.3 Fuentes de variación. ....	26

1.2.2	Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).....	27
1.2.2.1	Elementos hoja de cálculo AMEF.....	28
1.2.3	Mapa de proceso.....	29
1.2.3.1	Símbolos estandarizados del mapa de proceso.....	30
1.2.4	Calidad de mediciones. Repetibilidad y reproducibilidad.....	31
1.2.4.1	Estudio R&R para atributos.....	33
1.2.5	Índices de capacidad.....	34
1.2.5.1	Capacidad de proceso.....	34
1.2.5.2	Estabilidad de proceso.....	37
1.2.5.3	Métricas Seis Sigma para atributos.....	37
1.2.5.4	Estado del proceso.....	38
1.2.6	Gráficas de control.....	39
1.2.6.1	Gráficas de control por variables (gráficas X – R).....	41
1.2.6.2	Gráficas de control por atributos.....	43
1.2.7	Muestreo de aceptación.....	46
1.2.7.1	Tipos de planes de muestreo.....	48
Capítulo 2.	Válvulas industriales.....	52
2.1	Definición.....	52
2.2	Características.....	53
2.2.1	Tipos de asientos.....	54
2.2.1.1	Asientos Estáticos.....	54
2.2.1.2	Asientos Dinámicos.....	54
2.2.1.3	Asiento metal – metal.....	55
2.2.1.4	Asiento Suave.....	55
2.2.1.5	Asiento por lubricación.....	56
2.2.2	Clase.....	57
2.2.3	Materiales de construcción.....	58
2.2.3.1	Arreglo de interiores TRIM.....	59
2.2.4	Tipos de extremos.....	59
2.3	Clasificación de las válvulas industriales.....	60
2.3.1	Seccionamiento.....	60

2.3.2 Regulación.....	62
2.3.3 Contrarretorno. ....	63
2.4 Normas de diseño y pruebas. ....	64
2.5 Pruebas. ....	66
2.5.1 Pruebas no destructivas. ....	66
2.5.1.1 Método de Líquidos Penetrantes .....	66
2.5.1.2 Método de Partículas Magnéticas.....	67
2.5.1.3 Método de Ultrasonido Industrial. ....	68
2.5.1.4 Método de Radiografía Industrial.....	68
2.5.2 Prueba hidrostática. ....	69
2.6 Línea de fabricación.....	70
Capítulo 3. Aplicación de los métodos estadísticos. ....	73
3.1 Introducción. ....	73
3.2 Identificación de las etapas del proceso de manufactura de válvulas industriales. ....	73
3.2.1 Recepción de materia prima. ....	74
3.2.2 Maquinado de componentes.....	75
3.2.3 Ensamble.....	75
3.2.4 Pruebas hidrostáticas. ....	75
3.2.5 Detallado final y pintura. ....	76
3.3 Diagnóstico interno. ....	77
3.4 Aplicación del modelo DMAMC en la línea mediana de válvulas industriales...80	
3.4.1 Fase de definición.....	81
3.4.1.1 Problema. ....	81
3.4.1.2 Identificación de cliente. ....	82
3.4.1.3 Objetivo de caso.....	82
3.4.1.4 Meta del caso. ....	82
3.4.1.5 Mapa del flujo del proceso de elaboración y colocación de placas de identificación. ....	82
3.4.2 Fase de medición. ....	83
3.4.2.1 Tipo de información a medir. ....	83

3.4.2.2 Análisis de modo y efecto de falla. ....	85
3.4.2.3 Análisis del sistema de medición. R&R para atributos. ....	86
3.4.3 Fase de análisis. ....	92
3.4.3.1 Estado del proceso. ....	92
3.4.3.2 Métricas Seis Sigma del caso. ....	95
3.4.3.3 Causas de variación del caso. ....	97
3.4.4 Fase de mejora. ....	100
3.4.5 Fase de control. ....	102
Resultados. ....	105
Incremento del rendimiento y capacidad productiva. ....	105
Decremento de costos de fabricación. ....	106
Mejora de la calidad del producto. ....	106
Conclusiones. ....	107
Bibliografía. ....	109
Anexos. ....	111
Anexo 1. Grado de severidad. ....	111
Anexo 2. Clasificaciones de incidencia (OCU). ....	112
Anexo 3. Clasificación de detección (DET). ....	112
Anexo 4. Arreglo de interiores. ....	113
Anexo 5. Estándares y códigos aplicables. ....	116

## Índice de Figuras.

Figura 1.1. Ciclo PHVA. ....	11
Figura 1.2. Ciclo de acción error/prevención. ....	17
Figura 1.3. Tipos de relación. ....	23
Figura 1.4. Grado de relación. ....	24
Figura 1.5. Símbolos estandarizados del mapa de proceso. ....	30
Figura 1.6. Fuentes de variabilidad en las mediciones. ....	31
Figura 1.7. Valores de $C_p$ y su interpretación. ....	36

Figura 1.8. Índice $C_p$ en términos de la cantidad de piezas malas.....	36
Figura 1.9. Los cuatro estados de un proceso.....	39
Figura 1.10. Posibles estados de un proceso en función de los índices de inestabilidad y capacidad.....	39
Figura 1.11. Gráfica de control.....	40
Figura 1.12. Constantes para las gráficas y R.....	43
Figura 1.13. Relación de muestra vs población.....	48
Figura 1.14. Modificación de la inspección en MIL-STD-105E.....	51
Figura 2.1. Componentes de una válvula.....	53
Figura 2.2. Válvula de compuerta con sello metal – metal.....	55
Figura 2.3. Válvula de bola con asiento suave.....	56
Figura 2.4. Válvula macho con asiento lubricado.....	56
Figura 2.5. Clase.....	57
Figura 2.6. Tipos de extremos de válvulas.....	60
Figura 2.7. Válvula de compuerta.....	61
Figura 2.8. Válvula macho.....	61
Figura 2.9. Válvula de bola.....	62
Figura 2.10. Válvula globo.....	63
Figura 2.11. Válvula retención.....	64
Figura 2.12. Doble bloqueo y purga.....	65
Figura 2.13. Aplicación de la técnica de líquidos penetrantes visibles.....	67
Figura 2.14. Imagen Radiográfica de una falta de penetración.....	68
Figura 2.15. Prueba hidrostática de casco en una válvula de retención.....	69
Figura 2.16. Línea de fabricación de válvulas de acero fundido.....	71
Figura 2.17. Línea de fabricación válvulas de bola trunnion.....	72
Figura 2.18. Línea de fabricación válvulas de bola flotante.....	72
Figura 3.1. Etapas del proceso de fabricación de válvulas industriales.....	74
Figura 3.2. Tabla de defectos empleada en la inspección de válvulas.....	77
Figura 3.3. Relación de cantidades liberadas por mes contra cantidad de piezas con defecto.....	78
Figura 3.4. Histograma con los principales problemas en el producto.....	79

Figura 3.5. Diagrama de Pareto.....	79
Figura 3.6. Lista de verificación de válvulas como producto terminado.....	81
Figura 3.7. Mapas de proceso: elaboración y colocación de placas de identificación.....	83
Figura 3.8. Estratificación de caso: placas de identificación.....	84
Figura 3.9. Primera parte del AMEF.....	85
Figura 3.10. Datos para el estudio de R&R.....	88
Figura 3.11. Resumen de acuerdos y desacuerdos.....	89
Figura 3.12. Resultados de repetibilidad.....	90
Figura 3.13. Resultados de Reproducibilidad.....	91
Figura 3.14. Reporte de estudio R&R.....	91
Figura 3.15. Datos de línea mediana, Febrero – Marzo de 2013.....	93
Figura 3.16. Gráfica de control $p$ con límites variables.....	94
Figura 3.17. Estado del proceso: inestable e incapaz.....	95
Figura 3.18. Datos para análisis del caso.....	97
Figura 3.19. Diagrama de Pareto por defectos.....	98
Figura 3.20. Diagrama de Ishikawa.....	99
Figura 3.21. Mejoramiento del sistema de medición a través de la capacitación....	101
Figura 3.22. Identificación de material en proceso.....	102
Figura 3.23. Segunda parte del AMEF.....	103

## Índice de Ecuaciones.

Ecuación 1. Variabilidad total.....	32
Ecuación 2. Error del instrumento.....	32
Ecuación 3. Error del operador.....	32
Ecuación 4. Variabilidad de las mediciones.....	32
Ecuación 5. Desacuerdos posibles.....	33
Ecuación 6. Total de desacuerdos del estudio.....	33
Ecuación 7. Capacidad de proceso.....	34

Ecuación 8. Índice de capacidad potencial del proceso.....	35
Ecuación 9. Índice de inestabilidad.....	37
Ecuación 10. Defectos por unidad.....	38
Ecuación 11. Defectos por oportunidad.....	38
Ecuación 12. Límite de control inferior. Gráfica x.....	42
Ecuación 13. Límite de control superior. Gráfica x.....	42
Ecuación 14. Límite de control inferior. Gráfica R.....	42
Ecuación 15. Límite de control superior. Gráfica R.....	42
Ecuación 16. Proporción de unidades defectuosas.....	44
Ecuación 17. Centro de gráfica p.....	44
Ecuación 18. Límite de control inferior. Gráfica p.....	44
Ecuación 18a. Límite de control superior. Gráfica p.....	44
Ecuación 19. Desviación estándar en la distribución de binomio.....	45
Ecuación 20. Centro de gráfica c.....	45
Ecuación 21. Límite de control inferior. Gráfica c.....	46
Ecuación 22. Límite de control superior. Gráfica c.....	46
Ecuación 23. Desacuerdos posibles por pieza.....	88
Ecuación 24. Desacuerdos totales del estudio.....	89
Ecuación 25. Nivel de desacuerdo del estudio.....	89
Ecuación 26. Desacuerdos por repetibilidad.....	90
Ecuación 27. Centro gráfica p del estudio.....	93
Ecuación 28. Límite de control inferior del estudio. Gráfica p.....	94
Ecuación 29. Límite de control superior del estudio. Gráfica p.....	94
Ecuación 30. Índice de inestabilidad del estudio.....	95
Ecuación 31. Defectos por unidad del estudio.....	96
Ecuación 32. Defectos por oportunidad del estudio .....	96
Ecuación 33. Índice de defectos por millón de oportunidades del estudio.....	96
Ecuación 34. Rendimiento del proceso.....	96

## **Resumen.**

El siguiente trabajo muestra un compromiso constante con la industria. La aplicación de los conocimientos conseguidos en la formación académica debe ser integra y contundente, con el único fin de servir a la comunidad y ser parte eficiente del desarrollo industrial de nuestro país.

En el primer capítulo se fundamenta el control de calidad, las herramientas básicas y el control estadístico de procesos. En el segundo capítulo se describen las características generales de las válvulas industriales, los principales tipos, así como sus aplicaciones.

A partir del sustento teórico, en el tercer capítulo, se identifican y analizan las principales etapas del proceso de manufactura de las válvulas. En seguida, se realiza un diagnóstico de una línea de ensamble, el cual, nos permite vislumbrar las principales problemáticas de la producción de válvulas industriales.

Encontrados los problemas, se escoge un caso al cual se le aplica el modelo DMAMC, así, se pone en marcha el control estadístico de procesos.

Finalmente se analizan los resultados, se describen las mejoras de calidad y las ventajas de la aplicación del control estadístico de procesos, culminando con la conclusión del presente trabajo.

## **Introducción.**

El creciente desarrollo industrial y la competitividad global han generado una ardua carrera de mejoramiento de productos para satisfacer las diferentes necesidades de los clientes, haciendo hincapié en la calidad de los mismos. En consecuencia, el control de calidad juega un papel importante para lograr ese objetivo.

La industria petrolera de nuestro país esta bien consolidada, siendo uno de los principales generadores de empleo. Unos de los dispositivos más empleados en cada planta de extracción, refinación o distribución de petróleo son las válvulas. La manufactura de válvulas industriales crea fuentes de empleo indirectos y es en este sector donde se aplica el presente trabajo. Cada válvula evaluada cumple con estrictos estándares, normas y especificaciones internacionales.

Los clientes quieren comprar productos y servicios de la más alta calidad al menor costo, así como las compañías quieren producir bienes y servicios de la más alta calidad al más bajo costo. En consecuencia, la calidad implica el medio de interacción de la compañía y consumidor.

En la actualidad, un proceso industrial está sometido a factores de carácter aleatorio, por ende, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. El control estadístico de procesos es una herramienta útil que permite reducir éste problema y su aplicación en el momento de la producción contribuye a la mejora de la calidad. Sin embargo, no se limita solo a esta característica, también permite agilizar la producción, evitar los retrabajos y mejorar los costos.

El resultado final de un producto o servicio esta manifestado por lo que pasa durante su proceso. El control estadístico de calidad juega un papel importante al definir características críticas de calidad de un producto sobre el cual se define el problema,

se encuentran y analizan las fuentes de variabilidad para así controlarlo permanentemente en vista de una mejora continua.

El control estadístico de procesos brinda instrumentos universales mediante el uso sistemático de herramientas estadísticas, que identifican causas de raíz y llevan a la reducción de la variabilidad de productos y procesos. Permite tomar decisiones basadas en datos y ofrece una metodología estructurada para alcanzar mejoras rápidamente.

Cabe señalar que el trabajo esta directamente ligado a la industria, pues se analiza datos inmediatos y mejora realmente el control de procesos y la calidad de los productos en una planta de producción de válvulas industriales.

## **Objetivos.**

### **Objetivo general.**

⇒ Aplicar el control estadístico de procesos en la manufactura de válvulas industriales para mejorar la calidad del producto.

### **Objetivos particulares.**

⇒ Investigar la teoría sobre calidad y control estadístico de procesos.

⇒ Dar a conocer las generalidades de las válvulas industriales.

⇒ Hacer el diagnóstico interno del aseguramiento de calidad de una línea de ensamble.

⇒ Aplicar el modelo DMAMC para realizar el control estadístico de procesos.

## **Planteamiento del problema.**

La competitividad industrial hace que cada día sea un esfuerzo constante en mejorar productos. En la fabricación de válvulas industriales se requiere tener un buen control de calidad para ser líder en el mercado tanto nacional como internacional.

Actualmente no existe un control estadístico de procesos en la compañía. Solo se remite a realizar un muestreo de aceptación de producto terminado y el índice de rechazo es muy alto. Por lo tanto:

**¿Será que al aplicar el control estadístico de procesos en la manufactura de válvulas industriales se pueda tener un mejor control de calidad de producto?**

## **Justificación.**

Al comenzar a implantar el control estadístico de procesos se pueden tener muchos beneficios, para empezar, se identificarán las características críticas de calidad de las válvulas, se analizarán problemas y discutirán posibles soluciones debidamente documentadas para su control. Nos sirve para mejorar la calidad del producto, disminuir retrabajos y costos de fabricación, logrando mejorar precios y un mayor reconocimiento al fabricante.

Con esta implementación, el departamento de calidad puede tener un mejor control del aseguramiento del producto, una mejor rastreabilidad de fabricación, disminuir el índice de rechazos. En producción, se podrá agilizar tiempos y movimientos, mejorar el rendimiento productivo y agilizar tiempos de entrega. Además, admitirá la participación y trabajo en equipo con la intervención de las diferentes áreas de la compañía, lo que permitirá una mejor transmisión de información.

## **Delimitación.**

La compañía cuenta con almacén de materia prima, varias líneas de maquinados: cédula de maquinado de forjado, maquinado de fundiciones pequeñas y medianas, maquinados de fundiciones grandes, maquinado para válvulas de machos, líneas de ensamble de válvulas de acero fundido chica, mediana y grande, línea de ensamble de válvulas machos, válvulas de bola, válvulas de acero forjado.

Sin embargo, el trabajo se centrará en la línea mediana. En esta línea se ensamblan válvulas de acero fundido de compuerta API 600, globo B16.34 y retención API 6D. Además, solo se enfocará a un caso: placas de identificación.

# Capítulo 1. Fundamentación teórica sobre el control de calidad y control estadístico de procesos.

## 1.1 Control de calidad.

### 1.1.1 Definición de calidad.

De los muchos significados que tiene la calidad hay dos importantes que vemos día a día. Según Juran:

1. Calidad significa aquellas características del producto que se ajustan a las necesidades de los clientes y que por tanto le satisfacen. En este sentido, la calidad de nivel más alto normalmente << cuesta más >>.

2. Calidad significa ausencia de deficiencias: ausencia de errores que requieran rehacer el trabajo o que resulte en fallos de operación, insatisfacción del cliente, quejas del cliente etc.<sup>1</sup>

De esta forma, podemos indicar que cuando las características del producto se ajustan a las necesidades del cliente, permite hacer productos vendibles, responder a la competencia, incrementar la cuota de mercado, cobrar precios especiales entre otros; así, el efecto mayor está en las ventas. En el otro sentido, la ausencia de deficiencias permite reducir el promedio de errores, reducir los retrabajos, el desperdicio, los fallos de operación, la inspección y pruebas, incrementar rendimientos y capacidad de producción y por lo tanto mejorar los resultados en las entregas, aquí, el efecto mayor está en los costos.

---

<sup>1</sup> (M. Juran & A. Blanton, 2001)

Otra definición hecha por el Dr. Ishikawa es: practicar el control de calidad es desarrollar, diseñar, manufacturar y mantener un producto de calidad que sea el más económico, el más útil y siempre satisfactorio para el consumidor<sup>2</sup> ¿Cómo lograrlo? Iniciando con los altos ejecutivos y con educación como él mismo lo indica: la calidad inicia con educación y termina con educación.

### **1.1.2 Antecedentes del Control de Calidad.**

El control de calidad tiene sus orígenes con la misma aparición del hombre sobre la tierra. En cada momento de la historia se han encontrado evidencias de selección de herramientas, alimentos, viviendas, etc. Esto, a partir de una selección razonable aunada inconscientemente al control de calidad. Como se menciona a continuación:

Es difícil encontrar los orígenes del Control de Calidad. Podemos remontarnos a la edad antigua para ver los primeros vestigios sobre Control de Calidad. En el Egipto faraónico, y concretamente en la tumba de Tebas, aparecen figuras grabadas que indicaban la ejecución del esculpido de unos bloques de piedra y su posterior verificación. El Código de Hammurabi (1700 a. de C.) contemplaba que si una casa se derrumbaba por estar mal construida y perecían sus moradores, el albañil que la construyó era condenado a muerte. También los inspectores fenicios cortaban la mano a los que reiteradamente fabricaban productos defectuosos.<sup>3</sup>

Sin embargo, es hasta la revolución industrial cuando inicia el uso del control de calidad como una herramienta para eliminar productos defectuosos. A partir de la revolución industrial (siglos XIX y XX), la fabricación en serie y la subdivisión del trabajo en funciones da lugar a que haya unas personas dedicadas a la fabricación y otras a controlar la calidad de lo fabricado.<sup>4</sup>

---

<sup>2</sup> (Ishikawa, 1986, pág. 40)

<sup>3</sup> (Pérez López, 1999, pág. 75)

<sup>4</sup> (Pérez López, 1999, pág. 75)

El inicio del Control Estadístico de la Calidad moderno se remonta a 1924 en Norteamérica, cuando en los laboratorios de la Bell Telephone se aplicaron por primera vez gráficos estadísticos para el Control de Calidad de productos manufacturados diseñados por Walter A. Shewhart. En 1931 se publicó en Nueva York un libro titulado “Control Económico de calidad de productos manufacturados”.

El detonante principal para el desarrollo del control de calidad fue la segunda guerra mundial, los gastos de guerra obligó a la industria Norteamericana a aplicar cuadros de control apegado a una reorganización productiva lo que les permitió producir artículos militares a bajo costo y en gran cantidad.

En la década de los cuarenta comenzó el desarrollo y aplicación de tablas de muestreo para inspección, técnica que ya había sido iniciada a finales de las década de 1920 por Harod, Dodge, Roming y el sector manufacturero del sistema Bell, pero no por la industria en general, que aún no reconocía el valor del Control Estadístico de la Calidad. Se publicaron tablas de muestreo para usos militares y se aprobó su empleo por las fuerzas armadas derivado de la segunda guerra mundial (tablas Military Standar). Así, la producción norteamericana durante la guerra fue muy satisfactoria en términos cuantitativos, cualitativos y económicos, debido en parte de la introducción del control de calidad estadístico, que también estimuló los avances tecnológicos.<sup>5</sup>

Sin embargo, fue en Japón donde se ha desarrollado el control de calidad estadístico. A pesar de haber sido derrotados en la segunda guerra mundial, fue en este país donde se ha formado el carácter del verdadero control de calidad.

El Dr. William Edwards Deming, especialista en estadística, visitó Japón en 1950. Las industrias trataban de salir a flote, pero la calidad de los productos japoneses era muy inferior a la que presentaban los productos importados. El Dr. Deming, en una conferencia ante dirigentes de las grandes industrias, afirmó que si se implantaba en

---

<sup>5</sup> (Ishikawa, 1986, pág. 12)

sus fábricas un adecuado Control Estadístico de la Calidad, la marca Made in Japan llegaría a convertirse en símbolo de alta calidad.

En 1954 el Dr. J. M. Juran, experto en Control de Calidad, difunde el entusiasmo por los métodos estadísticos y los sistemas de Control de Calidad, no sólo entre los especialistas de cada empresa, sino también entre todos los dirigentes y mandos intermedios. El Dr. Juran marcó la transición en las actividades del control de calidad en el Japón: si antes se había ocupado principalmente de la tecnología en la planta, ahora se convierte en una inquietud global de toda la gerencia.<sup>6</sup>

El Dr. Kaoru Ishikawa sirve de columna vertebral en estos programas de calidad. En su libro ¿Qué es el control total de calidad? Muestra las características del control de calidad japonés: control de calidad en toda la empresa; participación de todos los miembros de la organización, organización y capacitación en control de calidad, actividades de los círculos de control de calidad, auditoría de CC (premio de aplicación Deming), utilización de los métodos estadísticos y actividades de promoción del control de calidad a gran escala.

También en las décadas de los cincuenta y sesenta se desarrollaron aspectos del Control de Calidad como los costos de la calidad y la ingeniería de la confiabilidad. En nuestros días la empresa se enfrenta a un consumidor muy exigente, que conoce cada vez mejor sus necesidades y que gusta de elegir para sí mismo los productos y servicios que precisa.

Como podemos observar, el Control de Calidad en productos manufacturados no es algo nuevo. Apoyado por métodos estadísticos, el Control de Calidad nos permite evitar la producción de piezas defectuosas que darían lugar a desperdicios o la necesidad de nueva fabricación, con la correspondiente pérdida de tiempo y dinero. Se trata de fabricar sólo productos buenos, con la seguridad de que si en cada parte del proceso se obtiene calidad, el resultado final será un producto de calidad.

---

<sup>6</sup> (Ishikawa, 1986, pág. 16)

### 1.1.3 Principales filosofías de control estadístico de procesos.

#### 1.1.3.1 Ciclo Shewhart/Deming.

El ciclo Deming es un procedimiento para el mejoramiento. Es una guía lógica y racional para actuar en una gran variedad de situaciones, una de las cuales es resolver problemas. También nombrado ciclo PHVA (planear, hacer, verificar y actuar).

Los 4 pasos del Ciclo Deming:

1. **Planear:** Establecer los objetivos de mejora. Detallar las especificaciones de los resultados esperados. Identificar los puntos de medición.
2. **Hacer:** Aplicar soluciones. Documentar las acciones realizadas.
3. **Verificar:** Vigilar los cambios que se hayan realizado. Obtener retroalimentación.
4. **Actuar:** Realizar los ajuste necesarios. Aplicar nuevas mejoras. Documentar.

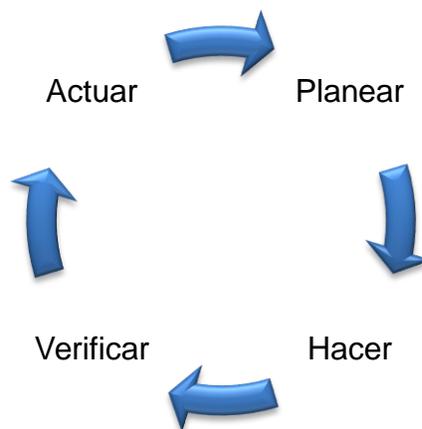


Figura 1.1. Ciclo PHVA.

El mejoramiento continuo es una incesante búsqueda de problemas y sus soluciones. Por lo cual debemos de considerar el concepto fundamental del ciclo: nunca termina.

Aunque no directamente expresado o reconocido explícitamente el programa seis sigma esta basado en la figura 1.1.

