



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

MODELO ANALÍTICO DE FALLAS EN UNA CÉLULA DE ENSAMBLE DE PRODUCTOS NEUMÁTICOS, POR PROBLEMAS DE FUGAS EN FILTROS REGULADORES AUTOMÁTICOS.

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad

Presenta:
Claudia Velázquez López

Dirigido por:
M.I. Javier García Pérez

M.I. Javier García Pérez
Presidente

M.I. Eric Huerta Manzanilla
Secretario

Msc. Guillermo Hiyane Nashiro
Vocal

Dr. Juan Bosco Hernández Zaragoza
Suplente

MAP. Agustín Martínez Rodríguez
Suplente

Dr. Aurelio Domínguez González
Director de la Facultad

Firma

Firma

Firma

Firma

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

La baja calidad de un producto, manifestada como defectos de fabricación y baja confiabilidad en su rendimiento, afecta la productividad global de la empresa y su rentabilidad final (Orlandoni, 2012). El presente trabajo tiene como finalidad mostrar una disminución de la variabilidad en un proceso de ensamble de filtros reguladores miniatura, con problemas de fugas por medio de la metodología PDCA para el desarrollo y seguimiento del mismo, se identificaron las variables que afectan a las fugas en el producto, así también este proyecto presenta una aplicación de un diseño óptimo de experimentos. El objetivo de este proyecto es enfatizar la mejora de un proceso de ensamble por medio de un diseño de experimentos enfocado a la calidad en los componentes y a procesos de ensamble en busca de correlaciones significativas, usando un algoritmo de diseño óptimo para la disminución de recursos en la fase experimentación. El proyecto obtuvo un aumento del FPY de un 17.4%, ya que se comenzó de un promedio mensual de enero a abril de un 72.8%, logrando en la corrida de validación un FPY de 90.1%. Para el análisis, se emplearon herramientas del control estadístico de procesos y el uso del software Minitab y R para el procesamiento y análisis de datos.

Palabras claves: PDCA, fugas, ensamble, optimización, neumática.

SUMMARY

The low quality of a product, expressed as manufacturing defects and low reliability in performance, it affects the overall productivity of the company and its final return (Orlandoni, 2012). This paper aims to show decreased variability in a process of assembly of miniature filters regulators, with leakage problems through the PDCA methodology for the development and follow-up, the variables that affect the leaks were identified in the product, so this project presents an application of optimal design of experiments. The objective of this project is to emphasize the improvement of an assembly process by a design of experiments focused on the quality of components and assembly processes for significant correlations, using an algorithm of optimal design for reduced resource phase experimentation. The project was an increase of 17.4% FPY since it was started from a monthly average from January to April of 72.8%, achieving the validation run one FPY of 90.1%. For analysis, tools of statistical process control and the use of Minitab and R software for data processing and analysis were used.

Keywords: PDCA, leaks, assembly, optimization, pneumatics.

Dedicatoria

Como un testimonio de gratitud ilimitada a toda la gente
que me ha permitido compartir momentos de su vida.

En especial:

A mis padres Mario y Rosalinda, por apoyarme en cada uno de mis pasos
con su ejemplo de constancia, dedicación y amor.

A mi hermano, por ser un ejemplo constante de éxito en mi vida.

A mis compañeros de la MICP de la
Universidad Autónoma de Querétaro.

Con Amor, Admiración y Respeto

Claudia Velázquez

Agradecimientos

A mis asesores el M.I. Javier García Pérez e Ing. Ulises Aguilar por el apoyo brindado en el desarrollo del proyecto.

A mis maestros de la Maestría en Ingeniería de Calidad y Productividad quienes compartieron sus conocimientos y entusiasmo por la ingeniería de calidad y estadística, contagiándome de inquietud de seguir aprendiendo.

A IMI Precision Engineering por el apoyo y soporte brindado a lo largo del proyecto y estancia en la empresa. Al Ing. José Felipe Peláez por abrirme las puertas y confiar en mí para las actividades emprendidas. A los ingenieros; Eduardo Zarate, Kenia García, Pablo Morales, Leslie Gandarillas, David Balderas y Daniel Hernández por su colaboración y participación activa en el proyecto, ya que su conocimiento y experiencia fue clave en la realización de las actividades.