### **1.1.3.2 Seis Sigma.**

Seis Sigma es un disciplinado proceso el cual nos ayuda a enfocar, perfeccionar y poder llegar cerca de la perfección en productos y servicios. La palabra Sigma es un término estadístico que nos permite medir que tanto se desvía nuestro proceso de la perfección. La idea central detrás de seis sigma es que si se puede medir cuantos defectos se tiene en el proceso se puede estimar sistemáticamente como eliminarlos y llevarlos lo mas cercano posible a cero defectos. Seis Sigma es un proceso que nos ayuda a tomar decisiones basadas en datos y ofrece una metodología estructurada para alcanzar rápidamente mejoras mediante el uso sistemático de herramientas estadísticas, que identifican causas de raíz y llevan a la reducción de la variabilidad de nuestros productos y procesos.

Seis Sigma tiene su nacimiento en Motorola en 1979, cuando vió que mejorando la calidad, mejoraría los costos. Ellos creyeron que productos de alta calidad deberían costar menos producirlos. Que los esfuerzos para alcanzar la calidad no dependían de detectar y corregir, sino de prevenir defectos a través de controlar la manufactura y el diseño de los productos.

El resultado final de un producto o servicio esta dictado por lo que pasa durante su proceso. Tengan en mente que Seis Sigma y la estrategia de mejora de resultados, son dos elementos distintos. Seis Sigma es la filosofía y la meta. La estrategia proporciona los medios para alcanzar la meta exitosamente.

Seis Sigma le da a las compañías herramientas universales que pueden ser sistemáticamente aplicadas a problemas y luego ser usadas para medir los resultados. Es una forma metódica de reducir la variabilidad en un proceso e incrementa el ahorro.

El seguimiento a la metodología Seis Sigma se puede realizar con la aplicación del modelo DMAMC que significa definir, medir, analizar, mejorar y controlar.

#### *1.1.3.2.1 Fase de definición.*

El propósito de la fase de definición es refinar la comprensión que tiene el equipo del proyecto del problema que se va a tratar, se utilizará para saber quiénes son los clientes, así como definir sus necesidades y expectativas. En esta fase se determinarán funciones, responsabilidades, se establecerán objetivos, metas intermedias y revisarán los pasos del proceso.

Los resultados de las actividades de la fase de definición se documentan en una asignación del proyecto según se terminan. Al concluir la fase de definición, la asignación del proyecto se actualiza y se publica para documentar el alcance y la dirección del proyecto de Seis Sigma.

#### *1.1.3.2.2 Fase de medición.*

El propósito de la fase de medición es establecer técnicas para la recolección de información acerca del desempeño actual que destaque las oportunidades del proyecto y proporcione una estructura para monitorear las mejoras subsecuentes. Durante la fase de medición se eliminarán las conjeturas y suposiciones acerca de lo que los clientes necesitan y esperan, supervisando qué tan bien está trabajando el proceso.

En esta etapa se recolecta información de varias fuentes para determinar el tiempo del ciclo, los tipos de defecto, la frecuencia en que ocurren y finalmente una retroalimentación del cliente acerca de cómo se ajusta el proceso a sus necesidades.

Al terminar la fase de medición, se obtendrá un plan para recolectar información que especifique el tipo de información, un sistema de medición que asegure la precisión y consistencia, información y muestras suficientes para análisis, un juego de resultados preliminares de análisis que proporcione la dirección de proyecto y una medición base del desempeño actual.

#### *1.1.3.2.3 Fase de análisis.*

Como resultado de la fase de medición, ahora nos enfocaremos a un grupo distinto de problemas y oportunidades del proyecto. El propósito de la fase de análisis es permitir al equipo del proyecto enfocarse mayormente a las oportunidades de mejora al observar más de cerca la información.

Al terminar la fase de análisis se obtiene lo siguiente: el enfoque para analizar la información, la oportunidad de mejora, las causas raíz que contribuye a la oportunidad de mejora, cómo se analizó la información para identificar las fuentes de variación y si hubo algún cambio a la declaración del problema o al alcance.

#### *1.1.3.2.4 Fase de mejora.*

Como resultado de la fase de análisis, el equipo del proyecto deberá tener una clara comprensión de los factores que afectan al proyecto. El propósito de la fase de mejora es: generar ideas para mejorar el proceso, diseñar, hacer pruebas, implementar mejoras y respaldar las mejoras.

Al terminar la fase de mejora, se habrán identificado las alternativas de mejora, implementado las mejores alternativas para mejorar el proceso, respaldado las mejoras y se estará preparado para la transición a la fase de control.

#### *1.1.3.2.5 Fase de control.*

El propósito de la fase de control es institucionalizar las mejoras del proceso y monitorear el desempeño en marcha. Después de la fase de mejora, el equipo del proyecto cambiará el control del proceso nuevamente al dueño del proceso (persona o personas responsables del desempeño del proceso en marcha).

Al terminar la fase de control, se obtienen las expectativas del cliente acerca del desempeño del proceso, el cómo medir y monitorear las “Xs” para asegurar el desempeño de “Y” y qué medidas correctivas se deben de llevar a cabo si el proceso ya no está bajo control.

#### **1.1.3.3 Sistema de control de calidad cero y poka – yoke.**

En 1986 Productivity Inc. Publicó la versión en inglés del sistema control de calidad cero (SCCC) desarrollado por Shigeo Shingo, experto en calidad y productividad japonés. De acuerdo con Shingo, los defectos son resultados de errores. El ser humano es propenso a cometer errores sin importar que tan concentrado este en su trabajo, por lo que propone evitar que un error tenga consecuencias, es decir, cortar el nexo o relación entre un error y su consecuencia en lugar de presionar al trabajador a que no cometa errores.

Según Nikkan Kogyo Shimbun los errores pueden ser causados por olvido a falta de concentración, mal entendido, mala identificación, voluntarios al ignorar las reglas,

por inadvertencia, lentitud al reaccionar, falta de estándares o instrucciones de trabajo, sorpresa al fallar un equipo o intencionales por negligencia y sabotaje.

En general, existen cinco situaciones en las que pueden ocurrir defectos:

1. Estándares de trabajo inapropiados.
2. Variación excesiva en las operaciones actuales.
3. Materia prima con variación excesiva o dañada.
4. Herramental con juego excesivo o desgastado.
5. Errores inadvertidos de los trabajadores o en las máquinas.

Poka – yoke son dos términos en japonés cuyo significado es “a prueba de errores” literalmente y su finalidad es la prevención de defectos. Se distinguen dos modos relacionados con los defectos: predicción y detección.

En ambos casos, las funciones de los dispositivos poka – yoke son: detener, controlar y advertir. Cuando se predice, el dispositivo poka – yoke detiene la operación, evita errores y avisa que un defecto va a ocurrir. Cuando se detecta, el dispositivo poka – yoke detiene la operación, evita el paso de unidades defectuosas y avisa que hay unidades defectuosas.

Existen dos tipos de dispositivos que se usan con poka – yoke: los de contacto para detectar la presencia de piezas como son los micro interruptores o interruptores de límite y los sin contacto como los interruptores fotoeléctricos.

En 1986 Shingo notó que el ciclo de acción para reaccionar frente a un defecto era muy largo y sugirió reducirlo al tiempo y lugar como se indica a continuación:

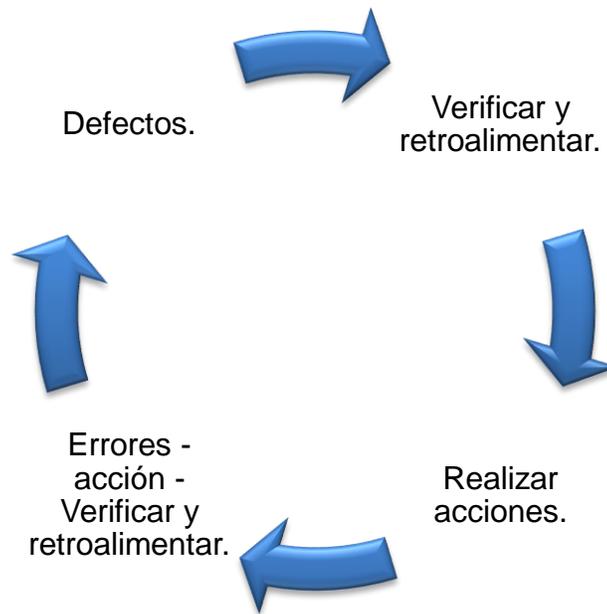


Figura 1.2. Ciclo de acción error/prevención.

El sistema control de calidad cero propuesto por Shingo consta de tres elementos:

1. Inspecciones en la fuente, es decir, por medio de un poka – yoke impedir que un error se transforme en un defecto en el momento mismo en el que el primero ocurre.
2. Efectuar inspección al 100%.
3. Minimizar el tiempo de respuesta.

De esta forma se tiene un panorama diferente para controlar y evitar errores en una línea de producción.

#### **1.1.4 Las siete herramientas básicas del control de calidad.**

Es necesario identificar las características o factores de calidad de cualquier producto, proceso o servicio, para mejorar la calidad, jerarquizándolas y

clasificándolas por orden de importancia. Para la búsqueda de estas características, se utilizan las siete herramientas básicas de la calidad que el Dr. Ishikawa identifica como:

1. Cuadro de Pareto: el principio de pocos vitales, muchos triviales.
2. Diagrama de causa y efecto (esta no es precisamente una técnica estadística).
3. Estratificación.
4. Hoja de verificación.
5. Histograma.
6. Diagrama de dispersión.
7. Gráficas y cuadros de control<sup>7</sup>.

#### ***1.1.4.1 Cuadro de Pareto: el principio de pocos vitales, muchos triviales.***

Se define como gráfica de barras ordenadas de mayor a menor, donde cada barra representa el peso que tiene cada uno de los factores que se analizan<sup>8</sup>. Y su objetivo es presentar información de manera que facilite la rápida visualización de los factores con mayor peso, para reducir su influencia en primer lugar.<sup>9</sup>

Wilfredo Pareto, economista italiano (1848-1923), fue el creador de esta herramienta. Enunció el principio de la distribución de la riqueza diciendo que el 80% de la riqueza está en manos del 20% de la población.

---

<sup>7</sup> (Ishikawa, 1986, pág. 192)

<sup>8</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 56)

<sup>9</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 57)

El resultado de un proceso dependerá esencialmente de un número pequeño de factores que intervienen en el mismo. Si logramos determinar cuáles son estas causas o factores vitales podremos concentrar nuestros esfuerzos en el estudio de las mismas, con lo que resolveremos la mayoría del problema. De aquí se deriva la famosa frase de Pareto que sostiene que aplicando la atención a los pocos asuntos vitales, se consigue la máxima eficacia y rendimiento de los esfuerzos dedicados<sup>10</sup>.

Para crear un diagrama de Pareto o diagrama ABC, se inicia disponiendo el asunto y características de calidad a analizar y su medida (máquinas, piezas, defectos, operarios, costo, etc.). Posteriormente se decide el origen de los datos, se determina el tamaño de la muestra y se verifican los datos históricos o se confronta la exactitud de los datos actuales, para proseguir con el registro de datos medidos sobre las características de calidad en una hoja de registro adecuada y ordenarlos en forma descendiente. Enseguida, se establece el siguiente procedimiento:

1. Efectuar las sumas acumuladas de los datos ordenados empezando por el mayor.
2. Dividir cada valor acumulado por el total acumulado para hallar el porcentaje en importancia de cada dato en el total.
3. Construir un diagrama de barras para los datos colocando el porcentaje en importancia como altura de la barra (ordenadas) y los datos en el eje horizontal, del más grande al más pequeño.
4. Analizar los resultados.

Se recomienda que al momento de preparar los diagramas de Pareto se tome en cuenta los siguientes puntos: registrar siempre el número total de elementos y las fechas en que se recogieron los datos, estratificar los datos según las diferentes causas, tipos de defectos, pérdidas, etc., pensar en el propósito de la preparación del

---

<sup>10</sup> (Pérez López, 1999, pág. 83)

diagrama cuando se decida el periodo para el cual se van a recolectar los datos, en la medida posible estratificar los diagramas de Pareto por horas, máquinas, etc., desglosar los problemas mayores con más detalle, preparar diagramas de Pareto individuales para ellos y comenzar siempre con el problema que vaya a traer los mayores beneficios si se resuelve.

#### **1.1.4.2 Diagrama causa – efecto.**

Se define como esquema que muestra las posibles causas clasificadas de un problema<sup>11</sup>. También llamado diagrama de la espina de pescado por la forma característica que tiene. Fue creado por el Dr. Kaoru Ishikawa como herramienta de trabajo para los círculos de calidad.

Se utiliza para representar gráficamente de una forma clara y precisa los factores que afectan a un problema de calidad. En concreto, se trata de averiguar a través de un efecto las causas que lo motivan para luego poder tomar acciones correctivas y se maneja principalmente en la solución de problemas.

En un proceso productivo, el diagrama de Ishikawa puede estar relacionado con uno o más de los factores (6 Ms) que intervienen en cualquier proceso de fabricación, los cuales son: los métodos o procedimientos usados en la realización de actividades, la mano de obra, la materia prima, la medición al momento de evaluar procesos y productos, el medio ambiente y la maquinaria y equipo.

Para la construcción del diagrama causa - efecto, en el extremo derecho de la flecha principal se escribe el efecto al que queremos buscarle las causas. Las flechas secundarias relativas a cada causa (cada M) que interviene en el proceso. Las subcausas que se vayan detectando relativas a cada causa se anotarán en su correspondiente flecha secundaria mediante nuevas flechas más pequeñas que

---

<sup>11</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 78)

inciden sobre la flecha secundaria. Siguiendo el proceso con distintos niveles de subcausas se consigue un diagrama muy similar a una espina de pescado.

#### **1.1.4.3 Estratificación.**

Se define como técnica usada para analizar información con base en la clasificación de la misma de acuerdo con sus orígenes<sup>12</sup>, la cual permite analizar la información de manera más racional. También se puede considerar como técnica simple consistente en separar los problemas por causas y condiciones o áreas o rango de resultados, es decir, por alguna característica que implique una incidencia diferenciadora en los resultados.<sup>13</sup>

Algunos ejemplos de estratos o clases son: la maquinaria (modelo, marca), los operarios (sexo, capacitación, turno), la materia prima (proveedores), la medición (gage, inspector), entre otras.

#### **1.1.4.4 Hojas de verificación.**

Se definen como formatos para recolectar, presentar y analizar información<sup>14</sup>. Su objetivo es estandarizar y agilizar la recolección, la presentación y el análisis de información. También, facilitar las tareas de recolección de la información, evitar la posibilidad de errores o malos entendidos.

Para mejorar la calidad se necesitan datos. Pero muchas veces los datos se toman de forma desordenada o mal documentada, haciendo imposible su análisis posterior. Otras veces los datos son incorrectos porque se han tomado de forma distinta a la

---

<sup>12</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 88)

<sup>13</sup> (Pérez López, 1999, pág. 88)

<sup>14</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 93)

prevista, las conclusiones que se obtienen a partir de éstos carecen de sentido por mucho esmero que se ponga en su análisis. Por lo tanto, la recolección de datos debe efectuarse de manera cuidadosa y exacta, para ello nada mejor que utilizar plantillas especialmente diseñadas para cada caso.

Las plantillas para reunir datos pueden tener distintas finalidades, como visualizar distribuciones, registrar el total de defectos por cada tipo, localizar defectos, verificar procedimientos o estratificar el registro del número de unidades defectuosas.

En la recolección de datos conviene tener presente no tomar datos si después no se van a utilizar. Los datos inútiles sólo sirven para dificultar la localización de los útiles. Se debe asegurar que los datos se toman de tal forma que su análisis sea fácil. Además, entretenerse en el diseño de la plantilla de recolección de datos es una de las actividades más rentables que pueden realizarse. Procurar no pasar los datos a limpio, pues es una pérdida de tiempo y una fuente de errores. Es necesario anotarlos de forma clara y ordenada a la primera.

#### **1.1.4.5 Histograma.**

Se define como gráfica de barras que muestra la repartición de un grupo de datos, tiene el objetivo de visualizar la dispersión, el centrado y la forma de un grupo de datos.<sup>15</sup>

Una vez obtenidos los datos de un problema, es práctico representarlos de una forma gráfica que refleje la dispersión de los valores respecto de la media. Obsérvese que mientras el Diagrama de Pareto se orienta a representar causas o condiciones en la hipótesis generalmente confirmada por los hechos de que una o un número reducido de causas o condiciones asocian la mayor parte de un problema, en un histograma se refleja generalmente resultados de un proceso para todas las

---

<sup>15</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, págs. 59, 60)

causas. Por lo tanto el histograma es muy útil para estudiar los factores que intervienen en la calidad.

Un histograma se construye dibujando una recta horizontal y colocando una escala en la misma, definiendo una sucesión ordenada de rangos de valores. En cada rango se dibuja una columna cuya altura indica el número de veces en que el valor del resultado del proceso se incluye en ese rango. Se pueden dibujar, además, la media obtenida real y el valor medio objetivo.

#### 1.1.4.6 Diagrama de dispersión.

Es una gráfica simple entre dos variables,<sup>16</sup> permite visualizar el tipo y el grado de relación entre esas dos variables. Existen dos tipos de relación en un diagrama de dispersión como se muestra a continuación:<sup>17</sup>

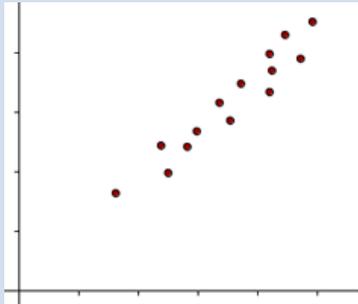
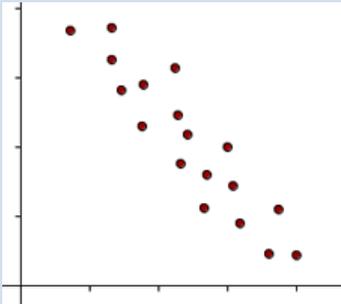
Relación directa	Relación inversa
<p>Se da cuando al aumentar una de las variables la otra aumenta. La recta correspondiente a la nube de puntos de la distribución es una recta creciente.</p>	<p>Se da cuando al aumentar una de las variables la otra disminuye. La recta correspondiente a la nube de puntos de la distribución es una recta decreciente.</p>
	

Figura 1.3. Tipos de relación.

<sup>16</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 60)

<sup>17</sup> (<http://semestedu.blogspot.mx/2012/06/medidas-de-asociacion.html>)

El grado de relación indica la proximidad que hay entre los puntos de la nube de puntos. Se pueden dar tres tipos:

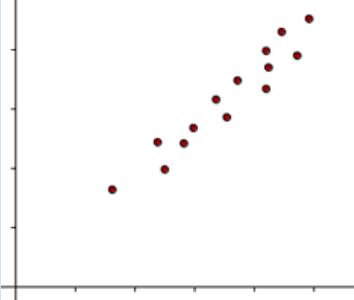
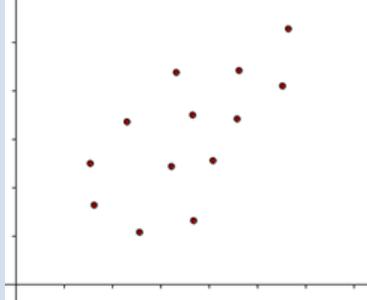
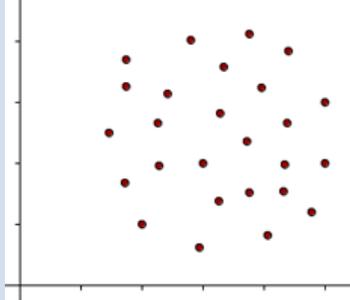
Relación fuerte	Relación débil	Relación nula
<p>La relación será fuerte cuanto más cerca estén los puntos de la recta.</p> 	<p>La relación será débil cuando más separados estén los puntos de la recta.</p> 	<p>La relación nula se da cuando no hay dependencia de ningún tipo entre las variables.</p> 

Figura 1.4. Grado de relación.

## 1.2 Control estadístico de procesos.

Para obtener un producto de calidad necesitamos producir con la precisión que desean los clientes, en unas instalaciones en las que se pueda obtener la exactitud requerida. Para conseguirlo, se debe disponer de un programa de control de procesos que permita realizar la medición, el análisis, tomar la decisión oportuna y emprender la acción necesaria.

El Control Estadístico de Procesos (en inglés Statistical Process Control, SPC) implica el uso de métodos estadísticos para valorar y analizar las variaciones de un proceso. Los métodos del SPC incluyen simplemente llevar registros de los datos de la producción, histogramas, análisis de capacidad de procesos y gráfica de control.

El control de un proceso comienza con la comprensión de su variabilidad, ya que la meta final del control estadístico de procesos es precisamente la eliminación de su variabilidad. El control estadístico de procesos pretende identificar las causas atribuibles para tomar las decisiones correctoras pertinentes y determinar la variabilidad por causas aleatorias.

### **1.2.1 Variación.**

Cada vez que se realiza un trabajo contiene una variación y su distribución sigue un cierto patrón. Los procesos industriales están afectados por infinidad de factores diferentes, además, las medidas, los ensayos y el muestreo están sujetos a error. En consecuencia, los datos que se obtienen siempre están dispersos. Los datos se pueden agrupar en tablas de frecuencias, que, aplicando herramientas de la estadística descriptiva, se pueden poner al servicio del control de calidad, permitiendo el estudio numérico, gráfico de distribución y la cuantificación de su dispersión.

#### **1.2.1.1 Variaciones aleatorias.**

Son provocadas por muchos factores: la variabilidad humana con cada ciclo de operaciones, las variaciones en las materias primas, la vibración de las máquinas etc. En forma individual, estos factores tal vez no representen mucho, pero colectivamente los errores pueden acumularse en forma significativa para provocar problemas, a menos que estén dentro de las tolerancias de la parte. Las variaciones aleatorias generalmente forman una distribución estadística normal.

El resultado del proceso tiende a agruparse alrededor del valor de la media, en términos de características de calidad del producto que interesa (por ejemplo, la longitud y el diámetro). Una gran porción de la población de partes se centra

alrededor de la media, en tanto que menos partes se alejan de ella. Cuando las únicas variaciones en el proceso son de este tipo, se dice que el proceso está dentro del control estadístico. Este tipo de variabilidad continuará mientras el proceso opere en forma normal. Cuando el proceso se desvía de esta condición de operación normal aparecen las variaciones del segundo tipo.

### ***1.2.1.2 Variaciones asignables.***

Las variaciones asignables indican una excepción de las condiciones de operación normales. Ha ocurrido algo en el proceso que no está considerado dentro de las variaciones aleatorias. Entre las razones de las variaciones asignables están los errores de operadores, las materias primas defectuosas, las fallas en las herramientas, las averías de las máquinas, etc. Las variaciones asignables en la manufactura por lo general se delatan a sí mismas y provocan que el resultado se desvíe de la distribución normal. El proceso ya no está dentro del control estadístico.

Un proceso que emite resultados en los cuales la única dispersión es la variabilidad controlada, se llama proceso en estado controlado. Por el contrario, un proceso con variabilidad incontrolada es un proceso fuera de control. Así, La calidad es inversamente proporcional a la variabilidad.

### ***1.2.1.3 Fuentes de variación.***

Las fuentes de variación conocidas como 6Ms, son comunes para todos los procesos, ya sea de manufactura o basados en negocios:

1. **Máquinas:** El equipo que se utiliza en la transformación de entradas a salidas, en nuestro caso: tornos, fresadoras, rectificadoras, bancos de pruebas, etc.

2. **Materiales:** Los elementos transformados de entradas a salidas, por ejemplo, fundiciones, barras, soldadura, componentes, entre otras.
3. **Métodos:** Los procedimientos que transforman las entradas en salidas, por ejemplo, un procedimiento estándar para maquinar y ensamblar componentes.
4. **Medición:** Las herramientas que monitorean el desempeño del proceso, por ejemplo, manómetros, calibradores, cronómetros, medidor de espesores de pintura, higrómetros, etc.
5. **Medio ambiente:** Los elementos ambientales que influyen en la habilidad de cumplir con la necesidad o requerimiento de un cliente, por ejemplo, la presión atmosférica en una región geográfica.
6. **Mano de obra:** El personal que influye en la habilidad de cumplir con las necesidades y requerimientos de un cliente, por ejemplo, el número de operadores por turno, la capacitación, las habilidades y aptitudes individuales.

### 1.2.2 Análisis de modo y efecto de falla (AMEF).

Un Análisis de Modo y Efecto de Falla (AMEF) es un procedimiento disciplinado que reconoce y evalúa la posible falla de un producto o proceso y los efectos de esa falla, además, identifica las medidas que eliminarían o reducirían el riesgo de que ocurra una posible falla y documenta el proceso.

El AMEF es una herramienta efectiva que ayuda a asegurar que se consideren y se traten las causas y las repercusiones que los posibles modos de falla del proceso tienen sobre el cliente.

Se puede utilizar una hoja de cálculo para facilitar el AMEF. Las definiciones clave incluyen:

**Modo de Falla:** La manera en la cual un artículo pudiera no cumplir la intención del diseño o el requerimiento del proceso.

**Efecto:** Una repercusión en los requerimientos del cliente, ya sea clientes externos o los siguientes procesos.

**Severidad:** El peso relativo sobre un efecto. No una clasificación forzada.

#### ***1.2.2.1 Elementos hoja de cálculo AMEF.***

**Paso del Proceso/Número de Parte.** Nombre del problema que se va a tratar.

**Modo de Falla.** La manera en la que el proceso no cumple con la especificación (a menudo asociado con un defecto o incumplimiento).

**Efecto de la Falla.** Lo que afecta al cliente si el modo de falla no se elimina o disminuye.

**Severidad (SEV).** Qué tan significativa es la repercusión del efecto de la falla sobre el cliente. Ver clasificación de severidad en anexo 1.

**Posibles Causas.** Fuentes de variabilidad asociadas con las variables de entrada clave del proceso.

**Incidencia (OCU).** Clasifica la posibilidad de que las causas de un modo de falla ocurran (OCU). Ver clasificación de incidencias en el anexo 2.

**Controles Actuales.** Descripción de los controles del proceso que previenen que ocurra el Modo de Falla o que detecten el Modo de Falla cuando ocurra.

**Detección (DET).** Clasifica la posibilidad de que el sistema actual detecte las causas de modos de falla si éstos ocurren. Ver clasificación de detección en el anexo 3.

**Número de Prioridad de Riesgo (NPR).** El producto de las clasificaciones de severidad, ocurrencia y detección ( $NPR = SEV \times OCU \times DET$ ).

La severidad, la ocurrencia y la detección se vuelven a calcular después de que se toman las medidas correctivas. Los valores del NPR también se vuelven a calcular después de las medidas correctivas.

El número de prioridad de riesgo (NPR) es una medida de riesgo del diseño, sistema o proceso. Los valores generados conviene clasificarse en una gráfica de Pareto, donde los NPR's mayores den pauta a facilitar o tomar medidas correctivas para reducir el riesgo calculado. Como regla general, se debe prestar especial atención cuando la severidad es alta sin tomar en cuenta el NPR.

### **1.2.3 Mapa de proceso.**

Es un método para segmentar procesos complejos en porciones manejables, permite identificar las entradas y salidas del proceso, además ayuda a identificar las áreas de retrabajo, cuellos de botella, paros y operaciones sin valor agregado. En consecuencia, es un punto de referencia para comparar las mejoras futuras con el proceso original.

Los beneficios de realizar un mapa de proceso son: proporciona una ayuda visual del proceso, exige verificación y objetividad, sirve como herramienta de orientación y entrenamiento, identifica pasos sin valor agregado, ayuda cuando y donde recolectar la información e identifica donde los diferentes equipos de trabajo utilizan diferentes procesos.

A fin de crear un mapa de proceso, es necesario definir una serie de elementos del proceso. Estos elementos del proceso se refieren a los puntos obligados para que cualquier mapa de proceso se considere completo.

**Proveedor:** El que proporciona las entradas del proceso.

**Entradas:** Materiales, recursos e información requerida para ejecutar el proceso.

**Proceso:** Las actividades y recursos aplicados a las entradas, además convertirlas en salidas.

**Salidas:** Los productos o servicios tangibles que resultan del proceso.

**Cliente:** El que recibe las salidas del proceso.

### 1.2.3.1 Símbolos estandarizados del mapa de proceso.

Se hacen los mapas de proceso utilizando un grupo de símbolos estandarizados que se basan en colores y formas únicos para describir lo que está ocurriendo en el proceso. El uso de estos símbolos permite a todos comprender el proceso.

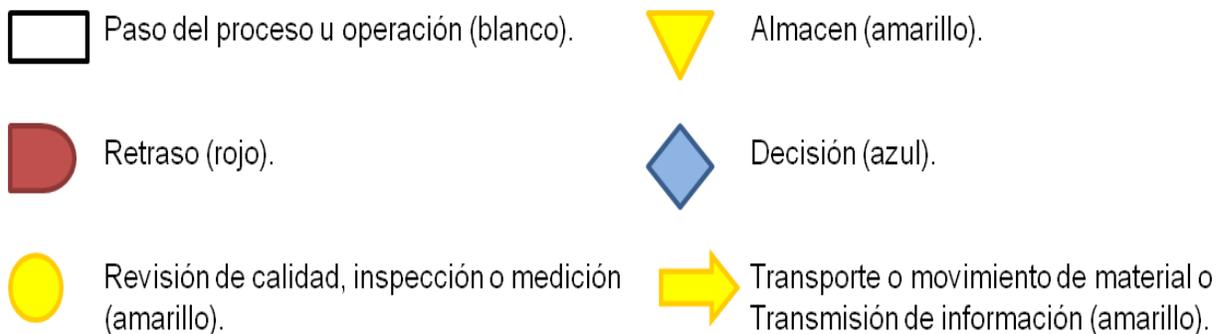


Figura 1.5. Símbolos estandarizados del mapa de proceso.

### 1.2.4 Calidad de mediciones. Repetibilidad y reproducibilidad.

Como ya se planteó, las 6Ms determinan de manera global un proceso. Así, parte de la variabilidad observada de un producto se debe a la variabilidad de las mediciones. Las mediciones se pueden pensar como el resultado de un proceso, además, cualquier proceso de medición genera un error.

Las fuentes principales que contribuyen al error del proceso de medición son el equipo de medición, los operadores (reproducibilidad) y la variación dentro de la muestra.

La precisión es la habilidad de un proceso de medición para repetir y reproducir su misma medición, independientemente si dicha medición es correcta o no. Por su parte, la exactitud o sesgo se refiere al desfase o desplazamiento que tienen las mediciones con respecto al estándar o verdadero valor que se supone conocido.

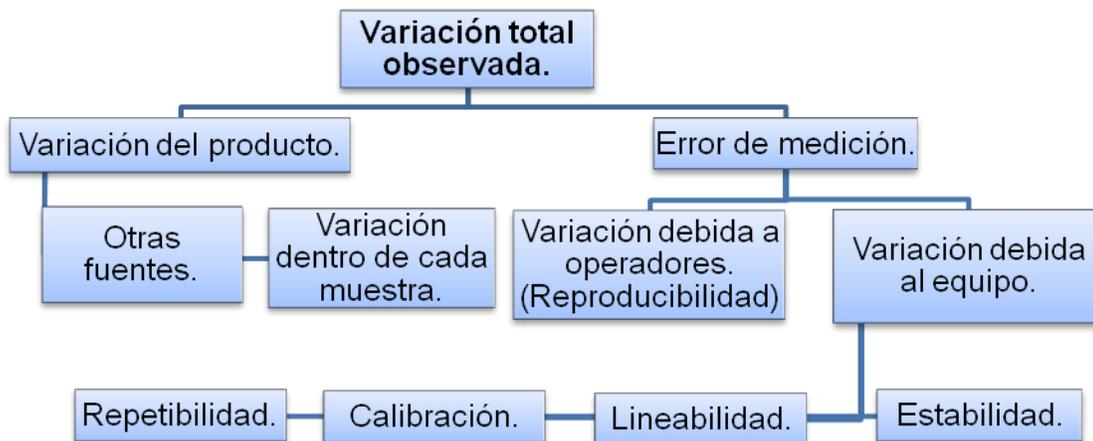


Figura 1.6. Fuentes de variabilidad en las mediciones.

La repetibilidad y reproducibilidad son los componentes de la precisión. La repetibilidad de un instrumento de medición se refiere a la precisión o variabilidad de sus mediciones cuando se obtienen varias mediciones del mismo objeto en condiciones similares (mismo operador), mientras que la reproducibilidad es la

precisión o variabilidad de las mediciones del mismo objeto pero en condiciones variables (diferentes operadores).

En los estudios R&R se evalúa de modo experimental que parte de la variabilidad total observada en los datos es atribuible al error de medición; además, permite cuantificar si este error es mucho o poco en comparación con la variabilidad del producto y con las tolerancias de la característica de calidad que se mide.

Las fuentes de variabilidad que se pueden evaluar en un estudio largo de repetibilidad y reproducibilidad son: variabilidad del producto, del instrumento y de los operadores. Sean  $\sigma_{total}^2$  la variabilidad total observada;  $\sigma_{prod}^2$  la varianza atribuible al producto (válvulas),  $\sigma_{instr}^2$  la variabilidad o error del instrumento de medición y  $\sigma_{oper}^2$  la variabilidad o error debido a los operadores, entonces se cumple la siguiente relación:

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{prod}^2 + \sigma_{oper}^2 + \sigma_{instr}^2 \quad [\text{Ec. 1}]$$

Donde:

$$\sigma_{instr}^2 = \sigma_{repeti}^2 \quad [\text{Ec. 2}]$$

$$\sigma_{oper}^2 = \sigma_{reprod}^2 \quad [\text{Ec. 3}]$$

Por lo tanto, el error o variabilidad de las mediciones debido a repetibilidad y reproducibilidad se obtiene con<sup>18</sup>:

$$\sigma_{R\&R}^2 = \sigma_{reprod}^2 + \sigma_{repeti}^2 \quad [\text{Ec. 4}]$$

---

<sup>18</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, págs. 280 - 284)

### 1.2.4.1 Estudio R&R para atributos.

En los procesos de manufactura existen procesos de medición basados en evaluaciones subjetivas realizadas por inspectores que clasifican las piezas o productos en pocas categorías. El caso mas usado es el de dos categorías, donde las piezas se aceptan o se rechazan. Por lo tanto, verificar que la calidad de las mediciones en estos casos pasa por valorar la consistencia de los criterios que realizan este tipo de evaluaciones.

En un estudio R&R discreto binario típico al menos dos operadores evalúan en dos ocasiones una cantidad suficiente de piezas. Sobre el particular se distingue el siguiente método:

Método de análisis de riesgo<sup>19</sup>. En este estudio  $m$  operadores evalúan  $n$  piezas  $r$  veces clasificándolas con los códigos: 1 = aceptable, 0 = inaceptable. El análisis consiste en obtener estadísticos de acuerdos o desacuerdos entre los operadores (reproducibilidad), dentro de los operadores (repetibilidad) y de los operadores con el estándar. A continuación se explica este método.

1. Calcular la suma de acuerdos.
2. Determinar desacuerdos posibles. Como en cada evaluación hay dos posibles resultados, el numero de posibles desacuerdos por pieza es:

$$a_p = \binom{k}{2} = \frac{k!}{2!(k-2)!} \quad [\text{Ec. 5}]$$

Si  $p$  es el número de piezas en el estudio, entonces el total de posibles desacuerdos en el estudio es:

$$a_t = a_p \times p \quad [\text{Ec. 6}]$$

---

<sup>19</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, págs. 303 - 309)

3. Analizar el nivel de desacuerdos ( $D_e$ ).
4. Calcular el nivel de desacuerdo del estudio ( $ND_e$ ). al dividir el total de desacuerdos del estudio  $D_e$  entre el número total de posibles desacuerdos  $a_t$ .
5. Determinar la repetibilidad. Los desacuerdos por repetibilidad se calculan a partir de la consistencia entre los ensayos de un mismo operador.
6. Reproducibilidad (diferencia sistemática entre operadores).
7. Calcular el número de desacuerdos por reproducibilidad.

### **1.2.5 Índices de capacidad.**

#### **1.2.5.1 Capacidad de proceso.**

La capacidad de un proceso consiste en conocer la amplitud de la variación natural del proceso para una característica de calidad dada ya que esto permitirá saber en que medida tal característica de calidad es satisfactoria, es decir, cumple especificaciones<sup>20</sup>.

La capacidad de proceso se relaciona con variaciones normales inherentes en el resultado cuando el proceso está dentro de control estadístico. Por definición, la capacidad de proceso es igual a  $\pm 3$  desviaciones estándar ( $3\sigma$ ) alrededor del valor del resultado de la media (un total de seis desviaciones estándar):

$$PC = \mu \pm 3\sigma \quad [\text{Ec. 7}]$$

---

<sup>20</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, pág. 100)

En donde, PC es la capacidad de proceso,  $\mu$  es la media de proceso que se establece como el valor nominal de la característica del producto cuando se usa una tolerancia bilateral y  $\sigma$  es desviación estándar del proceso.

Las suposiciones implícitas en esta definición son: el resultado esta normalmente distribuido. Se ha obtenido una operación estable y el proceso está dentro de control estadístico.

Bajo estas suposiciones, el 99.73% de las partes producidas tendrán valores de resultado que caen dentro de  $\pm 3.0$  de la media.

El índice de capacidad potencial del proceso,  $C_p$ , se define como:

$$C_p = \frac{\text{Variación tolerada}}{\text{Variación real}} = \frac{ES-EI}{6\sigma} \quad [\text{Ec. 8}]$$

Para que el proceso sea considerado potencialmente capaz de cumplir con especificaciones, se requiere que la variación real siempre sea menor que la variación tolerada, lo deseable es que  $C_p$  sea mayor que 1.

En la figura 1.7 se presentan cinco categorías de procesos que dependen del valor de índice  $C_p$ . Además, en la figura 1.8 se representa el valor del índice en el porcentaje de artículos que no cumplirían especificaciones, así como la cantidad de artículos o partes defectuosas por cada millón producido (PPM).

Valor $C_p$	Categoría del proceso	Decisión (si el proceso esta centrado)
$C_p \geq 2$	Clase mundial	Se tiene calidad Seis Sigma.
$C_p > 1.33$	1	Adecuado.
$1 < C_p < 1.33$	2	Parcialmente adecuado, requiere un control estricto.

Valor $C_p$	Categoría del proceso	Decisión (si el proceso esta centrado)
$0.67 < C_p < 1$	3	No es adecuado para el trabajo. Es necesario un análisis de proceso.
$C_p < 0.67$	4	No adecuado para el trabajo. Requiere modificaciones muy serias.

Figura 1.7. Valores de  $C_p$  y su interpretación.

Valor del índice (corto plazo)	% fuera de dos especificaciones	PPM
0.2	54.8506	548506.130
0.3	36.8120	368120.183
0.4	23.0139	230139.463
0.5	13.3614	133614.458
0.6	7.1861	71860.531
0.7	3.5729	35728.715
0.8	1.6395	16395.058
0.9	0.6934	6934.046
1	0.2700	2699.934
1.1	0.0967	966.965
1.2	0.0318	318.291
1.3	0.0096	96.231
1.4	0.0027	26.708
1.5	0.0007	6.802
1.6	0.0002	1.589
1.7	0.0000	0.340
1.8	0.0000	0.067
1.9	0.0000	0.012
2	0.0000	0.000

Figura 1.8. Índice  $C_p$  en términos de la cantidad de piezas malas.

### **1.2.5.2 Estabilidad de proceso.**

La estabilidad de un proceso<sup>21</sup> es la variación que sufre a través del tiempo. Si es estable, entonces es predecible en el futuro inmediato. En contra parte, un proceso inestable se refiere a un proceso fuera de control estadístico que se detecta cuando en la carta de control los puntos están fuera de sus límites o siguen un patrón no aleatorio.

El índice de inestabilidad<sup>22</sup> proporciona una medición de que tan inestable es un proceso, el cual, se define como:

$$S_t = \frac{\text{No. de puntos especiales}}{\text{No. total de puntos}} \times 100 \quad [\text{Ec. 9}]$$

Donde el número total de punto corresponde a la cantidad de puntos graficadas en la gráfica de control y la cantidad de puntos especiales corresponde a los puntos que están fuera de los límites de control. Para interpretar el índice de inestabilidad se parte de que su valor ideal es cero.

### **1.2.5.3 Métricas Seis Sigma para atributos.**

Como se ha mencionado, muchas características de calidad de productos son de atributos. En este caso se utiliza como métrica a los defectos por millón de oportunidades de error (DPMO)<sup>23</sup>.

Se entiende por unidad a la parte o producto que se elabora en un proceso, a la cual le es posible evaluar su calidad y por lo general existe más de una oportunidad de error.

---

<sup>21</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, pág. 269)

<sup>22</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, pág. 203)

<sup>23</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, págs. 113 - 116)

Se define como oportunidad de error cualquier punto de la unidad que es posible medirse, por otro lado, un defecto es cualquier no conformidad de la calidad especificada de un producto. En este contexto, surge el índice *DPU* (defectos por unidad), el cual es una métrica que determina el nivel de no calidad de un proceso que no toma en cuenta las oportunidades de error. Se obtiene:

$$DPU = \frac{d}{U} \quad [\text{Ec. 10}]$$

Donde *U* es el número de unidades inspeccionadas en la cuales se observaron *d* defectos.

Para tomar en cuenta la complejidad de la unidad o producto se utiliza el índice *DPO* (defectos por oportunidad), que mide la no calidad de un proceso y se obtiene como sigue:

$$DPO = \frac{d}{U \times O} \quad [\text{Ec. 11}]$$

Donde *U* y *d* son como antes y *O* es el número de oportunidades de error por unidad. También, es necesario obtener el índice *DPMO* (defectos por millón de oportunidad), el cual cuantifica los defectos del proceso en un millón de oportunidades de error y se obtiene al multiplicar al DPO por un millón.

#### **1.2.5.4 Estado del proceso.**

Para caracterizar y mejorar un proceso es necesario evaluar su estado en cuanto a su capacidad y estabilidad<sup>24</sup>, ya que en función de esto el proceso tendrá cuatro categorías como se muestra en la figura 1.9.

---

<sup>24</sup> (Escalante Vázquez E. J., 2003, pág. 268)

		<b>¿El proceso es estable? Herramientas:</b> Gráfica de control e índice de inestabilidad.	
		Sí	No
<b>¿El proceso es capaz?</b> <b>Herramienta:</b> estudio de capacidad e índice $C_p$	Sí	A (estable y capaz)	B (Capaz pero inestable)
	No	C (Estable pero incapaz)	D (Inestable e incapaz)

Figura 1.9. Los cuatro estados de un proceso.

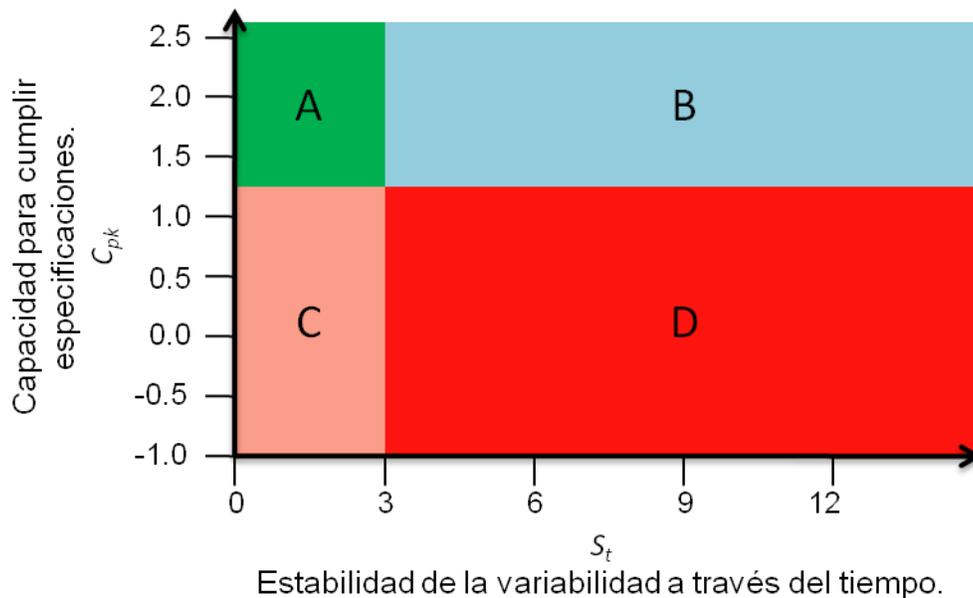


Figura 1.10. Posibles estados de un proceso en función de los índices de inestabilidad y capacidad.

### 1.2.6 Gráficas de control.

El principio implícito en las gráficas de control es que las variaciones en cualquier proceso se dividen en dos tipos: variaciones aleatorias, las cuales son las únicas presentes si el proceso está dentro de control estadístico y variaciones asignables, que indican una salida del control estadístico. El objetivo de una gráfica de control es

identificar cuándo ha salido de control estadístico el proceso, por lo que señala que debe de tomarse una acción correctiva.

La gráfica de control tiene tres líneas horizontales que permanecen constantes con el tiempo: una central, un límite de control inferior (Lower Control Limit, LCL) y un límite de control superior (Upper Control Limit, UCL). La central generalmente se establece en el valor nominal de diseño. Los límites de control superior e inferior se establecen en  $\pm 3$  desviaciones estándar de las medidas de muestra.

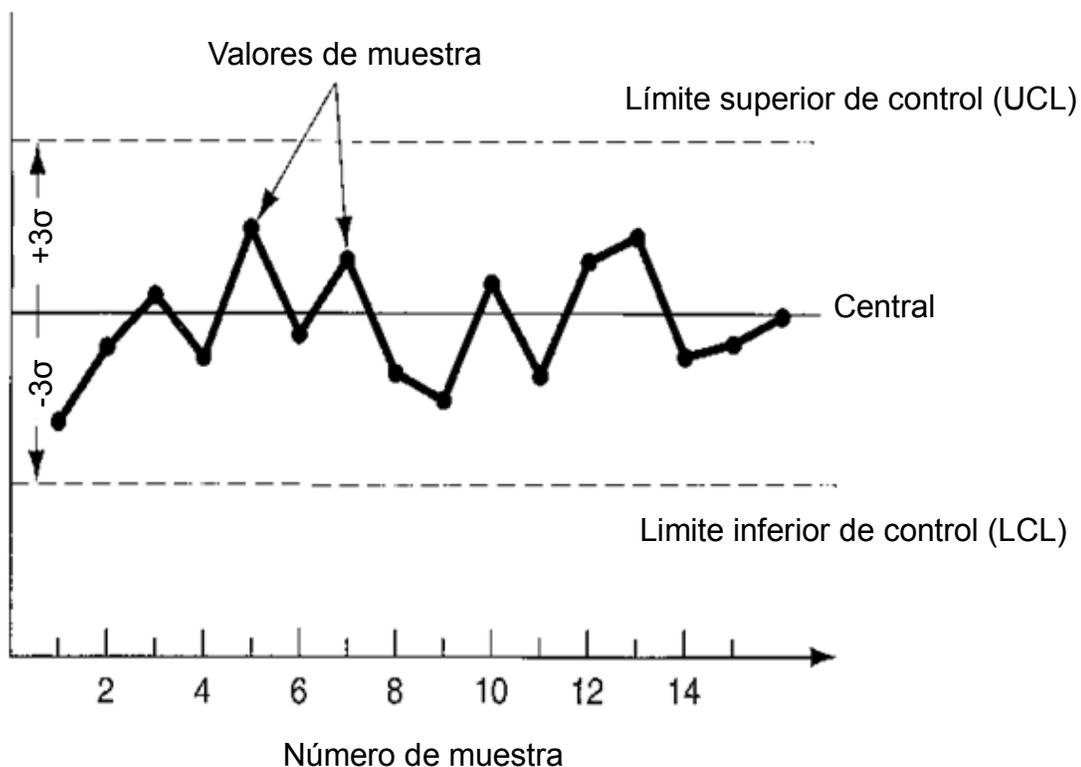


Figura 1.11. Gráfica de control.

Es poco probable que una muestra dibujada del proceso se encuentre fuera de los límites de control superior o inferior, mientras las operaciones están dentro de control estadístico. Por tanto, si un valor de muestra cae fuera de estos límites, significa que el proceso está fuera de control.

Hay dos tipos de gráficas de control: gráfica de control por atributos y gráfica de control por variables. Las gráficas de control por atributos simplemente requieren que se determine si una parte está defectuosa o cuántos defectos hay en la muestra. Las gráficas de control por variables requieren una medición de la característica de la calidad que interesa.

#### **1.2.6.1 Gráficas de control por variables (gráficas $\bar{X}$ – R).**

Un proceso que está fuera de control estadístico manifiesta esta condición en forma de cambios significativos en la media del proceso y la variabilidad del proceso. En correspondencia con estas posibilidades, hay dos tipos de gráfica de control por variables: la gráfica  $\bar{x}$  y la gráfica R.

La gráfica  $\bar{x}$  (denominada “gráfica de barras  $\bar{x}$ ”) se usa para trazar el valor medido promedio de cierta calidad característica de una serie de muestras tomadas del proceso de producción. Indica cómo cambia la media del proceso durante un periodo.

La gráfica R traza el rango de cada muestra, con lo que vigila la variabilidad del proceso e indica si cambia con respecto al tiempo. Debe seleccionarse una característica de calidad conveniente del proceso como la variable que se va a vigilar en las gráficas  $\bar{x}$  y R. En un proceso mecánico, esto podría ser el diámetro de un eje o alguna otra dimensión importante. Deben usarse mediciones del proceso mismo para construir las dos gráficas de control.

Con el proceso funcionando en forma regular y carente de variaciones asignables, se recopila una serie de muestras (se recomienda  $m = 20$  o más) de tamaño pequeño (por ejemplo,  $n = 5$  partes por muestra) y se miden las características que interesan de cada parte. Se usa el procedimiento siguiente para construir el centro, el límite de control superior y el límite de control inferior para cada gráfica:

Calcular la media  $\bar{x}$  y el rango R para cada una de las  $m$  muestras.

Calcular la media total  $\bar{\bar{x}}$ , que es la media de los valores de  $\bar{x}$  para las  $m$  muestras; ésta será el centro de la gráfica  $\bar{x}$ .

Calcular  $\bar{R}$ , que es la media de los valores R para las  $m$  muestras; ésta será el centro de la gráfica R.

Determinar los límites de control superior e inferior, UCL y LCL, para las gráficas  $\bar{x}$  y R.

Podrán estimarse los valores de la desviación estándar a partir de los datos de muestra y usarse para calcular estos límites de control. Sin embargo, un enfoque más fácil se basa en los factores estadísticos incluidos en la figura 1.12, que se han derivado específicamente para estas cartas de control. Los valores de los factores dependen del tamaño de la muestra  $n$ .

Para la gráfica  $\bar{x}$ ,

$$\text{LCL} = \bar{\bar{x}} - A^2 \bar{R} \quad [\text{Ec. 12}]$$

$$\text{UCL} = \bar{\bar{x}} + A^2 \bar{R} \quad [\text{Ec. 13}]$$

Y para la gráfica R,

$$\text{LCL} = D^3 \bar{R} \quad [\text{Ec. 14}]$$

$$\text{UCL} = D^4 \bar{R} \quad [\text{Ec. 15}]$$

Tamaño de muestra n	Gráfica $\bar{x}$	Gráfica R	
	$A^2$	$D^3$	$D^4$
3	1.023	0	2.574
4	0.729	0	2.282
5	0.577	0	2.114
6	0.483	0	2.004
7	0.419	0.076	1.924
8	0.373	0.136	1.864
9	0.337	0.184	1.816
10	0.308	0.223	1.777

Figura 1.12. Constantes para las gráficas  $\bar{x}$  y R.

### 1.2.6.2 Gráficas de control por atributos.

Las gráficas de control por atributos no usan una variable de calidad medida; en lugar de eso, vigilan la cantidad de defectos presentes en la muestra o la tasa fraccionaria de defectos según las estadísticas trazadas. Entre los ejemplos de estos tipos de atributos se encuentran las cantidades de defectos por automóviles, la fracción de partes estropeadas en una muestra, la existencia o ausencia de rebabas en el moldeado plástico y la cantidad de defectos en un rodillo de acero laminado. En el grupo se incluyen los procedimientos de inspección que implican la calibración pasa/no pasa, debido a que determinan si una parte es buena o no.

Los dos tipos principales de gráficas de control por atributos son la gráfica p, que traza la proporción de defectos por fracción en muestras sucesivas y la gráfica c, que traza la cantidad de defectos, fallas u otras alteraciones por muestra.

### 1.2.6.2.1 Gráficas P.

En la gráfica p, la característica de calidad que interesa es la proporción (p) de unidades defectuosas o que no se apegan al diseño. Por cada muestra, esta proporción  $p_i$  es la razón de la cantidad de artículos  $d_i$  defectuosos o que no se apeguen a la cantidad de unidades n, (suponemos muestras de tamaño igual para construir y usar la gráfica de control):

$$p_i = \frac{d_i}{n} \quad [\text{Ec. 16}]$$

En donde se usa  $i$  para identificar la muestra. Si se promedian los valores  $p_i$  para una cantidad de muestra suficiente, el valor de la media  $\bar{p}$  es una estimación razonable del valor verdadero  $p$  para el proceso. La gráfica p se basa en una distribución de binomios, en donde  $p$  es la probabilidad de una unidad que no se apegue al diseño. El centro de la gráfica p es el valor calculado de  $\bar{p}$  para  $m$  muestras de igual tamaño  $n$ , recopiladas mientras el proceso opera bajo control estadístico.

$$\bar{p} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} \quad [\text{Ec. 17}]$$

Los límites de control se calculan como tres desviaciones estándar en cualquier lado del centro. Por tanto:

$$LCL = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad [\text{Ec. 18}]$$

18]

$$UCL = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad [\text{Ec. 18a}]$$

En donde la desviación estándar de  $\bar{p}$  en la distribución de binomio que se proporciona mediante  $\sigma_p$ :

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad [\text{Ec. 19}]$$

Si el valor de  $\bar{p}$  es relativamente bajo y el tamaño de la muestra  $n$  es pequeño, es probable que el límite inferior de control, calculado mediante la primera de estas ecuaciones sea un valor negativo. En este caso, suponga que  $LCL = 0$  (la razón de defectos por fracción no puede ser menor que 0).

#### 1.2.6.2.2 Gráficas C.

En la gráfica  $c$  ( $c$  quiere decir cuenta) la cantidad de defectos en la muestra es graficada contra el tiempo. La muestra puede ser un producto único tal como un automóvil y  $c$  la cantidad de defectos de calidad encontrados durante la inspección final. La muestra puede ser también una extensión de alfombras en la fábrica antes del corte y  $c$  cantidad de imperfecciones descubiertas en tal tira. La gráfica  $c$  se basa en la distribución de Poisson, en donde  $c$  es el parámetro que representa la cantidad de eventos que ocurren dentro de un espacio de muestra definido (defectos por auto o imperfecciones por longitud especificada de la alfombra). Nuestro mejor estimado del valor verdadero de  $c$  es el valor de la media sobre una gran cantidad de muestras obtenidas mientras el proceso está bajo control estadístico:

$$\bar{c} = \frac{\sum_{i=1}^m c_i}{m} \quad [\text{Ec. 20}]$$

Este valor de  $c$  se usa como el centro de la gráfica de control. En la distribución de Poisson, la desviación estándar es la raíz cuadrada del parámetro  $c$ , por tanto, los límites de control son:

$$LCL = \bar{c} - 3\sqrt{\bar{c}} \quad [\text{Ec. 21}]$$

$$UCL = \bar{c} + 3\sqrt{\bar{c}} \quad [\text{Ec.22}]$$

### 1.2.7 Muestreo de aceptación.

Un muestreo de aceptación consiste en evaluar un colectivo homogéneo a través de una muestra aleatoria, para decidir la aceptación o el rechazo del colectivo<sup>25</sup>. El muestreo se utiliza para determinar el desempeño del proceso cuando no es razonable examinar cada punto a través del proceso. Se puede utilizar una menor cantidad de información para obtener un estimado estadístico acerca de la información para el proceso.

Términos importantes de recordar:

**Población:** se refiere a todas las unidades que forman un grupo en particular. Algunas veces la población es demasiado grande para medirse.

**Muestra:** se refiere a algunas de las unidades de ese grupo en particular. La parte crítica de la definición de muestra es que cada una de las unidades de la población debe de tener una oportunidad igual e imparcial de ser seleccionada para la medición. En otras palabras, la muestra debe de hacerse al azar.

---

<sup>25</sup> (<http://web.cortland.edu/matresearch/aceptacion.pdf>)

El propósito de los muestreos es que los grupos específicos de datos (seleccionados adecuadamente) pueden proporcionar información necesaria para determinar las oportunidades de mejoramiento dentro del proceso.

Según Escalante el muestreo de aceptación se define como un procedimiento para obtener información de un proceso (población) con base a un cierto número de observaciones (muestra), con la finalidad de inferir la calidad de dicho proceso.<sup>26</sup>

El uso mas eficiente del muestreo para aceptación es no inyectar calidad al producto mediante la inspección, sino mas bien su utilización como una herramienta de verificación con objeto de asegurar que la producción o salida de un proceso esta conforme a los requisitos.

Es necesario realizar un muestreo en lugar de inspección al 100% de los productos cuando:

1. Para evaluar si un producto costoso funciona es necesario destruirlo.
2. El costo de la inspección al 100% es muy alto comparado con el costo de aceptar un producto defectuoso.
3. No se cuenta con información de calidad del productor.
4. La inspección al 100% no es posible.
5. La calidad del productor ha mejorado.
6. No se usa una inspección automática.

---

<sup>26</sup> (Escalante Vázquez E. , 2006, pág. 287)

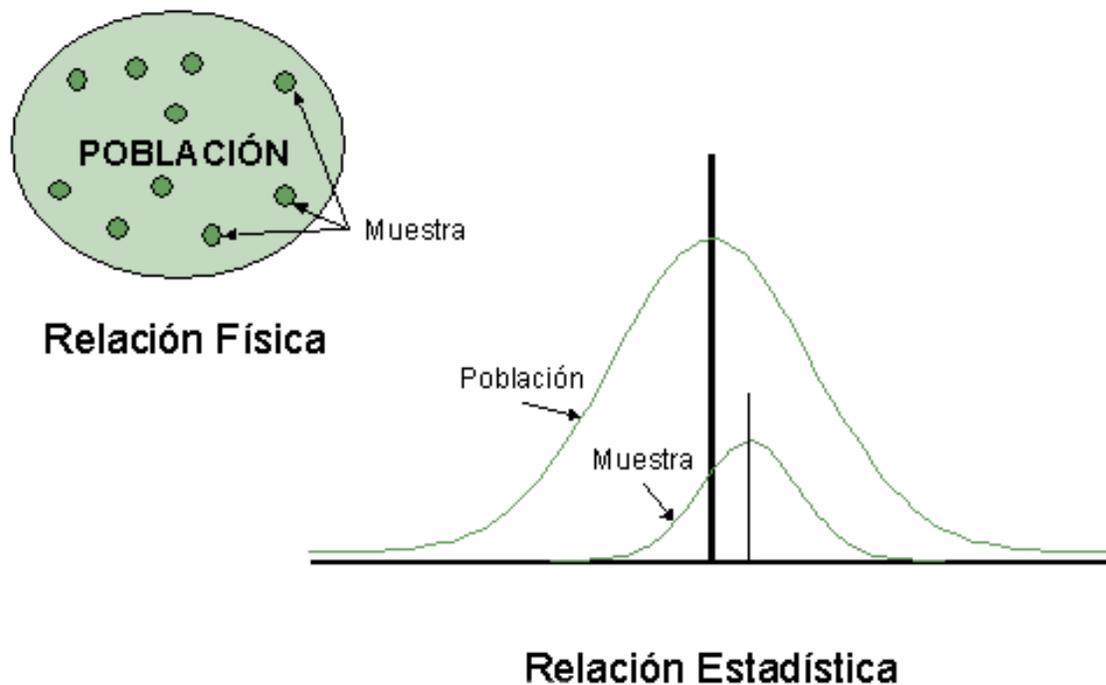


Figura 1.13. Relación de muestra vs población.

### 1.2.7.1 Tipos de planes de muestreo.

Los planes de muestreo se pueden clasificar de diversas formas:<sup>27</sup>

De acuerdo con la naturaleza de la población base. Pueden ser:

1. Lote aislado.
2. Lote a lote (producción uniforme de lotes).
3. Fabricaciones continuas (por ejemplo industria química, plantas embotelladoras, etc.).

De acuerdo con la naturaleza de la característica inspeccionada. Pueden ser:

<sup>27</sup> (<http://web.cortland.edu/matresearch/acceptacion.pdf>)

1. Por atributos. La característica es de tipo cualitativo (pasa/no pasa). Una variante es la que considera “el número de defectos”, de modo que una pieza puede estar penalizada por varios defectos.
2. Por variables. La característica es de tipo cuantitativo (por ejemplo longitud, peso, etc.).

De acuerdo con el número de muestras a tomar. Pueden ser:

1. Simples. Se toma una muestra con la que hay que decidir la aceptación o el rechazo.
2. Dobles. Se toman hasta dos muestras con las que hay que decidir la aceptación o el rechazo. Es posible aceptar o rechazar solo con la primera muestra si el resultado es muy bueno o muy malo. Si es un resultado intermedio, se extrae una segunda muestra. En principio el tamaño de las dos muestras puede ser diferente.
3. Múltiple. Conceptualmente es igual al muestreo doble pero en este caso se extrae hasta  $n$  muestras diferentes.
4. Secuencial. En este caso se van extrayendo los elementos uno a uno y según los resultados que se van acumulando de elementos aceptados y rechazados, llega un momento en el que se tiene información suficiente para aceptar o rechazar el lote.

#### *1.2.7.1.1 Muestreos lote a lote: MIL-STD-105E.*

Este plan de muestreo es posiblemente el que ha tenido mayor difusión. Ha sido adoptado con pequeñas variaciones por casi todos los cuerpos de normas

importantes (ANSI, ISO, BS, JIS, UNE, etc.). La revisión actual no incluye ningún cambio en los fundamentos estadísticos, pero si actualiza su aplicación contractual.

El contenido de la norma es el siguiente:

Los planes de muestreo de MIL-STD-105E se basan en el NCA (nivel de calidad aceptable), que deberá fijarse entre cliente y proveedor.

Existen tres niveles ordinarios de inspección, niveles I, II, y III, y otros cuatro especiales, niveles S-1, S-2, S-3 y S-4, que se utilizan en caso de ensayos destructivos o de inspecciones muy costosas. Estos niveles van en función de la complejidad y la responsabilidad del producto. Cuanto más alto es el nivel, mayor es el tamaño de la muestra y aumenta la discriminación del plan de muestreo. Si no se indica otra cosa se toma el nivel II.

Existen tres tipos de planes: simples, dobles y múltiples, cuya elección queda a cargo del inspector que aplica la norma.

Como se ha dicho anteriormente, esta norma está diseñada para series de lotes. Existen por tanto tres niveles de muestreo distintos según haya sido la historia de los lotes anteriores: inspección rigurosa, normal y reducida.

La inspección comienza en normal. Si dos de los 5 últimos lotes se han rechazado debe pasarse a rigurosa. Si estando en rigurosa se aceptan 5 lotes consecutivos, entonces debe pasarse a normal. Para pasar de normal a reducida es necesario que lo acepte el cliente, que los últimos 10 lotes hayan resultado aceptables y que la fabricación siga uniforme. En la figura 1.14 se aprecia lo anterior.

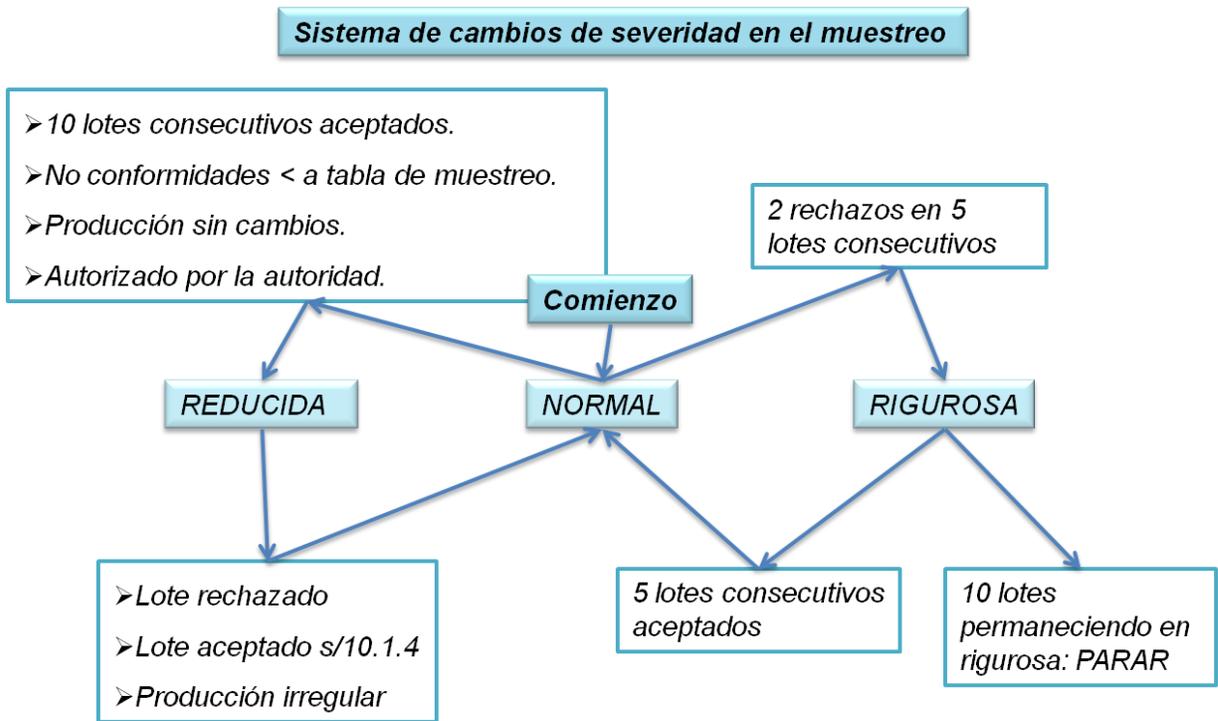


Figura 1.14. Modificación de la inspección en MIL-STD-105E.

## Capítulo 2. Válvulas industriales.

En la manipulación de fluidos de una planta industrial tienen un papel fundamental las válvulas. Con ellas podemos controlar los caudales de las distintas corrientes implicadas en el proceso, además de las condiciones internas de presión de depósitos y recipientes. Las válvulas son unos de los instrumentos de control más esenciales en la industria. Debido a su diseño y materiales, las válvulas pueden abrir y cerrar, conectar y desconectar, regular, modular o aislar una enorme serie de líquidos y gases, desde los más simples hasta los más corrosivos o tóxicos.<sup>28</sup>

### 2.1 Definición.

Una válvula es un recipiente a presión que sirve para manipular un fluido. Sus partes principales son: contenedor de fluido (partes sometidas a presión), obturador o elemento de cierre, asiento y el operador de apertura o cierre.

Una válvula consiste en un cuerpo principal (contenedor de fluido) dentro del cual van alojados el obturador y los asientos, elementos que definen el paso de fluido permitido en cada momento. El contenedor de fluido debe estar realizado de un material resistente, capaz de resistir la presión máxima posible en la línea a la vez que garantiza la hermeticidad del dispositivo.

El obturador es un mecanismo móvil que varía su posición con respecto al asiento, siendo el caudal de paso directamente proporcional a la superficie libre existente entre el émbolo y el asiento. Por su diseño deberá acoplar perfectamente sobre el asiento para proporcionar un cierre hermético cuando la válvula esté cerrada.

---

<sup>28</sup> ([http://www.mavainsa.com/documentos/5\\_valvulas.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/5_valvulas.pdf))

En cuanto al operador de apertura o cierre es el elemento que permite manipular al obturador respecto al asiento. El movimiento del obturador estará comandado por un vástago, siendo éste el elemento donde físicamente se actúa para controlar la posición del obturador. Su movimiento podrá ser lineal o rotativo dependiendo del diseño de la válvula. Así, se puede obtener una operación manual a través de un volante o automática mediante un actuador.

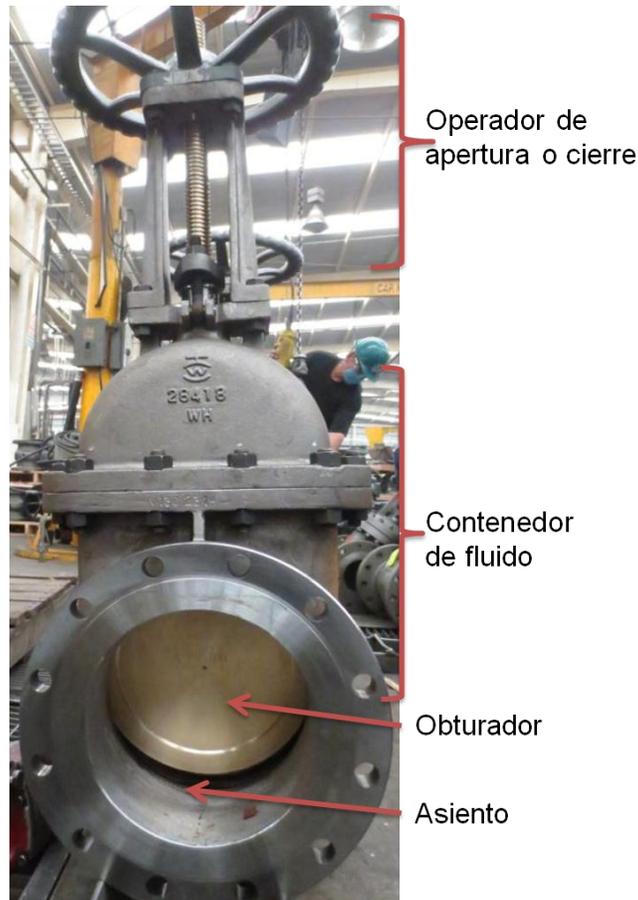


Figura 2.1. Componentes de una válvula.

## 2.2 Características.

Como se ha mencionado, las válvulas son indispensables en la industria. Sin embargo, cómo se seleccionan, cuáles son las más aptas en un sistema. Para

responder a esto, a continuación se presentan las principales características de las válvulas: tipo de asientos (sello), clase, materiales de construcción, y tipos de extremos.

### **2.2.1 Tipos de asientos.**

Una válvula al estar abierta no es mas que un punto de paso del fluido dentro del sistema, sin embargo, al cerrarla se requiere obstruir el paso de dicho fluido, el sello es el principal objetivo de ésta. Las dos partes principales para cumplir lo anterior son el obturador y el asiento que al unirse estrangulan el flujo existente y éste se lleva a cabo por medio de las áreas de sello de las dos partes.

Los asientos se clasifican en fijos y dinámicos, también de acuerdo al tipo de sello: asiento metal – metal, asiento suave y asiento lubricado.

#### **2.2.1.1 Asientos Estáticos.**

Como su nombre lo dice este tipo de asientos se encuentran sin ningún movimiento y son fijados al cuerpo regularmente por medio de soldadura y el sellado lo genera realmente el obturador de la válvula.

#### **2.2.1.2 Asientos Dinámicos.**

En este caso los asientos son los que generan el sellado en la válvula por el movimiento dinámico que poseen estos mientras que el obturador se encentra con un grado de libertad para lograr el sellado con el asiento.

Se debe cumplir siempre lo siguiente:

Asiento.		Obturador.
Estático.	→	Dinámico.
Dinámico.	→	Fijo.

### **2.2.1.3 Asiento metal – metal.**

En este tipo de sellos tanto el obturador como el asiento las áreas de sello son metálicas.

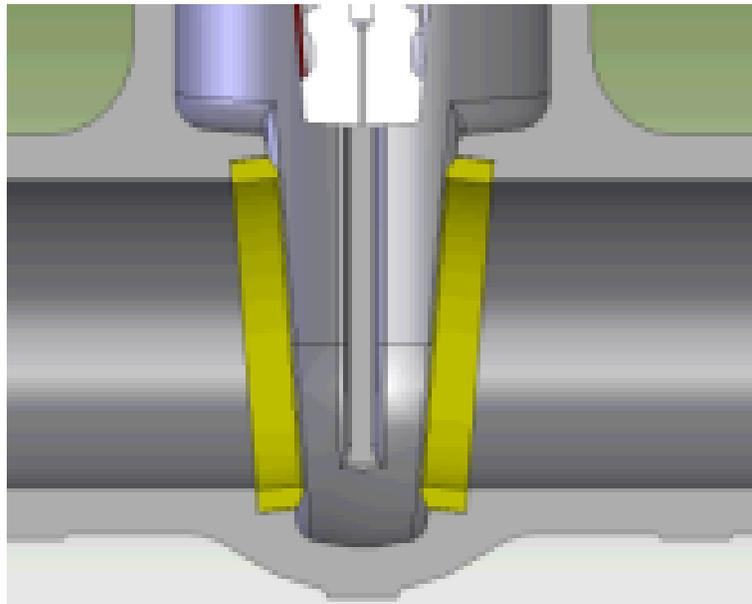


Figura 2.2. Válvula de compuerta con sello metal – metal.

### **2.2.1.4 Asiento Suave.**

En este tipo de sellos se lleva a cabo por medio de una parte metálica y otra por medio de un elastómero (Viton o Nylon) o termoplástico (teflón).

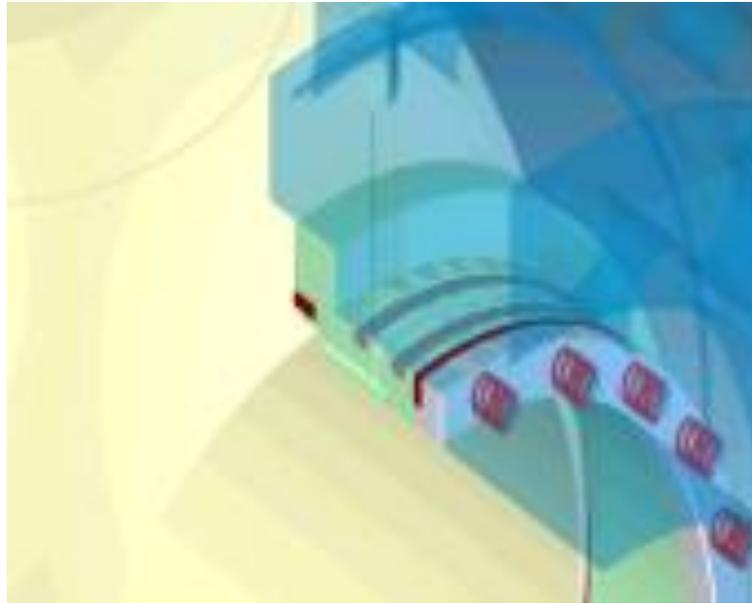


Figura 2.3. Válvula de bola con asiento suave.

#### ***2.2.1.5 Asiento por lubricación.***

El sellado se lleva a cabo por medio de grasa sellante.



Figura 2.4. Válvula macho con asiento lubricado.

En cualquier norma de válvulas los sellos metal – metal tienen fuga permisible, es decir, no son cero fugas. En asientos suaves la fuga permisible es cero.

### 2.2.2 Clase.

Es de suma importancia este término ya que permite clasificar la relación entre presión y temperatura de trabajo. La clase de la válvula no es la presión a la que debe ser probada ésta, simplemente es un número que se le asigna con la finalidad de identificar los diferentes rangos de presión – temperatura de trabajo, esto es utilizado normalmente para la selección de la válvula dependiendo las características del fluido a manejar.

En la empresa se fabrican válvulas de clase 150, 300, 600, 900, 1500 y 2500 según clasificación ASME B16.34 (AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS, Valves – Flanged, Threaded and Welding End).

FUNDICION ASTM A-216 GR WCB		Presiones de trabajo por clases, psig.						
°F	Temperatura °C	150	300	400	600	900	1500	2500
-20 A 100	-29 A 38	285	740	990	1,480	2,220	3,705	6,170
200	93	280	675	900	1,350	2,025	3,375	5,625
300	149	230	655	875	1,315	1,970	3,280	5,470
400	204	200	635	845	1,270	1,900	3,170	5,280
500	280	170	600	800	1,200	1,795	2,995	4,990
600	316	140	550	730	1,095	1,640	2,735	4,560
650	343	125	535	715	1,075	1,610	2,685	4,475
700	371	110	535	710	1,065	1,600	2,665	4,440
750	399	95	505	670	1,010	1,510	2,520	4,200
800	427	80	410	550	825	1,235	2,060	3,430
850	454	65	270	355	535	805	1,340	2,230
900	482	50	170	230	345	515	860	1,430
950	510	35	105	140	205	310	515	860
1000	538	20	50	70	105	155	260	430

Figura 2.5. Clase.

### **2.2.3 Materiales de construcción.**

El estándar internacional ASME B16.34 (Valves - Flanged, Threaded, and Welding End). Tiene un capítulo de materiales y que a la letra dice “Las partes consideradas como recipiente a presión deben ser construidos de acuerdo a la especificación ASTM”.

En esta tabla se podrán encontrar los 5 posibles métodos de obtención de materia prima:

1. Forja.
2. Fundición.
3. Placa.
4. Barra.
5. Tubular.

La selección de materiales se basa principalmente del fluido a manejar, la presión máxima de trabajo, la temperatura y las condiciones de corrosión y erosión. En las normas ASTM, se describen las características químicas y mecánicas de los diferentes materiales de construcción.

El material de construcción base para la válvula, en general se entiende por el material utilizado en las partes sometidas a presión como lo son el cuerpo, el bonete o tapa, la compuerta o disco.

El presente trabajo se desarrollará en una línea de ensamble de válvulas de acero fundido, donde los materiales pueden ser:

Acero al carbón: ASTM A216 WCB, ASTM A216 WCC, ASTM A352 LCB, ASTM A352 LCC.

Acero aleado: ASTM A217 WC6, ASTM A217 WC9, ASTM A217 C5, ASTM A217 C12.

Acero inoxidable: ASTM A315 CF8, ASTM A315 CF8M, ASTM A315 CF8C.

### **2.2.3.1 Arreglo de interiores TRIM.**

El arreglo de interiores se refiere a las partes internas que están en contacto con el fluido y sello metal – metal. El utilizado en válvulas de compuerta (compuerta o disco, asientos o anillos, vástago y casquillo), en válvulas de globo (disco, asiento o anillo, vástago, casquillo, tuerca de disco) y en válvulas de retención (disco, asiento o anillo, flecha y roldana del disco).

Los materiales indicados para los asientos y el disco pueden ser integrales o por aporte de soldadura y únicamente son para las áreas de sello según se especifica en el Estándar API 600.

En el anexo 4, se pueden observar algunos arreglos de interiores y su servicio recomendado.

### **2.2.4 Tipos de extremos.**

La conexión de la válvula a la línea dependerá de las características de estas últimas. Los tipos de extremos que se manejan en la compañía son: Bridada cara realizada (**F**), bridada cara plana (**FF**), bridada unión junta anillo (**RTJ**), caja soldable (**SW**), roscado (**S**), extremo soldable (**WE**) y extremos mixtos.

La mayoría de las veces, se elige un tipo de extremo de acuerdo a las condiciones de presión a las cuales va a operar la válvula. Por ejemplo, para bajas presiones se utilizan extremos F y FF, para presiones medias es usual ocupar uniones RTJ y para altas presiones se sugieren extremos soldables.

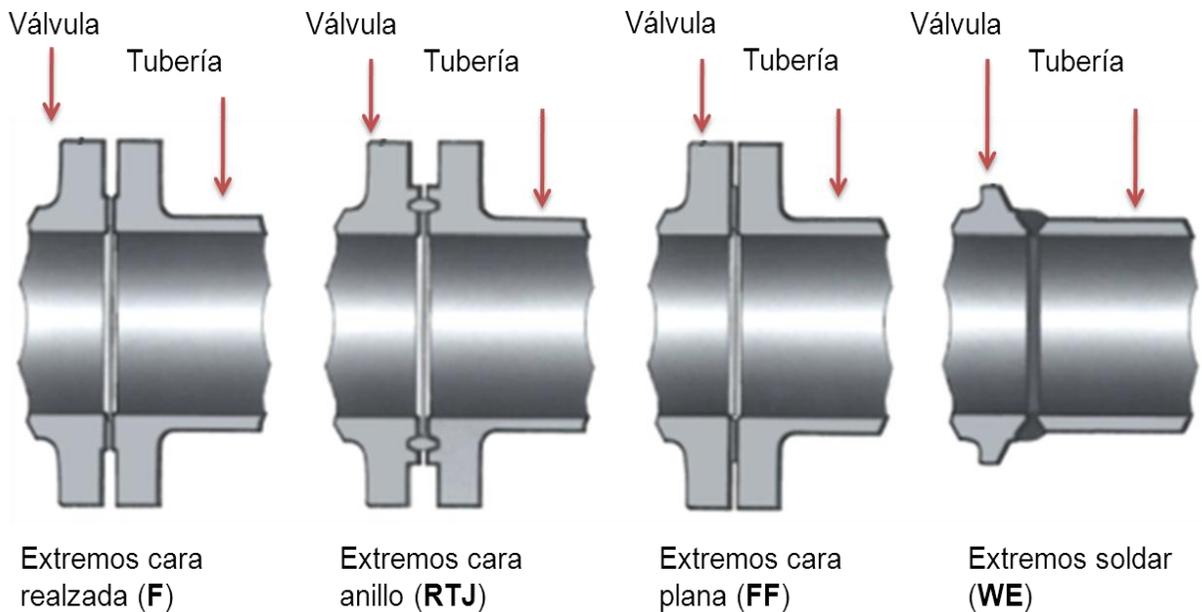


Figura 2.6. Tipos de extremos de válvulas.

## 2.3 Clasificación de las válvulas industriales.

### 2.3.1 Seccionamiento.

Las válvulas de seccionamiento están diseñadas para obstruir o liberar flujo, trabajan completamente abiertas o completamente cerradas y pueden ser colocadas en cualquier posición en la línea de proceso, por tanto, se prueban los dos asientos que lo componen. Las válvulas de compuerta, macho y bola entran en esta clasificación.



Figura 2.7. Válvula de compuerta.



Figura 2.8. Válvula macho.



Figura 2.9. Válvula de bola.

### **2.3.2 Regulación.**

Este tipo de válvulas se utilizan para realizar el control de caudal, presión, etc., del fluido. Las válvulas de globo son válvulas que se utilizan para la regulación de fluidos, por obvias razones esta válvula genera una gran caída de presión y caudal. Esta válvula se prueba únicamente por un lado que es en el sentido de flujo para garantizar que el obturador tenga la fuerza suficiente para lograr la hermeticidad del sello.



Figura 2.10. Válvula globo.

### **2.3.3 Contrarretorno.**

Este tipo de válvulas se utilizan para asegurar el sentido de flujo dentro de una línea, evitando que se produzca un retorno de fluido provocado por el balance de presiones en la conducción.

Estas válvulas conocidas comúnmente como válvulas check o retención deben ser probadas en sentido contrario al sentido de flujo marcado en la válvula.



Figura 2.11. Válvula retención.

## 2.4 Normas de diseño y pruebas.

Actualmente las válvulas para refinación están regidas por tres normas de diseño, de las cuales, dos ya contemplan el tema de pruebas de presión. Estas normas son las siguientes: API-6D, API-600, ASME B16.34.

API-600 Es la norma utilizada para el diseño para válvulas de compuerta de acero fundido, asientos estáticos y son válvulas con asientos metal a metal, esta norma ya indica el procedimiento y fugas permisibles en la pruebas de asientos.

ASME B16.34 es la norma de diseño utilizada para la fabricación de las válvulas de globo, el procedimiento de prueba así como la fuga permisible es de acuerdo a API-598.

API-6D es la norma utilizada para el diseño y pruebas de las válvulas de bola, compuerta plana, retención y macho, en esta norma ya se contempla las pruebas de presión.

Otras normas aplicables se pueden consultar el anexo 5.

Las válvulas de asiento dinámico son llamadas comúnmente como de *doble bloqueo y purga*, es decir, que mientras los asientos estén presurizados el centro de la válvula puede ser purgado sin ningún problema ya que la presión se encuentra en los extremos de la válvula. Este tipo de válvulas son las válvulas de bola y compuerta plana, además, esto facilita el mantenimiento de la misma. Sin embargo, en las válvulas con asientos estáticos, este tipo de práctica no se puede llevar a cabo, ya que la cámara central siempre queda presurizada, por lo que si se requiere un cambio de empaques en campo se requiere tener un dispositivo dentro de la válvula llamado casquillo que ayuda en el trabajo de reempacamiento.

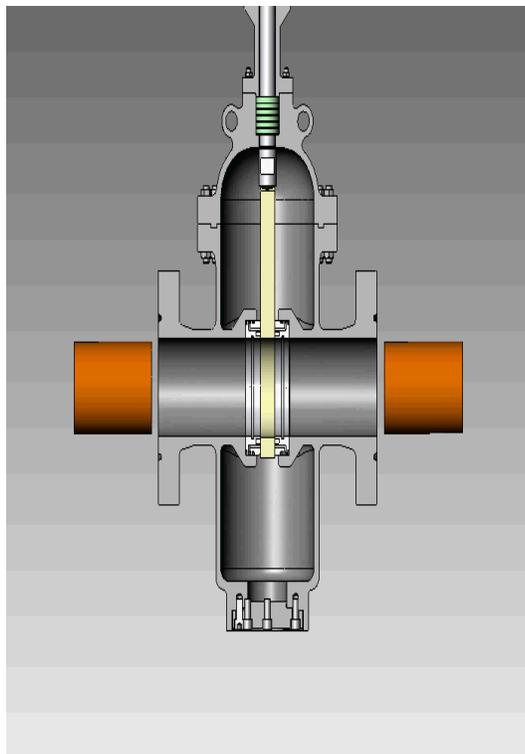


Figura 2.12. Doble bloqueo y purga.

## **2.5 Pruebas.**

En la fabricación de válvulas es necesario realizar pruebas que garanticen el buen funcionamiento de las mismas. Para esto se aplican pruebas no destructivas (radiografía, ultrasonido, líquidos penetrantes y partículas magnéticas) a componentes antes del ensamble. Después de ensamblar una válvula se procede a efectuar las pruebas hidrostáticas.

### **2.5.1 Pruebas no destructivas.**

Son técnicas de inspección que se utilizan para la detección y evaluación de las posibles discontinuidades que puedan existir tanto en la superficie como en el interior de los materiales metálicos (placa rolada, material forjado, piezas de fundición, soldadura, etc.) que se emplean para la fabricación de recipientes sujetos a presión, tanques atmosféricos, válvulas, árboles, cabezales, tubería, etc.; a estas técnicas se les llama Pruebas No Destructivas porque al aplicarlas, los materiales no se destruyen ni se ven afectadas sus propiedades físicas, químicas, mecánicas y/o características dimensionales.<sup>29</sup>

#### **2.5.1.1 Método de Líquidos Penetrantes.**

El método consiste en la aplicación de un líquido con pigmentación visible (contrastante) o fluorescente sobre la superficie de la pieza a examinar, con la finalidad de que se introduzca por capilaridad en las posibles discontinuidades superficiales que la pieza, artículo o componente tenga; la aplicación se puede efectuar por aspersión, brocha, inmersión o por baño.

---

<sup>29</sup> <http://www.capacitacionypnd.com/queson.php>

Después de transcurrido un cierto tiempo de permanencia (tiempo de penetración), se limpiará la superficie para eliminar el exceso de penetrante; posteriormente se aplica un revelador, el cual absorbe y extiende el penetrante atrapado en las imperfecciones formando una indicación sobre un fondo contrastante de color blanco para el penetrante visible y un fondo oscuro para penetrantes fluorescentes.



Figura 2.13. Aplicación de la técnica de líquidos penetrantes visibles.

### **2.5.1.2 Método de Partículas Magnéticas.**

Es un método de ensayo no destructivo de tipo superficial que consiste en la magnetización de una pieza por medio de un campo eléctrico o un campo magnético, después o en forma simultánea, se aplica sobre la superficie un polvo ferro magnético, el cual será atraído donde exista una distorsión de las líneas de flujo magnético o mejor conocida como "fuga de campo" formándose así las indicaciones, éstas serán visibles bajo condiciones apropiadas de iluminación.

### **2.5.1.3 Método de Ultrasonido Industrial.**

El instrumento ultrasónico envía pulsos eléctricos con cierta frecuencia de repetición al transductor, éste al recibirlos vibrará; estas vibraciones se propagan en el medio a una velocidad constante y serán reflejadas parcialmente cuando exista en su camino un cambio de impedancia acústica "Z"; el reflejo en forma de eco, al ser captado por el transductor, producirá una señal eléctrica RF que será desplegada en la pantalla.

### **2.5.1.4 Método de Radiografía Industrial.**

Es un método de ensayo no destructivo que utiliza radiación ionizante de alta energía, que al pasar a través de un material sólido, parte de su energía se atenúa debido a las diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades. Las variaciones de atenuación o absorción de la radiación en un material, son detectadas y registradas en una pantalla fluorescente o en una película radiográfica, obteniéndose una imagen o registro permanente de la estructura interna de una pieza o componente.

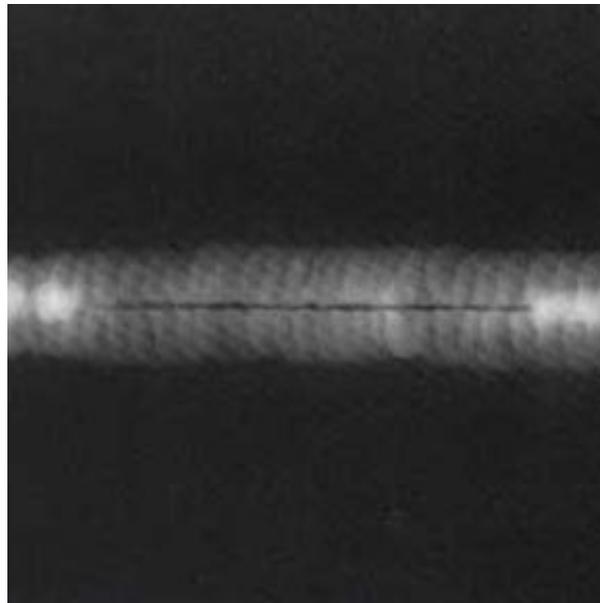


Figura 2.14. Imagen Radiográfica de una falta de penetración.

### 2.5.2 Prueba hidrostática.

La prueba hidrostática tiene como finalidad la detección de fugas en el recipiente debido a defectos en la materia prima, esto con la finalidad de garantizar que no se tendrán problemas durante la operación.

Una prueba de presión se le realiza a los recipientes a presión utilizando como medio de prueba el agua a temperatura ambiente y la presión de prueba esta por arriba de la presión máxima de trabajo del recipiente.

Hay 2 tipos de pruebas que se realizan a las válvulas:

**Prueba de casco.** Es aquella que sirve para detectar fugas externas y en las uniones de las válvulas.



Figura 2.15. Prueba hidrostática de casco en una válvula de retención.

**Prueba de asientos.** Que sirve para verificar la hermeticidad de los asientos de la válvula.

Las válvulas tienen una prueba de operación sin presión para comprobar que operan adecuadamente, desde completamente abierta hasta completamente cerrada y viceversa. La fuerza que se aplica para abrir o cerrar totalmente la válvula, tiene que ser la de una persona en condiciones normales. Todas las válvulas se prueban.

El agua de prueba contiene un inhibidor a la oxidación. Las pruebas se realizan a temperatura ambiente observando que la temperatura del fluido de prueba se encuentre entre 5°C y 52°C. El agua de prueba debe estar libre de basura o agentes extraños que pueden dañar las áreas de sello de las válvulas.

Los asientos de las válvulas deben estar limpios y libres de algún agente (grasa, aceite) que pueda actuar como sellante. Si una válvula no pasa las pruebas solicitadas, se debe eliminar la causa y reparar la válvula. Cuando la válvula este reparada, se deben reiniciar las pruebas, ejecutándolas totalmente.

## **2.6 Línea de fabricación.**

A continuación se muestra la línea de fabricación de válvulas industriales fabricadas por la compañía.

**Válvulas de acero fundido:** En esta línea se producen válvulas de acero fundido de compuerta API 600, globo B16.34 y retención API 6D. En la tabla se muestran los tamaños en pulgadas contra clase.

Tamaño (Pulg.)																		
clase	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14	16	18	20	24	30	36	42	48
Compuerta.																		
150	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
300	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
600	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
900	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*						
1500	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*							
Globo.																		
150	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*					
300	*	*	*	*		*	*	*	*	*								
600	*	*	*	*		*	*	*	*	*								
900	*	*	*	*		*	*	*	*	*								
1500	*	*	*	*		*	*	*	*									
Retención.																		
150	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*				
300	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*				
600	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
900	*	*	*	*		*	*	*	*	*								
1500	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*						

Figura 2.16. Línea de fabricación de válvulas de acero fundido.

**Válvulas de macho:** En esta línea se producen válvulas de macho API 6D.

**Válvulas de acero forjado:** En esta línea se producen válvulas de acero forjado compuerta, globo y retención API 602.

**Válvulas de bola:** En esta línea se producen válvulas de bola API 6D.

Tamaño (Pulg.)																				
clase	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	36	48	
Bola Trunion.																				
150	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*				
300	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
600	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			*		*	*	
900	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		*							
1500	*	*	*	*	*	*	*	*	*											

Figura 2.17. Línea de fabricación válvulas de bola trunion.

Tamaño (Pulg.)										
clase	0.5	0.75	1	1.5	2	2.5	3	4	6	8
Bola Flotante.										
150	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
300	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Figura 2.18. Línea de fabricación válvulas de bola flotante.

## **Capítulo 3. Aplicación de los métodos estadísticos.**

### **3.1 Introducción.**

En el primer capítulo se sustentó la parte teórica para aplicar el control estadístico de procesos, en el segundo capítulo se habló de las válvulas industriales. Ahora en este capítulo se pondrá en práctica lo antes mencionado. Cabe resaltar que la información mostrada en el presente capítulo son datos estadísticos de referencia y en ningún momento implica la información confidencial de la empresa.

El Dr. Ishikawa dice que el control total de calidad es uno de los objetivos principales de la empresa, es decir, es una filosofía administrativa basada en hechos. Los hechos son importantes y deben registrarse con claridad, por lo que se requiere expresarlos con cifras exactas. Utilizando métodos estadísticos, se pueden analizar los hechos, lo cual permite hacer cálculos, formar juicios y luego ejecutar medidas del caso.

Al aplicar el modelo DMAMC (empleado en la metodología seis sigma), se implementará el control estadístico de procesos. Es un proyecto a largo plazo con la designación de proyectos a partir de la definición de problemas, su medición, análisis, además de mejorar y controlar. El ciclo permite encontrar problemas y solucionarlos. Así, se implementará el modelo DMAMC en un caso.

### **3.2 Identificación de las etapas del proceso de manufactura de válvulas industriales.**

Las etapas del proceso de fabricación de válvulas industriales son variadas y paralelas. A continuación, se indican las principales etapas del proceso:

- a) Recepción de materia prima.
- b) Maquinado de componentes.
- c) Ensamble.
- d) Pruebas hidrostáticas.
- e) Detallado final y pintura.

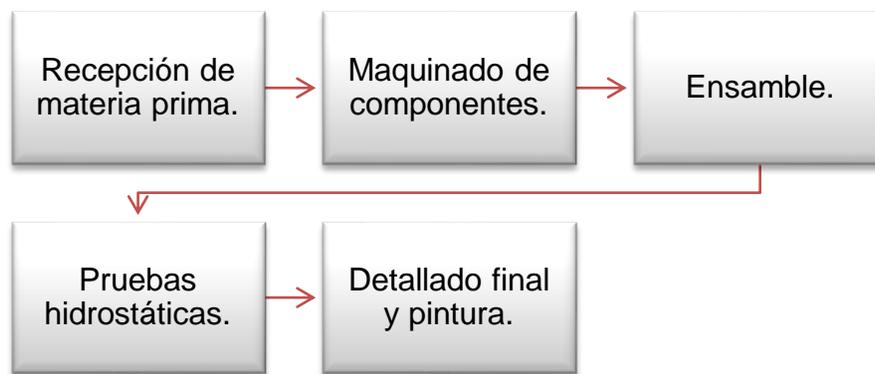


Figura 3.1. Etapas del proceso de fabricación de válvulas industriales.

### 3.2.1 Recepción de materia prima.

En esta etapa, se realiza la recepción de materia prima tales como fundiciones, barras, placas, tornillería, juntas, pintura, soldadura, entre otros. En este punto el área de calidad realiza un muestreo de aceptación del producto. Si el material es no conforme se marca la zona de discrepancia cuando es posible y se procede a realizar un Reporte de No Conformidad, además se solicita al supervisor de almacén colocar las piezas en el área de retención. En caso contrario, se libera el material para pasar a producción.

### **3.2.2 Maquinado de componentes.**

En este apartado se maquinan los componentes como son contenedores de presión (cuerpo, bonete, tapa, disco), vástagos, asientos, entre otros. Lo anterior a partir de una orden de maquinado, que especifica el componente a maquinar y requerimientos especiales si es que los requiere (como son pruebas no destructivas).

Existen varias líneas de maquinado para fundiciones, barras, forjas, y misceláneos. Lugares aptos para aplicar el control estadístico de procesos.

### **3.2.3 Ensamble.**

A partir de una orden de ensamble, se procede a ensamblar la(s) válvula(s). Se verifica que la lista de materiales este completa procediendo a ajustar las áreas de sello con el fin de garantizar la hermeticidad del sello.

Todos los componentes se inspeccionan visualmente para comprobar que no les falta nada de maquinar, que tienen los acabados y que son adecuados para su ensamble.

Se revisa que las superficies de sello del disco y anillo no presenten rayaduras, discontinuidades, protuberancias, falta de planicidad u ovalamiento. Todas las piezas deben estar limpias antes de iniciar su ensamble.

### **3.2.4 Pruebas hidrostáticas.**

Las pruebas hidrostáticas se realizan al 100% de la válvulas tanto prueba de casco, como pruebas de sellos de acuerdo a especificación correspondiente.

### 3.2.5 Detallado final y pintura.

Una vez que las válvulas han sido probadas se realiza lo siguiente:

**Identificación de las válvulas.** La totalidad de las válvulas cuentan con un número de serie. Este número se estampa con números o letras de golpe de bajo esfuerzo.

**Limpieza y lubricación después de pruebas.** La válvula es drenada completamente, interna y externamente. Se eliminan los residuos del agua de pruebas secando con una franela y/o aire la superficie interna en las válvulas donde sea posible, y aplicar en aerosol el inhibidor a la oxidación el cual soportar 50°C antes de evaporarse o perderse en la parte interna de las válvulas.

**Placa de identificación.** La colocación de datos de la placa de identificación se realiza conforme a especificación.

**Aplicación de la pintura.** Dependiendo el tipo de válvula se le aplica la pintura correspondiente. También existe aplicación de recubrimientos especiales a petición del cliente.

**Protección de extremos.** Para asegurar un buen almacenaje y como medida de protección se tapan los extremos de las válvulas. El fin es evitar la entrada de agentes externos que puedan violar el área de sello. Para esto se ocupan protectores de plástico y madera.

**Colocación de la etiqueta de código de barras.** La totalidad de las válvulas cuentan con una etiqueta que contiene la descripción de la válvula, el número de serie y el código de barras correspondiente.

**Liberación.** Después de que la válvula ha sido inspeccionada, se coloca la tarjeta o sello de aceptación final para ser enviadas al almacén de producto terminado.

### 3.3 Diagnóstico interno.

Antes de iniciar con la aplicación del control estadístico de procesos, es prudente hacer un diagnóstico de la situación actual de la compañía. Para esto, me baso en los datos estadísticos de calidad del segundo semestre del año 2012.

Es oportuno mencionar que los inspectores de calidad únicamente se remiten a la inspección por muestreo al producto terminado. No existe una hoja de verificación, apoyándose únicamente de una lista de defectos, la cual se muestra a continuación:

<b>Código de defecto</b>	<b>Tabla de defectos</b>	<b>Código de defecto</b>	<b>Tabla de defectos</b>
<b>A</b>	No cumple vs MSS SP 25.	<b>I</b>	Tuerca de volante flojo.
<b>B</b>	No cumple vs MSS SP 55.	<b>J</b>	Mal maquinado.
<b>C</b>	No cumple vs MSS SP 70.	<b>K</b>	Cordón de Soldadura.
<b>D</b>	Tornillería.	<b>L</b>	Mal Ensamble.
<b>E</b>	Placas.	<b>M</b>	Tornillería.
<b>F</b>	Oxido.	<b>N</b>	Sand-blast.
<b>G</b>	CR golpeado.	<b>Ñ</b>	Volante roto.
<b>H</b>	Graseras.	<b>O</b>	Pintura.

Figura 3.2. Tabla de defectos empleada en la inspección de válvulas.

De acuerdo a la figura 3.2, existen términos o defectos repetidos, caso de la tornillería, hacen falta diversos puntos de verificación que están omitidos. Desde aquí, se encuentra un grave problema, pues no se tiene definido que revisar, se omite el control de procesos y los reportes no soportan datos verídicos. Una consecuencia es el exceso de retrabajos, reclamaciones y tiempos muertos.

A continuación se muestra una tabla con las cantidades defectuosas contra las cantidades inspeccionadas durante el segundo semestre del año 2012 de la línea mediana de válvulas de acero fundido.

	Julio		Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre		Totales	
	295 pzs.		552 pzs.		226 pzs.		607 pzs.		485 pzs.		374 pzs.		2539 pzs.	
	Can	%	Can	%	Can	%	Can	%	Can	%	Can	%	Can	%
A	10	3.39	7	1.27	15	6.64	0	0.00	4	0.82	5	1.34	41	1.61
B	17	5.76	87	15.76	3	1.33	17	2.80	1	0.21	1	0.27	126	4.96
C	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
D	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.41	0	0.00	2	0.08
E	8	2.71	17	3.08	4	1.77	11	1.81	10	2.06	0	0.00	50	1.97
F	0	0.00	29	5.25	5	2.21	7	1.15	1	0.21	0	0.00	42	1.65
G	1	0.34	0	0.00	0	0.00	0	0.00	2	0.41	0	0.00	3	0.12
H	0	0.00	2	0.36	15	6.64	4	0.66	3	0.62	0	0.00	24	0.95
I	7	2.37	8	1.45	5	2.21	0	0.00	6	1.24	1	0.27	27	1.06
J	0	0.00	0	0.00	0	0.00	27	4.45	0	0.00	0	0.00	27	1.06
K	8	2.71	0	0.00	1	0.44	1	0.16	0	0.00	0	0.00	10	0.39
L	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
M	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
N	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
Ñ	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00
O	1	0.34	37	6.70	0	0.00	46	7.58	0	0.00	4	1.07	88	3.47
	52	17.63	187	33.88	48	21.24	113	18.62	29	5.98	11	2.94	440	17.33

Figura 3.3. Relación de cantidades liberadas por mes contra cantidad de piezas con defecto.

Los datos expresados en la figura 3.3 arrojan porcentajes de error variados y muy altos, desde el 2.94% en diciembre hasta el 33.88% en agosto. Se nota el exceso de retrabajo para el aseguramiento de calidad.

En seguida se muestra el histograma y diagrama de Pareto de la información anterior:

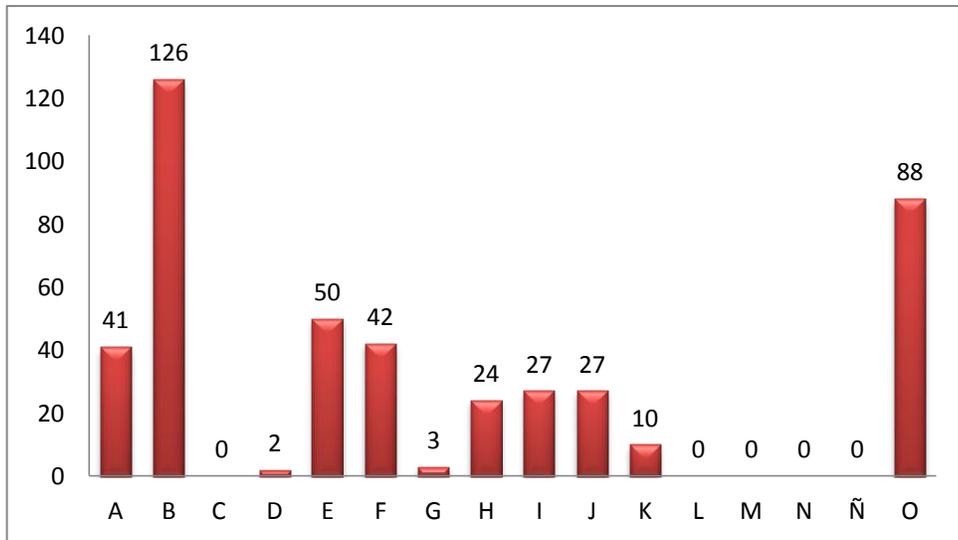


Figura 3.4. Histograma con los principales problemas en el producto.

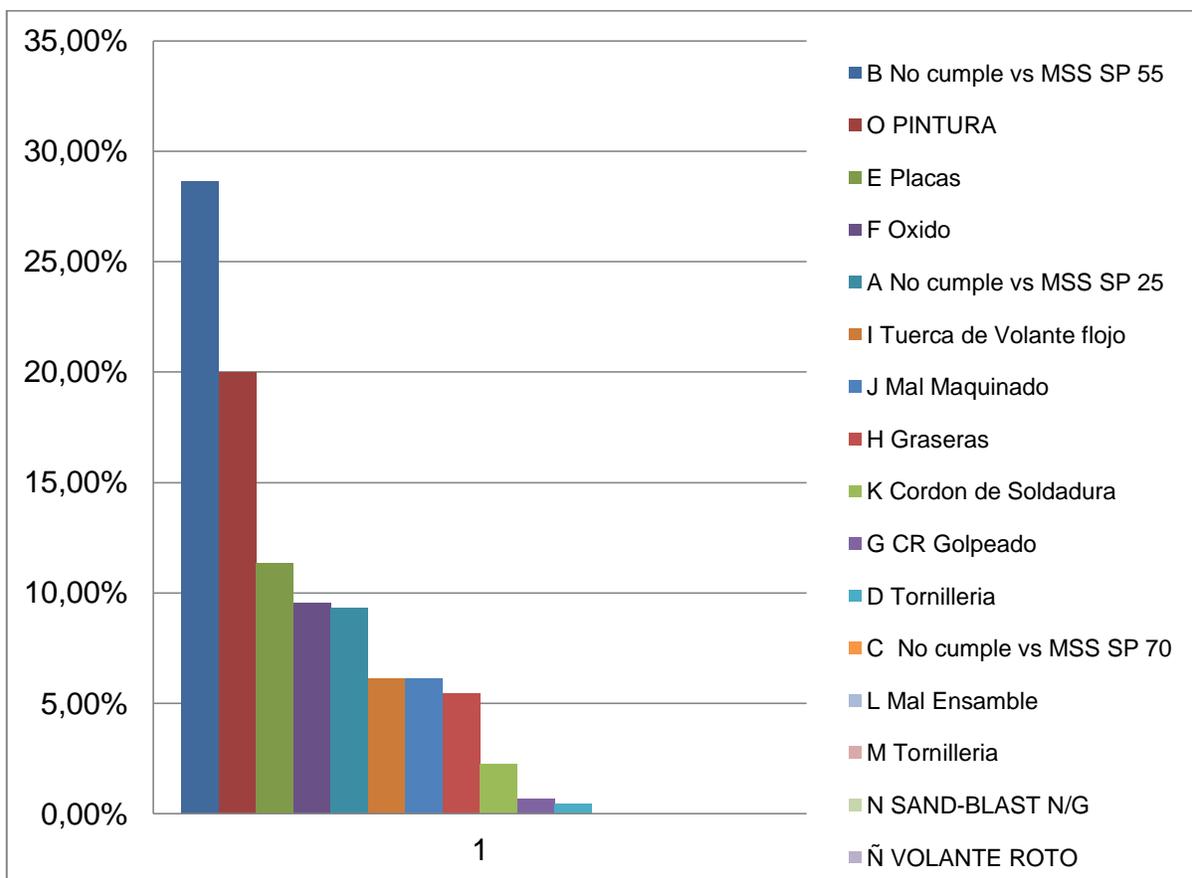


Figura 3.5. Diagrama de Pareto.

Se concluye que la recolección de datos es muy deficiente. Las revisiones se hacen contra una lista de defectos o contra especificación interna requiriéndose leer una por cada tipo de defecto en este caso, no existe un consenso para identificar los puntos críticos de calidad, por lo que cada inspector lo hace a su propia consideración.

La revisión se hace al producto terminado por lo que se omiten muchos puntos de revisión durante el proceso y que se pueden evitar desde ahí, los índices de error son muy variados y altos, por lo tanto, existe mucho retrabajo.

Es necesario implementar un control estadístico de proceso que permita eliminar los puntos anteriores y otras variaciones.

### **3.4 Aplicación del modelo DMAMC en la línea mediana de válvulas industriales.**

En seguida se presenta la aplicación del control estadístico aplicando el modelo DMAMC en la fabricación de válvulas industriales.

Como se observó en el diagnóstico interno, existen varios puntos críticos de revisión para una válvula terminada, pero no existía un consenso para identificarlas y definir las, sin embargo, se realizó una reunión entre producción y calidad donde se llegó a la siguiente lista de verificación que muestra los principales puntos de revisión:

<b>1</b>	Leyendas.
<b>2</b>	Marcajes (Trim, PND's, #Ring, Ced).
<b>3</b>	Cosmético.
<b>4</b>	Soldadura (cordones y/o reparaciones).
<b>5</b>	Ensamble y/o maquinado no conforme.

6	Tornillería (tipo, distribución y apriete).
7	Ducto (oxido, inhibidores).
8	Componentes y/o accesorios.
9	Tuerca de volante / volante.
10	Extremo (F,FF,RTJ,S,SW, WE, Mixtos).
11	Pintura (adherencia, apariencia).
12	Placa de identificación.
13	Protectores.
14	No cumple el anexo.

Figura 3.6. Lista de verificación de válvulas como producto terminado.

Ya definida la lista de verificación, se determina iniciar la implementación del control estadístico a un caso: placas de identificación.

### 3.4.1 Fase de definición.

Nombre del proyecto: Reducción de retrabajos de elaboración y colación de placas de identificación para válvulas industriales.

Área: Línea Mediana.

División: Producción y calidad.

#### 3.4.1.1 Problema.

Para la correcta identificación y rastreabilidad del producto, es necesario identificar a cada válvula con un número de serie y placa de identificación, como se puede apreciar en la hoja de verificación de producto terminado. El principal problema radica en errores de datos en la placa de identificación, placas incorrectas de acuerdo al tipo de válvula y colocación de placas en válvulas con números de serie incorrectos.

#### **3.4.1.2 Identificación de cliente.**

Nuestro clientes son: internos, el almacén de producto terminado y la liberación de material de embarque; externo, usuario o cliente final.

#### **3.4.1.3 Objetivo de caso.**

El caso esta orientado a disminuir el retrabajo en la colocación de placas de identificación de válvulas industriales, así como evitar el desperdicio de placas por estar mal identificadas. También se determinará la causa principal del problema aplicando el modelo DMAMC.

#### **3.4.1.4 Meta del caso.**

Reducir DPMO (defectos por millón de oportunidades).

Reducir el desperdicio de placas de identificación.

Reducir el retrabajo en la colocación de placas.

#### **3.4.1.5 Mapa del flujo del proceso de elaboración y colocación de placas de identificación.**

Como se puntualizó en la identificación de etapas de proceso de elaboración de válvulas industriales, durante el detallado final y pintura se determina y coloca la placa de identificación de acuerdo a un número de serie. En seguida se muestra el mapa de proceso correspondiente a la elaboración y colocación de placas de identificación.

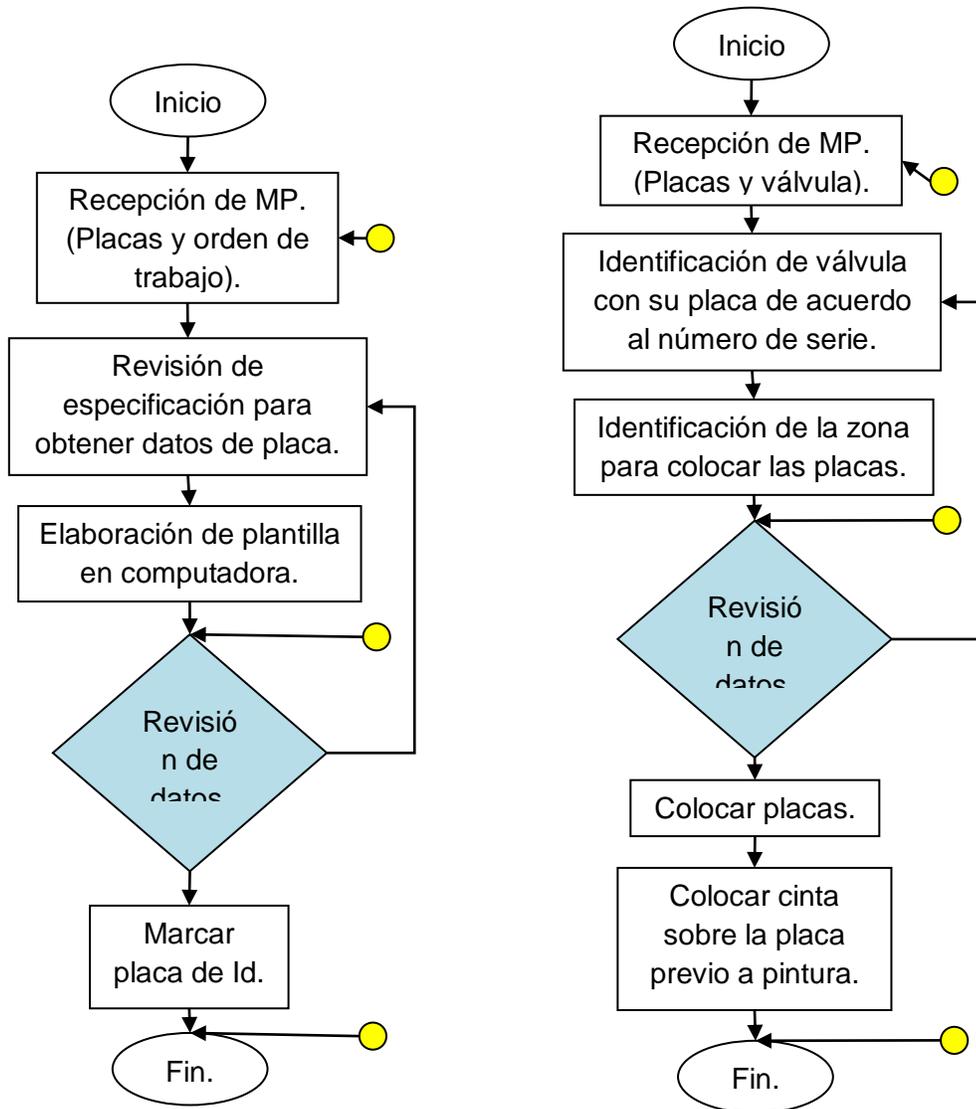


Figura 3.7. Mapas de proceso: elaboración y colocación de placas de identificación.

### 3.4.2 Fase de medición.

#### 3.4.2.1 Tipo de información a medir.

La recolección de datos será cuantitativa por atributos (pasa, no pasa), pues no hay parámetros continuos que se puedan medir. A continuación se estratifica el caso:

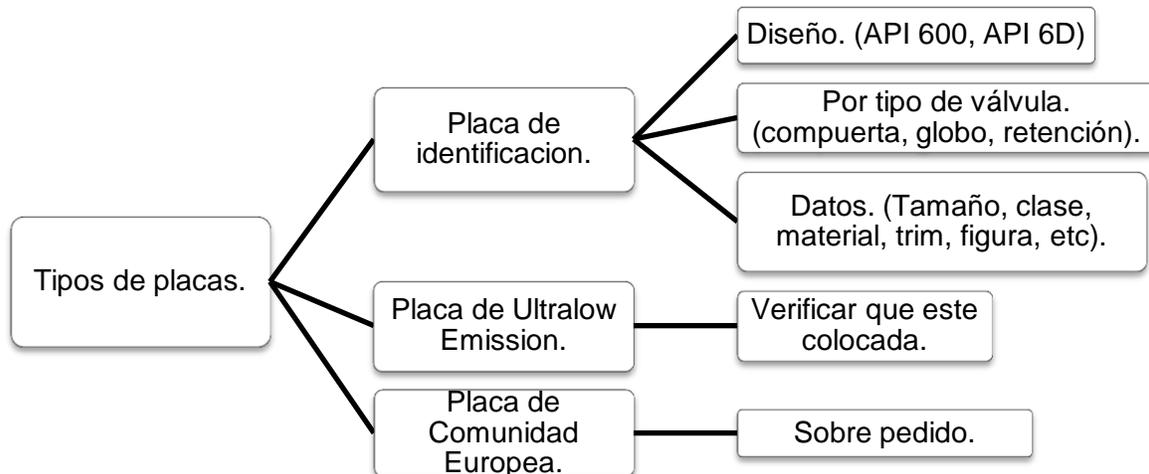


Figura 3.8. Estratificación de caso: placas de identificación.

A partir de lo anterior, se requiere verificar las siguientes características de calidad en las placas de una válvula bien identificada:

1. Que tenga sus respectivas placas en el lugar correspondiente de acuerdo a especificaciones internas.
2. Placa de identificación que corresponda al número de serie de la válvula.
3. Diseño de placa que corresponda al tipo de válvula.
4. Datos correctos de acuerdo a especificación.
5. Maltratada. (sin golpes, sucia, con pintura, ilegible etc.).

En base a los puntos anteriores, el caso es mas factible de analizar porque la estratificación permitirá observar cuales son los verdaderos problemas que se tienen, de la mano del mapa de procesos, se puede observar en que momento ocurre los problemas para resolverlos.

### 3.4.2.2 Análisis de modo y efecto de falla.

Paso del proceso	Modo de falla	Efectos de falla	SEV	Causas	OCU	Controles actuales	DET	NPR
Recibir MP. (Placas, orden de trabajo y hoja de registro).	Diseño de placa no es el requerido por el tipo de válvula.	Placa incorrecta para el tipo de válvula.	4	Mal surtimiento de almacén, negligencia.	1	Ninguno	1	4
	Orden de trabajo mal identificada, los números de serie no corresponden a la orden indicada en hoja de registro.	Datos de placa incorrectos para la válvula físicamente.	10	Distracción, mal registro, negligencia.	4	Ninguno	7	280
Revisar especificación para obtener datos de placa.	Datos incorrectos para la placa.	No se puede colocar por que no cumple lo solicitado.	10	Especificación confusa y desactualizada. Inexperiencia del operador, negligencia.	2	Ninguno	7	140
Elaborar plantilla en computadora.	Mala captura de datos.	Placa mal identificada.	10	Distracción, negligencia.	2	Ninguno	7	140
Marcar placa de id.	Marcajes ilegibles.	No se ven los datos de placa.	3	Falta de presión en la maquina.	1	Ninguno	1	3
Identificar válvula con placa por número de serie.	Placa no corresponde a la válvula físicamente.	Válvula mal identificada.	3	Distracción, negligencia.	7	Ninguno	7	147
Identificar la zona para colocar las placas.	Placa colocada en zona incorrecta de la válvula.	Rechazo de válvula.	1	No se conoce la especificación, negligencia.	2	Ninguno	2	4
Colocar placas.	Placa mal colocada, e incluso, sin colocar.	Rechazo de válvula. Tiempos muertos.	7	Distracción, negligencia.	7	Ninguno	6	294
Colocar cinta sobre las placas.	Placa maltratada, pintada, sucia.	Rechazo de válvula.	3	Distracción, negligencia.	5	Ninguno	3	45

Figura 3.9. Primera parte del AMEF.

En la figura 3.9 se realiza la primera parte del AMEF. De acuerdo al NPR, los tres principales puntos por severidad están al recibir los órdenes y datos para la elaboración de la placa, la revisión de la especificación correspondiente para obtener datos y la captura de datos. Como se refirió en el capítulo 1, es necesario tratar estos puntos por su clasificación de severidad.

Ahora por NPR elevado se encuentra placa mal colocada e incluso, sin colocar.

Este apartado orienta al proyecto de caso para analizar los principales puntos de variación y que se analizarán más adelante.

### **3.4.2.3 Análisis del sistema de medición. R&R para atributos.**

Se realizó el estudio de repetibilidad y reproductibilidad para atributos con datos binarios. Se seleccionaron 60 válvulas con todo tipo de calidad donde se incluían piezas bien identificadas, datos en placas incorrectos, placas con pintura, mal colocadas, etc. Se seleccionó a dos detalladores encargados de colocar las placas y dos inspectores encargados de liberar material y cada uno evaluó las piezas en orden aleatorio dos veces con una semana de diferencia entre evaluación. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla de la figura 3.10, a juicio de cada operador se anota 0 si la válvula es rechaza o 1 si es aceptada.

No. De parte	Semana 1				Semana 2				Suma	Repetibilidad			
	Op 1	Op 2	Op 3	Op 4	Op 1	Op 2	Op 3	Op 4		Op 1	Op 2	Op 3	Op 4
1	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
2	1	0	1	1	1	1	1	1	7	0	1	0	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
4	0	1	0	0	1	1	0	1	4	1	0	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0

8	1	1	1	0	1	1	1	1	7	0	0	0	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
11	1	0	1	0	0	0	0	0	2	1	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
14	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
15	1	1	1	1	0	1	1	1	7	1	0	0	0
16	0	1	1	1	1	1	1	1	7	1	0	0	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
21	1	0	1	1	1	1	1	1	7	0	1	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
24	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
25	1	1	0	1	1	1	1	1	7	0	0	1	0
26	1	1	1	0	1	1	1	1	7	0	0	0	1
27	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
28	1	1	1	1	0	0	1	1	6	1	1	0	0
29	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
30	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
31	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
32	1	1	0	1	1	1	1	1	7	0	0	1	0
33	1	0	1	1	1	1	1	1	7	0	1	0	0
34	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
35	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
36	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
37	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
40	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
41	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
42	0	1	1	1	1	1	1	1	7	1	0	0	0
43	0	1	1	0	0	0	0	0	2	0	1	1	0
44	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
45	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
46	1	1	0	1	1	1	1	1	7	0	0	1	0
47	1	0	1	0	1	1	1	1	6	0	1	0	1

<b>48</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>49</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>50</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>51</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>52</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>53</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>54</b>	1	1	0	1	1	1	1	1	7	0	0	1	0
<b>55</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>56</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>57</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
<b>58</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>59</b>	1	1	1	1	1	1	1	1	8	0	0	0	0
<b>60</b>	1	0	1	1	1	0	1	1	6	0	0	0	0
<b>Total</b>	45	44	46	42	44	44	45	46		7	8	9	4

Figura 3.10. Datos para el estudio de R&R.

Ahora se procede a realizar un estudio más detallado con el método de análisis de riesgo para ver que tan graves son las inconsistencias de criterios<sup>30</sup>.

Para iniciar el estudio, se procede a contar el número de acuerdos. Cada válvula fue sometida a 8 revisiones, así que en la columna suma de la tabla anterior muestra que donde hay un 8 todos los operadores aceptaron la válvula y 0 todos la rechazaron. Valores diferentes de 8 y 0 significa que hubo desacuerdos. En la tabla de la figura 3.11, se muestran los resultados del total de acuerdos y desacuerdos.

Ahora se determina el número de desacuerdos posibles por pieza:

$$a_p = \binom{k}{2} = \frac{k!}{2!(k-2)!} = \frac{k(k-1)}{2} = \frac{8 \times 7}{2} = 28 \quad [\text{Ec. 23}]$$

Donde  $k=8$ , evaluaciones sometidas a cada válvula y 2 los posibles resultados.

Si  $p$  es el número de válvulas de la prueba entonces el total de posibles desacuerdos del estudio es:

<sup>30</sup> (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009, págs. 303 - 309)

$$a_t = a_p \times p = 28 \times 60 = 1680 \text{ oportunidades} \quad [\text{Ec. 24}]$$

Se realiza un análisis de la columna suma de la figura 3.10 contando cuantas piezas tienen el mismo nivel de acuerdo. Los resultados se emiten en la figura 3.11, donde en la primera columna se muestra el nivel de acuerdo, es decir, 0 u 8 implica un total acuerdo (todos aceptan o todos rechazan), 1 o 7 implica que hubo acuerdo en 7 de 8 juicios sobre una pieza y así sucesivamente. La columna número de pares en desacuerdo, es una forma de penalizar el nivel de desacuerdo, es decir, ninguna penalización cuando hay acuerdo (0 u 8), y hasta 16 para cuando la mitad de los juicios deciden una cosa y la otra mitad lo contrario. Finalmente, el número de desacuerdos totales resulta de multiplicar el número de piezas por número de pares en desacuerdo en cada nivel.

Nivel de acuerdo columna Suma.	Número de pares en desacuerdo.	Número de piezas.	Desacuerdos totales.
0 u 8	0	37	0
1 o 7	7	16	112
2 o 6	12	6	72
3 o 5	15	0	0
4	16	1	16
	<b>Total</b>	<b>60</b>	<b>200</b>

Figura 3.11. Resumen de acuerdos y desacuerdos.

Se calcula el nivel desacuerdo del estudio, al dividir el total de desacuerdos en el estudio,  $D_e$ , entre el número total de posibles acuerdos, se obtiene:

$$ND_e = \frac{D_e}{a_t} \times 100 = \frac{200}{1680} \times 100 = 11.90\% \quad [\text{Ec. 25}]$$

El resultado arrojado es parcialmente aceptable, el 11.90% es el porcentaje del nivel de desacuerdo, en consecuencia, aquí en el sistema de medición existe una oportunidad de mejora implementando un programa de capacitación por ejemplo.

Determinar la repetibilidad. El instrumento de medición lo desempeña el criterio del operador, por lo tanto, los desacuerdos de repetibilidad se calculan a partir de la consistencia de ensayos de un mismo operador. Por eso, a la figura 3.10 se le agregó un grupo de columnas de repetibilidad, donde para cada operador y cada pieza se analiza si hay coincidencia en sus juicios de un ensayo a otro. Si hubo coincidencia se anota 0 y si no la hay se anota 1.

Operador	Desacuerdos	Oportunidades	Porcentaje
1	7	60	11.67%
2	8	60	13.33%
3	9	60	15.00%
4	4	60	6.67%
<b>total</b>	<b>28</b>	<b>240</b>	<b>11.67%</b>

Figura 3.12. Resultados de repetibilidad.

El número total de desacuerdos fue  $D_{rep}=28$ , al dividirlos entre el total de oportunidades,  $O_{rep}=240$  se obtiene el nivel de desacuerdos atribuibles a repetibilidad,  $ND_{rep}$ , es decir:

$$ND_{rep} = \frac{D_{rep}}{O_{rep}} \times 100 = \frac{28}{240} \times 100 = 11.67\% \quad [\text{Ec. 26}]$$

Los valores posibles de  $ND_{rep}$  van de 0 a 100 y entre más alto peor es la repetibilidad de los operadores. El 11.67%, aunque no es muy alto, representa una excelente oportunidad de mejora del sistema de medición.

Reproducibilidad. Aquí se evalúan las diferencias sistemáticas entre operadores, comparando el total de piezas aceptadas por cada operador en los dos ensayos.

A continuación se muestran los datos obtenidos:

Operador	Número de piezas aceptadas		Total aceptadas	Total evaluadas	Porcentaje de aceptación.
	Semana 1	Semana 2			
1	45	44	89	120	74.17%
2	44	44	88	120	73.33%
3	46	45	91	120	75.83%
4	42	46	88	120	73.33%
<b>Total</b>			<b>356</b>	<b>480</b>	<b>74.17%</b>

Figura 3.13. Resultados de Reproducibilidad.

Los resultados de la tabla anterior son un indicativo de que los operadores no evalúan las partes de la misma forma, pero son ligeramente consistentes pues se encuentran en el rango de porcentaje de aceptación.

El reporte final del estudio R&R es:

Fuente.	Porcentaje de desacuerdos.	
<b>Repetibilidad.</b>	$ND_{rep} = \frac{28}{240} \times 100 = 11.67\%$	
<b>Reproducibilidad.</b>	$ND_{repro} = \frac{172}{1440} \times 100 = 11.94\%$	
<b>Total.</b>	$ND_e = \frac{200}{1680} \times 100 = 11.90\%$	
Operador.	Repetibilidad.	Piezas aceptadas (%)
1	11.67%	74.17%
2	13.33%	73.33%
3	15.00%	75.83%
4	6.67%	73.33%
<b>Promedio.</b>	<b>11.67%</b>	<b>74.17%</b>

Figura 3.14. Reporte de estudio R&R.

El sistema de medición es medianamente aceptable pues los porcentajes son semejantes. Aun así, es posible mejorarlo.

### 3.4.3 Fase de análisis.

Como se ha mencionado, la unidad es una válvula terminada a la cual le avaluamos su calidad. Las oportunidades de error mostradas en el punto anterior al estratificar el caso, son 5. A partir de esto, un defecto es cualquier no conformidad o desviación de la calidad. Para el estudio, se basa en los resultados de los meses febrero y marzo de 2013 de la línea mediana, tiempo en el cual se inspeccionaron 1095 válvulas, donde se rechazaron 34 válvulas por placas de identificación insatisfactorios.

#### 3.4.3.1 Estado del proceso.

Para realizar el estudio del estado del proceso me auxilio de una gráfica de control. Para seleccionar la adecuada, se consideraron los siguientes puntos: la variable es de atributos y no se tiene información de capacidad y estabilidad, en consecuencia, se utilizará una gráfica de control por atributos. Finalmente, se utilizará la gráfica  $p$ , ya que permite evaluar características de calidad y en función de esto, la válvula es aceptada o rechazada.

Lote	Cantidad $n_i$	Defectos $d_i$	Proporción $p_i$	LCS	LCI	LCI
1	23	2	0.087	0.13955	-0.07745243	0
2	79	0	0.000	0.08960	-0.0274949	0
3	24	0	0.000	0.13727	-0.07516791	0
4	19	0	0.000	0.15043	-0.08832865	0
5	33	0	0.000	0.12163	-0.0595329	0
6	34	3	0.088	0.12029	-0.05819085	0
7	11	0	0.000	0.18794	-0.12584435	0
8	26	0	0.000	0.13310	-0.07100085	0
9	33	0	0.000	0.12163	-0.0595329	0
10	22	0	0.000	0.14199	-0.07989099	0
11	10	0	0.000	0.19560	-0.1335022	0
12	33	10	0.303	0.12163	-0.0595329	0
13	44	0	0.000	0.10950	-0.04739706	0
14	2	0	0.000	0.39900	-0.33690018	0
15	38	4	0.105	0.11546	-0.05336338	0
16	21	1	0.048	0.14460	-0.08250173	0

17	62	2	0.032	0.09714	-0.03503562	0
18	26	0	0.000	0.13310	-0.07100085	0
19	64	0	0.000	0.09610	-0.03399483	0
20	40	0	0.000	0.11333	-0.05122598	0
21	32	0	0.000	0.12304	-0.06093737	0
22	39	0	0.000	0.11437	-0.05227413	0
23	10	0	0.000	0.19560	-0.1335022	0
24	35	0	0.000	0.11901	-0.05690674	0
25	30	2	0.067	0.12605	-0.06395416	0
26	11	0	0.000	0.18794	-0.12584435	0
27	29	0	0.000	0.12768	-0.06557828	0
28	23	7	0.304	0.13955	-0.07745243	0
29	32	2	0.063	0.12304	-0.06093737	0
30	25	0	0.000	0.13512	-0.07302186	0
31	15	0	0.000	0.16541	-0.10330626	0
32	25	1	0.040	0.13512	-0.07302186	0
33	53	0	0.000	0.10253	-0.04042678	0
34	56	0	0.000	0.10059	-0.03848586	0
35	36	0	0.000	0.11778	-0.05567651	0
<b>Total</b>	1095	34				

Figura 3.15. Datos de línea mediana, Febrero – Marzo de 2013.

Cabe mencionar que cada lote corresponde a la cantidad de válvulas entregadas por día a almacén de producto terminado. El tamaño  $n$ , de cada lote es muy variable, el mínimo es 2, el máximo 79 y el promedio 31.28. En consecuencia, se ocupa una gráfica  $p$  con límites variables. Los cálculos realizados son:

$$\bar{p} = \frac{\text{Total de defectuosos}}{\text{Total inspeccionados}} = \frac{34}{1095} = 0.031 \quad [\text{Ec. 27}]$$

Donde se observa que la proporción promedio de válvulas defectuosas por placas es de 0.031 (3.1%), lo cual refleja un pobre desempeño. Con el auxilio de la figura 1.7 a este porcentaje de defectuosos le corresponde un  $C_p$  de entre 0.7 y 0.8.

Se ejemplifica la obtención del límite superior del lote 25 mostrado en la figura 3.15. Los otros límites se obtienen en una hoja de cálculo de Excel.

$$LCS = \bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_{25}}} = 0.031 + 3\sqrt{\frac{0.031(1-0.031)}{30}} = 0.126 \quad [\text{Ec. 28}]$$

Para calcular los límites de control inferior se emplea la siguiente formula:

$$LCS = \bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n_i}} \quad [\text{Ec. 29}]$$

En la figura 3.15 se aprecian los LCI calculados, los valores son negativos y las proporciones siempre son iguales o mayores a cero, entonces se toma LCI igual a cero.

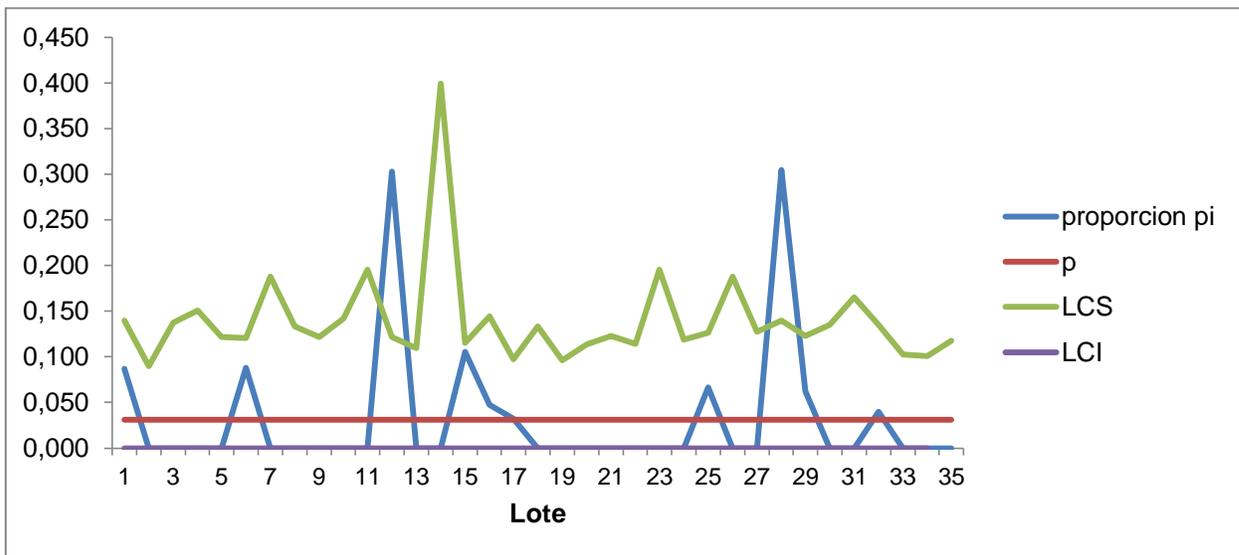


Figura 3.16. Gráfica de control  $p$  con límites variables.

El tipo de inestabilidad predominante es un cambio de nivel provocado por una causa especial de variación que aparece repentinamente en algunos lotes y luego desaparece.

Para conocer la estabilidad del proceso, se procede a calcular el índice de inestabilidad:

$$S_t = \frac{\text{No. de puntos especiales}}{\text{No. total de puntos}} \times 100 = \frac{2}{35} \times 100 = 5.714\% \quad [\text{Ec. 30}]$$

La gráfica de control expuesta en la figura 3.16 y el índice de inestabilidad muestran que existe un proceso inestable moderadamente alto.

A partir de los datos obtenidos en el análisis de capacidad y estabilidad se concluye lo siguiente:

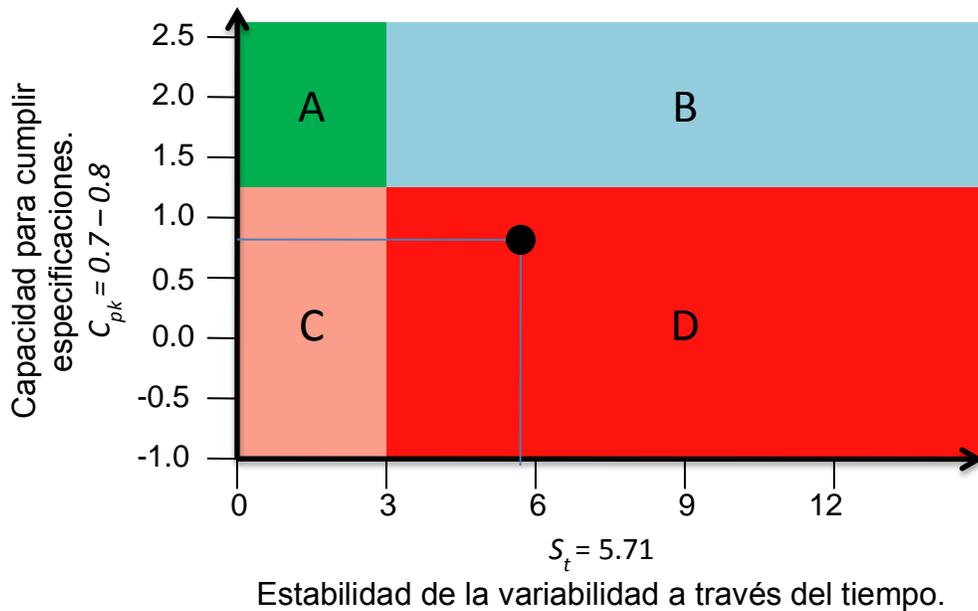


Figura 3.17. Estado del proceso: inestable e incapaz.

Como se aprecia en la figura 3.17, el proceso completamente inestable e incapaz.

### 3.4.3.2 Métricas Seis Sigma del caso.

Se procede a identificar las métricas Seis Sigma, solo como referencia. Para características de calidad por atributos, como lo es el caso, se utiliza a los Defectos por millón de oportunidades de error. (DPMO)<sup>31</sup>

<sup>31</sup> (Gutiérrez Pulido & De la Vara Salazar, 2009, págs. 113 - 116)

El DPU (defectos por unidad) obtenido es:

$$DPU = \frac{d}{U} = \frac{34}{1095} = 0.031 \quad [\text{Ec. 31}]$$

Así, en promedio, cada válvula tiene 0.031 puntos insatisfactorios de placas de identificación.

El DPO (defectos por oportunidad) que mide la no calidad de un proceso fue:

$$DPO = \frac{d}{U \times O} = \frac{34}{1095 \times 5} = 0.00621 \quad [\text{Ec. 32}]$$

El índice DPMO es:

$$DPMO = 1\,000\,000 \times 0.00621 = 6210 \quad [\text{Ec. 33}]$$

Entonces, de un millón de válvulas terminadas se espera tener 6210 válvulas con algún defecto por placas de identificación.

Para conocer el rendimiento  $Y$  del proceso se procede a calcular:

$$Y = e^{-DPU} = e^{-0.031} = 0.9694 \quad [\text{Ec. 34}]$$

Es decir, la probabilidad de que una válvula este libre de defectos en cuanto a placas de identificación es del 96.94%.

### 3.4.3.3 Causas de variación del caso.

Después de analizar la información, es imprescindible encontrar la causa raíz del problema. En la figura 3.8 se estratificó el caso y se mencionaron 5 características críticas de calidad.

Al analizar la primera parte del AMEF expresado en la figura 3.9, se manifestaron tres puntos críticos por severidad donde el principal modo de falla son los datos de placa incorrectos con sus respectivos efectos y causas, también, un punto con NPR elevado donde el modo de falla es placas mal colocadas o sin colocar.

Ahora analizaremos a detalle la cantidad de defectos mostrados en la figura 3.15. Para esto, en la figura 3.18 se estima la frecuencia de los errores.

Línea	Mediana. Febrero - Marzo 2013	
Cantidad:	1095	
Defectos:	34	
No.	Oportunidad de error.	Frecuencia
1	Sin placas en lugar correspondiente.	13
2	Placa corresponda al núm. serie.	2
3	Diseño de placa corresponda al tipo de válvula.	2
4	Datos Incorrectos.	14
5	Maltratada.	3
	SUMA	34

Figura 3.18. Datos para análisis del caso.

En el diagrama de Pareto mostrado en la figura 3.19 se observan los dos principales problemas en el caso:

1. Datos incorrectos en placa de identificación.
2. Válvulas sin placas en el lugar correspondiente.

Así que, los problemas están directamente relacionados con los modos de falla mencionados.

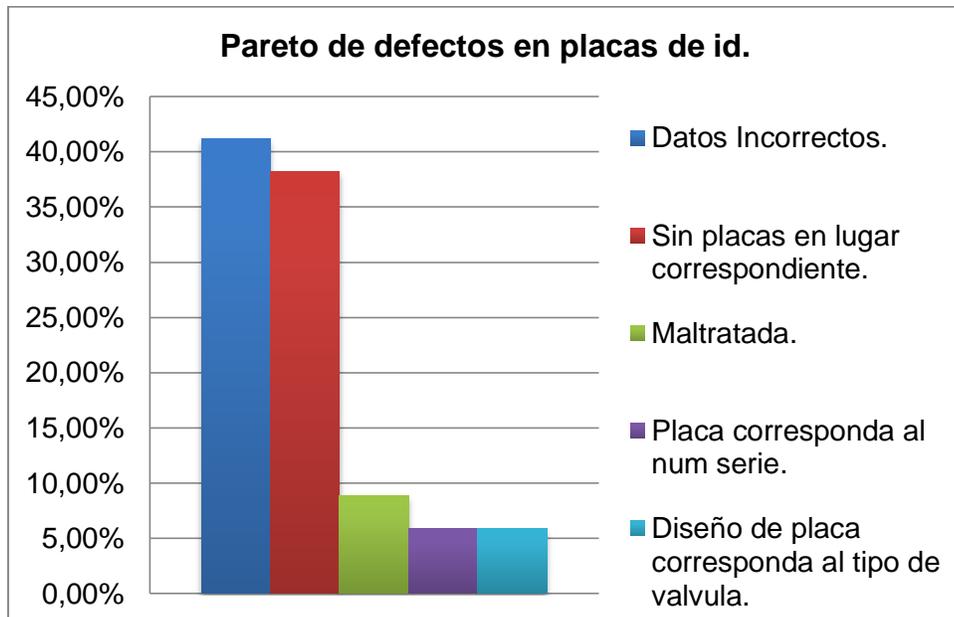


Figura 3.19. Diagrama de Pareto por defectos.

Los puntos especiales mostrados en la gráfica de control de la figura 3.16 corresponden a variables asignables. A continuación se describe lo sucedido.

En el punto número 12, de un lote de 33 válvulas, 10 resultaron defectuosas. Las 10 corresponden a mala identificación de la placa, concretamente le hacia falta la palabra NACE. Retomando lo sucedido en aquel lote, las placas fueron mal identificadas por que el operador encargado de marcarlas no tenía la información suficiente e ignoraba el requisito, a raíz de que la información no fue proporcionada como debe de ser.

En el punto 28, de un lote de 23 válvulas, 7 resultaron inaceptables debido a la falta de placa de CE (como se vio figura 3.8, esta placas van a petición del cliente). La causa de la omisión de placas fue porque el operador encomendado de colocarlas no

sabía que aquellas válvulas las debían de llevar. Nuevamente la información no fue proporcionada correctamente.

Las figuras 3.18 y 3.19 muestran la frecuencia de los errores. Como se aprecia, los puntos descritos previamente, son los de mayor índice de rechazo. Al revisar los otros lotes correspondientes a esas oportunidades de error también arrojan que la causa fue la mala transmisión de información.

A continuación se presenta un diagrama de Ishikawa para identificar las causas del problema.

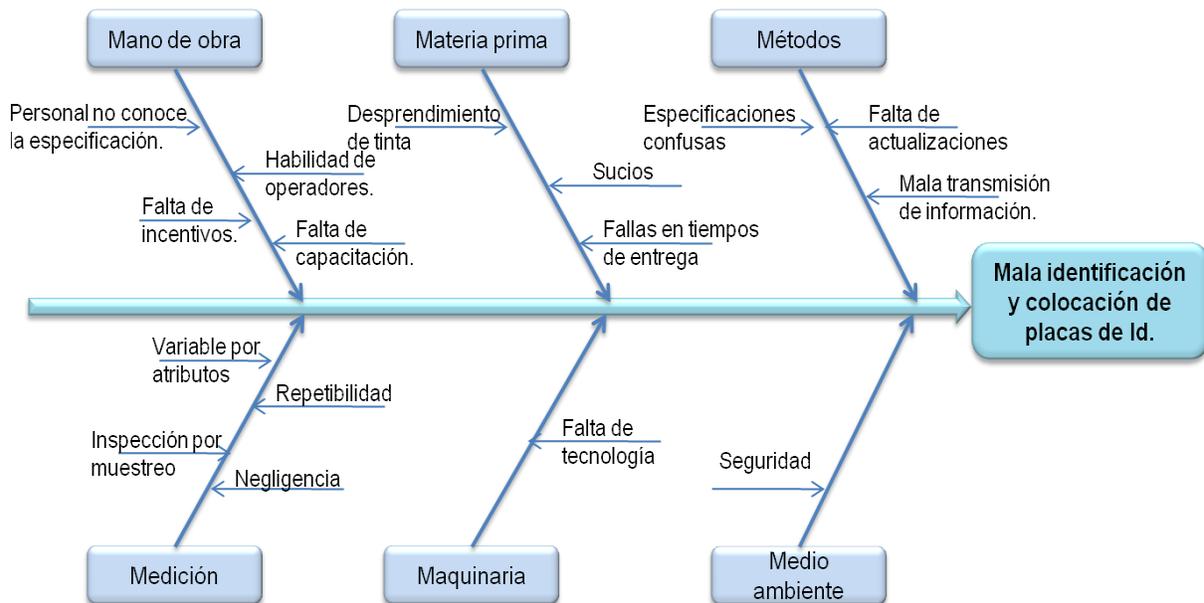


Figura 3.20. Diagrama de Ishikawa.

Al realizar el consenso y desarrollo del diagrama de Ishikawa se pueden observar las siguientes causas de variación del caso:

1. Mala transmisión de información.
2. Falta de capacitación.

Como se puede valorar las causas son asignables, en consecuencia, el proceso no ésta dentro de control estadístico.

#### **3.4.4 Fase de mejora.**

Para esta siguiente etapa del ciclo DMAMC, se dan a conocer varias opciones de mejora para el caso.

El Dr. Ishikawa declara rotundamente que la calidad inicia con educación y termina con educación. Trabajar sin capacitación es como trabajar a ciegas, sin saber a donde vamos, o peor aún, sin saber que es lo que se quiere. La capacitación en cualquier trabajo es de vital importancia ya que en ella radica el buen desempeño de los trabajadores.

Como se vio en el estudio R&R, definitivamente hace falta capacitación. Por lo tanto, es necesario crear un plan de entrenamiento para la gente operativa, tanto para la gente que coloca placas (producción), como para la gente que las revisa (calidad). Para esto se propone lo siguiente:

1. Identificar y concretar a la gente operativa, es decir, que sean fijos para el trabajo. Entre ellos, operadores encargados de marcar y colocar placas e inspectores.
2. Organizar una reunión entre los jefes de área y las personas mencionadas anteriormente.
3. Dar la capacitación correspondiente.
4. Generar reuniones periódicas solo con la gente operativa para ver las mejoras continuas.

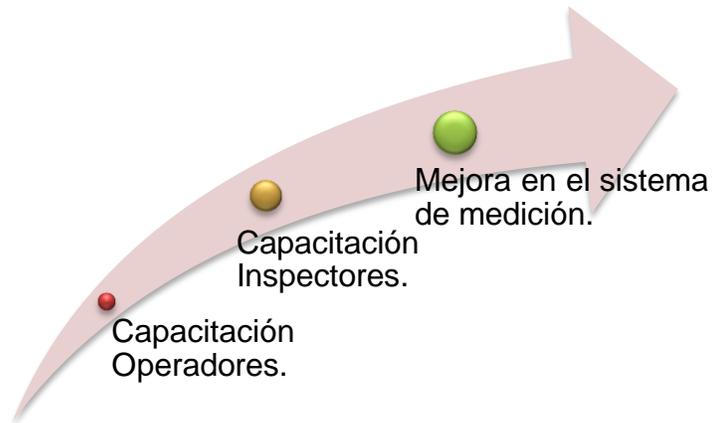


Figura 3.21. Mejoramiento del sistema de medición a través de la capacitación.

La compañía cuenta con la información suficiente y las especificaciones correspondientes para el caso. Solo es necesario solicitar actualizaciones periódicas para estar al día en cuanto a normas.

La mala transmisión de información es la causa que más problemas genera. Actualmente existe una hoja viajera donde se identifica el material de cada lote, sin embargo, no se respeta, se pierde durante el proceso y por lo general no se toma en cuenta.

Para garantizar una buena transmisión de la información durante todo el ensamble, propongo lo siguiente:

1. A partir de la orden de ensamble, generar la hoja viajera que identifique correctamente el lote de producción.
2. Llenar los datos en la hoja de registro para obtener los números de serie correspondientes y anotarlos en la orden de trabajo.
3. Pasar una copia de la orden de trabajo con los números de serie al encargado de hacer las placas. Así, se tienen los datos verdaderos para el marcaje de placas y se evitan suposiciones.

4. Cada lote debidamente identificado es ensamblado, probado y detallado cumpliendo debidamente con la orden de trabajo.
5. El personal encargado de colocar placas, al estar capacitado y recibir las placas, puede cerciorarse que el material es el correcto.
6. El personal de calidad debe ratificar la correcta identificación del material durante el proceso.

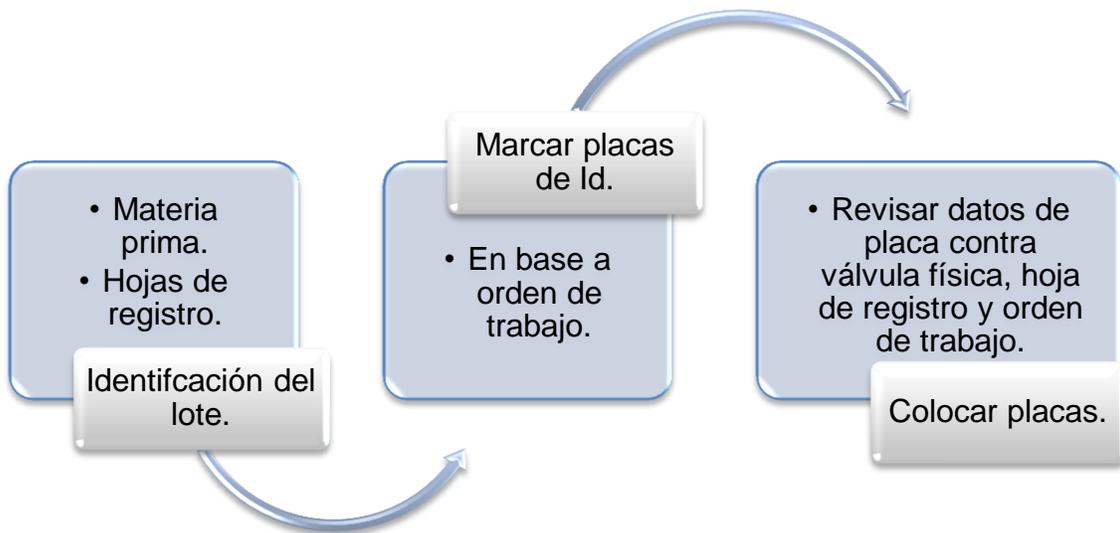


Figura 3.22. Identificación de material en proceso.

De esta manera quedan cubiertas las mejoras a las causas raíces del caso. En general, el caso tiene variables asignables, que al ser valoradas y corregidas brindan una excelente oportunidad de mejora, no solo al caso, sino todo el proceso de fabricación de válvulas industriales.

### 3.4.5 Fase de control.

El control estadístico de procesos compromete al área de producción, calidad y sobre todo a la dirección. En este caso, solo es una propuesta de aplicación, es decir, la fase de mejora y control son teóricos, pues se requiere aprobación de la dirección.

Paso del proceso	Modo de falla	Medidas recomendadas	Responsable	SEV	OCU	DET	NPR
Recibir MP. (Placas, orden de trabajo y hoja de registro).	Diseño de placa no es el requerido por el tipo de válvula.	Identificar lotes de producción con hoja viajera.	Producción. Calidad.	3	1	1	3
	Orden de trabajo mal identificada, los números de serie no corresponden a la orden indicada en hoja de registro.	Anotar números de serie en hoja de registro. Pasar orden de trabajo a operador para marcar placas.		10	2	2	40
Revisar especificación para obtener datos de placa.	Datos incorrectos para la placa.	Actualizar especificaciones. Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	10	2	3	60
Elaborar plantilla en computadora.	Mala captura de datos.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	3	2	3	18
Marcar placa de Id.	Marcajes ilegibles.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	3	1	1	3
Identificar válvula con placa por número de serie.	Placa no corresponde a la válvula físicamente.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	3	2	2	12
Identificar la zona para colocar las placas.	Placa colocada en zona incorrecta de la válvula.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	1	1	1	1
Colocar placas.	Placa mal colocada, e incluso, sin colocar.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	7	2	3	42
Colocar cinta sobre las placas.	Placa maltratada, pintada, sucia.	Capacitar al personal.	Producción. Calidad.	3	2	1	6

Figura 3.23. Segunda parte del AMEF.

Una vez mejorado el proceso se procede a controlar. Al eliminar las variables asignables se da paso al control estadístico. Además, como se muestra en la figura 3.23, la segunda parte del AMEF comprueba la mejora propuesta.

Nuevamente, el uso de las gráficas de control es una perfecta herramienta para monitorear y controlar el proceso. Para esto, se utilizará la gráfica  $p$ . Los datos de la gráfica se obtendrán a partir de lotes de producción diaria, procurando ser del mismo tamaño para obtener un mejor control del proceso.

Al culminar esta fase se logra aplicar el control estadístico de procesos.

## **Resultados.**

Al aplicar el control estadístico de procesos, definitivamente, se mejora todo el sistema de producción, la calidad del producto y, sobre todo, se logra competitividad mundial.

En la lista de verificación, podemos observar por lo menos 15 puntos estratégicos de mejora y aplicar a otras áreas como lo son las cédulas de maquinado por ejemplo. La compañía tiene suficientes casos de estudio donde podemos evaluar datos continuos y por atributos.

Los principales beneficios a la compañía se describen a continuación, siempre y cuando se de visto bueno de la dirección, para realizar proyectos por caso.

### **Incremento del rendimiento y capacidad productiva.**

Al capacitar al personal y agilizar la identificación del material se logra incrementar el rendimiento y capacidad de la producción como lo fue el caso. Se eliminan tiempos muertos y es posible el balance de líneas.

La constante búsqueda de problemas, dar soluciones y controlar casos, forma parte del ciclo DMAMC, permite robustecer la producción y poco a poco alcanzar la calidad de clase mundial.

Al aplicar el control estadístico de procesos se reduce la variabilidad y, por ende, la producción se agilizar, se entrega a tiempo de acuerdo a planeación e incrementa la cantidad de producto terminado.

### **Decremento de costos de fabricación.**

Eliminar desperdicios y material fuera de especificación o con no conformidad, el índice de rechazo disminuye asociado al decremento de retrabajos y uso de materiales.

Al encontrar las fuentes de variación se reducen los tiempos de fabricación que repercute directamente con ahorro en pago de mano de obra y tiempo extra, el desperdicio de materiales así como su optimización y finalmente la reducción de los costos de inspección.

### **Mejora de la calidad del producto.**

Parte de la definición de calidad se basa en las ventas que se generan a partir de un producto que satisface e incluso sobre pasa las necesidades del cliente. En este caso, la aplicación del control estadístico genera esa plusvalía al consumidor a garantizar que nuestro producto (válvulas), son de la mejor calidad.

## **Conclusiones.**

Después de un arduo trabajo documental y práctico se ha llegado a la emisión de las conclusiones. Al inicio de la Tesis se planteó un problema, ahora se puede responder que:

**Sí. Al aplicar el control estadístico de procesos en la manufactura de válvulas industriales sí se puede tener un mejor control de la calidad del producto.**

Durante el desarrollo de la Tesis queda confirmado y demostrado la afirmación anterior. También, es menester el mencionar que el objetivo general y los objetivos particulares se cumplieron satisfactoriamente.

La calidad tiene un rol significativo en la interacción del consumidor y el fabricante. Producir bienes de calidad conlleva a una excelente relación entre ambas partes. Garantizar que un producto cumple con las necesidades del cliente y atestigua su entera satisfacción es tarea de toda la compañía. La calidad inicia con educación y termina con educación.

El uso de herramientas estadísticas dio pauta a la correcta recolección, medición y análisis de datos. Es imprescindible contar con un conocimiento sólido en la materia. El uso de gráficas de control permite conocer la capacidad, la estabilidad, y por ende, el estado del proceso.

El modelo DMAMC permite la correcta aplicación del control estadístico de procesos. Definir, medir, analizar, mejorar y controlar, son las bases de este modelo que al interactuar generan un ciclo encaminado a la mejora del proceso de producción de válvulas industriales.

Al realizar el diagnóstico de la línea de ensamble, se encontraron los déficits del sistema, sobresaliendo un alto índice de retrabajos y pésimo medio de inspección.

Se precisó una lista de verificación basándose en características críticas de calidad de una válvula, a partir de la cual se analizó un caso: placas de identificación. El sistema de medición fue por atributos. Se escogió el caso porque la literatura sobre el control estadístico de procesos apunta más a datos continuos, siendo mayor reto el análisis de atributos.

Después de analizar las causas de los principales problemas con las placas de identificación se identifican dos causas raíces de variación: la pésima transmisión de información y la falta de capacitación.

Se plantean las mejores soluciones para evitar el problema. El uso del análisis de modo y efecto de falla AMEF, sirvió como columna vertebral para el direccionamiento del caso.

La aprobación de la dirección general dará pauta a la aplicación del modelo DMAMC a otros casos. En la lista de verificación se muestran los posibles casos, además, las dimensiones y las etapas del proceso son aptas para aplicar dicho modelo. La teoría analizada y la descripción de las etapas del proceso de producción de válvulas brindan las herramientas necesarias para cumplir con el cometido.

Mejorar la calidad y reducir los costos son metas de cada compañía. Así, mediante la exposición de la Tesis se dan resultados y todos beneficios de la aplicación del control estadístico de procesos.

## Fuentes de información.

1. Escalante Vázquez, E. (2006). *Análisis y mejoramiento de la calidad*. México, D. F.: Limusa.
2. Escalante Vázquez, E. (2003). *Seis-sigma. Metodología y técnicas*. México, D.F.: Limusa.
3. Gutiérrez, M. (2008). *Administrar para la calidad: Conceptos administrativos del control total de calidad* (segunda ed.). México, D. F.: Limusa.
4. Gutiérrez Pulido, H., & De la Vara Salazar, R. (2009). *Control estadístico de calidad y seis sigma*. México, D. F.: McGraw-Hill.
5. Harrison M., W., Kenneth S., S., & A. Blanton, G. (2005). *Métodos de control de calidad* (segunda edición ed.). México, D. F.: Compañía editorial continental.
6. [Http://semestedu.blogspot.mx/2012/06/medidas-de-asociacion.html](http://semestedu.blogspot.mx/2012/06/medidas-de-asociacion.html).
7. [Http://web.cortland.edu/matresearch/aceptacion.pdf](http://web.cortland.edu/matresearch/aceptacion.pdf).
8. [Http://www.mavainsa.com/documentos/5\\_valvulas.pdf](http://www.mavainsa.com/documentos/5_valvulas.pdf).
9. Ishikawa, K. (1986). *¿Qué es el control total de la calidad?* Colombia: Norma.
10. M. Juran, J., & A. Blanton, G. (2001). *Manual de calidad Juran* (quinta ed.). Madrid: McGraw-Hill.
11. Pérez Fernández de Velasco, J. A. (1999). *Gestion de la calidad orientada a los procesos*. Madrid: Esic editorial.

12. Pérez Fernández de Velasco, J. A. (2007). *Gestión por procesos*. Madrid: Esic editorial.
13. Pérez López, c. (1999). *Control estadístico de la calidad: teoría, práctica y aplicaciones informáticas*. México, D. F.: Alfaomega.
14. R. Evans, J., & M. Lindsay, W. (2008). *Administración y control de la calidad*. México, D. F.: Cengage learning.
15. W. Scherkenbach, W. (1992). *La ruta deming a la calidad y a la productividad*. México, D. F.: Compañía editorial continental.

## Anexos.

Anexo 1. Grado de severidad.

Anexo 2. Clasificaciones de incidencia (OCU).

Anexo 3. Clasificación de detección (DET).

Anexo 4. Arreglo de interiores.

Anexo 5. Estándares y códigos aplicables.

### Anexo 1. Grado de severidad.

<b>Clasificación.</b>	<b>Grado de severidad.</b>
<b>1.</b>	El cliente no notará el efecto adverso o le es insignificante.
<b>2.</b>	El cliente probablemente experimentará una ligera molestia.
<b>3.</b>	El cliente se sentirá molesto debido a una ligera degradación del desempeño.
<b>4.</b>	Insatisfacción del cliente debido a un desempeño deficiente.
<b>5.</b>	Insatisfacción del cliente o su productividad se reduce por la continua degradación del efecto.
<b>6.</b>	Reparación por garantía o queja importante por manufactura o ensamble.
<b>7.</b>	Un alto grado de insatisfacción debido a la falta de un componente sin pérdida total del funcionamiento. Productividad afectada por altos niveles de desperdicio o de retrabajo.
<b>8.</b>	Un grado de insatisfacción bastante alto debido a la pérdida del funcionamiento sin una repercusión negativa en las reglamentaciones gubernamentales o de seguridad.
<b>9.</b>	Se pone en peligro al cliente debido al efecto adverso en el desempeño del sistema de seguridad con advertencia antes de la falla o violación a las reglamentaciones gubernamentales.

<b>10.</b>	Se pone en peligro al cliente debido al efecto adverso en el desempeño del sistema de seguridad sin advertencia antes de la falla o violación a las reglamentaciones gubernamentales.
------------	---

## **Anexo 2. Clasificaciones de incidencia (OCU).**

<b>Clasificación.</b>	<b>Probabilidad de incidencia.</b>
<b>1.</b>	La posibilidad de incidencia es remota.
<b>2.</b>	Un bajo índice de falla con documentación de apoyo.
<b>3.</b>	Un bajo índice de falla sin documentación de apoyo.
<b>4.</b>	Fallas ocasionales.
<b>5.</b>	Un índice de falla relativamente moderada con documentación de apoyo.
<b>6.</b>	Un índice de falla moderado sin documentación de apoyo.
<b>7.</b>	Un índice de falla relativamente alto con documentación de apoyo.
<b>8.</b>	Un alto índice de falla sin documentación de apoyo.
<b>9.</b>	La falla es casi segura con base a la información de garantías o a pruebas significativas.
<b>10.</b>	Seguridad de falla con base a la información de garantías o a pruebas significativas.

## **Anexo 3. Clasificación de detección (DET).**

<b>Clasificación.</b>	<b>Habilidad para detectar.</b>
<b>1.</b>	Certeza de que la falla será detectada o prevenida antes de llegar al siguiente cliente.
<b>2.</b>	Casi seguro de que la falla será detectada o prevenida antes de

	llegar al siguiente cliente.
3.	Poca probabilidad de que la falla llegue al siguiente cliente sin ser detectada.
4.	Los controles pueden detectar o prevenir que la posible falla llegue al siguiente cliente.
5.	Posibilidad moderada de que la posible falla llegue al siguiente cliente.
6.	Probabilidad de que la falla será detectada o prevenida antes de llegar al siguiente cliente.
7.	Los controles no tienen la probabilidad de detectar o prevenir que la posible falla llegue al siguiente cliente.
8.	Probabilidad casi nula de que la falla será detectada o prevenida antes de llegar al siguiente cliente.
9.	Los controles actuales probablemente ni siquiera detectarán la posible falla.
10.	Certeza absoluta de que los controles actuales no detectarán la posible falla.

#### Anexo 4. Arreglo de interiores.

Trim		Componente			Servicio recomendado
Cía.	API	Asiento	Compuerta	Vástago / Flecha / Casquillo	
UT	08	Estelite No. 6	13% Cr. (Inox. 410)	13% Cr. (Inox. 410)	Servicio general de agua, aceite y gas, vapor sobrecalentado hasta 399°C, vapor saturado, hidrocarburos pesados tales como gasolina, queroseno, aceites

					lubricantes, aceites combustibles, gas, mezclas de aceites ácidos, fenol y vapores de hidrocarburos pesados hasta 399°C. Este Trim provee alta resistencia al desgaste de las áreas de sellos debido a la abrasión y erosión provocados por el paso del fluido.
<b>AA</b>	01	13% Cr. (Inox. 410)	13% Cr. (Inox. 410)	13% Cr. (Inox. 410)	Servicio general de agua, aceite y gas, vapor sobrecalentado hasta 399°C, vapor saturado, hidrocarburos pesados tales como gasolina, queroseno, aceites lubricantes, aceites combustibles, gas, mezclas de aceites ácidos, fenol y vapores de hidrocarburos pesados hasta 399°C.
<b>HF</b>	05	Estelite No. 6	Estelite No. 6	13% Cr. (Inox. 410)	Manejo de vapor sobrecalentado hasta 538°C, hidrocarburos pesados tales como gasolina, queroseno, aceites lubricantes, aceites combustibles, gas, mezclas de aceites ácidos, fenol y vapores de hidrocarburos pesados hasta 538°C. Excelente resistencia a fluidos abrasivos y corrosivos.
<b>304</b>	02	Inox. 304	Inox. 304	Inox. 304	Manejo de fluidos moderadamente corrosivos como ácidos orgánicos, acéticos y fosfóricos, sales alógenas, agua marina, agua de

					minas y soluciones alcalinas hasta una temperatura de 427°C. Manejo de fluidos a altas temperaturas.
<b>316</b>	10	Inox. 316	Inox. 316	Inox. 316	Manejo de fluidos corrosivos como ácidos orgánicos, acéticos y fosfóricos, sales alógenas, agua marina, agua de minas y soluciones alcalinas hasta una temperatura de 427°C. Manejo de fluidos a altas temperaturas.
<b>A</b>	09	Monel	Monel	Monel	Manejo de fluidos corrosivos como ácido sulfúrico diluido, ácido clorhídrico diluido, ácido fluorhídrico, alcalis sustancias orgánicas, soluciones no oxidantes, soluciones salinas, salmuera, agua de mar, productos alimenticios, servicio en donde no se requiere la prevención de contaminación de cobre, procesos de alquienización para producción de numerosas mezclas de alto octanaje para gasolinas de aviación y combustibles de motores.
<b>3HF</b>	12	Estelite No. 6	Inox. 316	Inox. 316	Manejo de fluidos moderadamente corrosivos como ácidos orgánicos, acéticos y fosfóricos, sales alógenas, agua marina, agua de

					<p>minas y soluciones alcalinas hasta una temperatura de 427°C. Manejo de fluidos a altas temperaturas. Este Trim provee alta resistencia al desgaste de las áreas de sello debido a la abrasión y erosión provocado por el paso del fluido. También evita el desgaste y/o gasto prematuro de las áreas de sello cuando se presenta el efecto galling (arrancamientos o ralladuras de materiales que tienen similitud en características químicas y físicas, en particular con la misma dureza).</p>
--	--	--	--	--	--

## Anexo 5. Estándares y códigos aplicables.

<b>Estándares API. Instituto Americano del Petróleo.</b>	
<b>API 598</b>	Inspección y prueba de válvulas.
<b>API 600</b>	Válvulas de compuerta acero extremos bridados y soldables. Bonetes embirlados y sellados a presión.
<b>API 6D</b>	Válvulas de línea de tubería (Compuerta, macho, bola y retención).
<b>Estándares ANSI. Instituto Nacional Americano de Estándares.</b>	
<b>ANSI B16.1</b>	Bridas de tubería y conexiones bridadas de hierro.
<b>ANSI B16.5</b>	Bridas de tubería y conexiones bridadas.
<b>ANSI B16.10</b>	Dimensiones de válvulas cara a cara y extremo a extremo.
<b>ANSI B16.25</b>	Extremos soldables a tope.

<b>ANSI B16.34</b>	Válvulas bridadas, roscadas y soldables a tope.
<b>Estándares MSS. Sociedad de Estandarización de Fabricantes</b>	
<b>MSS SP-6</b>	Estándar de acabados caras de contacto de bridas de tubería y extremos bridados de válvulas y conexiones.
<b>MSS SP-9</b>	Cajas para instalación de tuercas en bridas de bronce, hierro y acero.
<b>MSS SP-25</b>	Sistema de marcajes estándar para válvulas, conexiones, bridas y uniones.
<b>MSS SP-44</b>	Bridas de tubería de línea de acero.
<b>MSS SP-45</b>	Conexiones de derivaciones laterales y drenes.
<b>MSS SP-53</b>	Método de prueba de partículas magnéticas.
<b>MSS SP-54</b>	Método de prueba radiográfica.
<b>MSS SP-55</b>	Método visual.
<b>MSS SP-61</b>	Pruebas de presión de válvulas de acero.
<b>MSS SP-91</b>	Guía del manual para operación de válvulas.
<b>MSS SP-92</b>	Guía del usuario MSS de válvulas.
<b>MSS SP-93</b>	Método de prueba de líquidos penetrantes.
<b>Estándares ASTM. Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.</b>	
<b>ASTM A 193</b>	Especificación estándar para materiales de pernos de aleaciones de acero y acero inoxidable para servicio de alta temperatura.
<b>ASTM A 194</b>	Especificación estándar de tuercas para pernos de acero al carbón y aleaciones para servicio de alta presión y alta temperatura.
<b>ASTM A 216</b>	Especificación estándar para fundiciones de acero al carbón, propias para uniones de soldadura y servicio a alta temperatura.
<b>ASTM A 276</b>	Especificación estándar para barras y perfiles de acero inoxidable.
<b>ASTM A 351</b>	Especificación estándar para fundiciones de acero austenítico y austenítico – ferrítico (dúplex) para partes contenedoras de presión.
<b>ASTM A 352</b>	Especificación estándar para fundiciones de acero ferrítico y martensítico para partes contenedoras de presión propias para servicio de baja temperatura.

<b>ASTM A 515</b>	Especificación estándar para placas de recipientes a presión de acero al carbón para servicio de temperatura intermedia y alta.
<b>ASTM A 516</b>	Especificación estándar para placas de recipientes a presión de acero al carbón para servicio de temperatura moderada y baja.
<b>Estándar NACE. Asociación Nacional de Ingeniero Mecánicos.</b>	
<b>NACE MR0175</b>	Materiales metálicos, resistentes a la ruptura provocada por sulfuros, para equipo petrolero.
<b>Código ASME. Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.</b>	
<b>ANSI/ASME B31.1</b>	Sistema de tuberías.
<b>ANSI/ASME B31.2</b>	Tuberías para gas combustible.
<b>ANSI/ASME B31.3</b>	Tuberías de proceso.