A Carmen, Raquel, Juanita y Tere, las operadoras de producción de B07 en IMI PE, por su entera disposición, por su optimismo y gran trabajo realizado previo, durante y posterior al proyecto.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y a CONACYT por el apoyo brindado.

Agradezco a todos los que de alguna forma hicieron posible la culminación de este, mi segundo logro profesional.

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	ii
SUMMARY	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimientos.....	v
Índice de figuras.....	viii
Índice de tablas	x
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Hipótesis.....	4
1.2 Objetivos.....	4
1.2.1 Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Aplicación neumática	5
2.1.1 Sistema de tratamiento de aire comprimido.....	8
2.1.2 Filtros reguladores.....	17
2.2.3 Pérdidas de energía en sistemas neumáticos por fugas	18
2.4 Fabricación de filtros reguladores miniatura.....	20
2.4.1 Proceso de ensamble de filtros reguladores.....	22
2.5 Métrico FPY (First Pass Yield).....	25
2.6 Fundamentos estadísticos.....	26
2.6.1 Diseño óptimo de experimentos.....	26
2.6.2 Evaluación de un sistema de medición.....	28

3.	METODOLOGÍA.....	30
	3.1 Tipo y diseño de la investigación.	30
	3.2 Condiciones del experimento.....	31
	3.2.1 Lugar donde se realizó el estudio.	31
	3.2.2 Recursos materiales y humanos.....	31
	3.2.3 Técnicas empleadas.	32
	3.2.3.1 Instrumentos y sistema de medición.....	35
	3.2.3.2 Pruebas de laboratorio.....	36
	3.2.3.3 Diseño de experimentos.....	37
	3.2.3.4 Variables.....	39
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
	4.1 Planear (P).....	41
	4.2 Hacer (D).....	45
	4.3 Verificar (C).....	51
	4.4 Actuar (A).....	52
5.	CONCLUSIONES.....	56
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	GLOSARIO DE TERMINOS.....	61
	APÉNDICE.....	62
	Apendice A. Gage R&R cruzado para fuga interna. Minitab 17.	62
	Apendice B. Gage R&R cruzado para fuga externa. Minitab 17.	63
	Apéndice C. Script en R del diseño óptimo de experimentos.	64
	Apéndice D. Análisis de datos para fuga interna.	68
	Apéndice E. Análisis de datos para fuga externa.....	70

Índice de figuras

Figura	Página
1. Estructura general de los sistemas neumáticos.	7
2. Sistema de acondicionamiento de aire comprimido.	8
3. a) Típico filtro separador y b) purga automática opcional.	11
4. Principio del regulador a presión.	14
5. Gráfica de consumo de caudal.	15
6. Función de descarga de reguladores de presión estándar.	15
7. Reguladores de presión de caudal compensado y completamente compensado.	16
8. Filtro regulador estándar con drenado manual.	17
9. Comportamiento del ahorro del porcentaje de disminución de fugas.	18
10. Comportamiento del compresor de aire.	20
11. Lubricador estándar diseñado por Carl Norgren, 1920.	21
12. Diagrama del proceso de ensamble de filtros reguladores en B07.	23
13. Definición gráfica de repetibilidad. (Referencia: Escalante, 2003).	29
14. Definición gráfica de reproducibilidad. (Referencia: Escalante, 2003).	29
15. Ciclo de Deming, PDCA.	33
16. Cosmo de prueba de fugas de aire en B07.	35
17. Filtro regulador manual y automático.	37
18. Diagrama de parámetros del DOE 1 de fuga interna.	38
19. Histograma del desempeño de FPY en B07 de octubre a diciembre del 2014.	41
20. Seguimiento de FPY de octubre a diciembre del 2014.	42

21. Boxplot de eficiencias para cada una de las corridas propuestas. Alg Design R.....	46
22. Análisis de datos de fuga interna en minitab.	48
23. Gráfica de efectos del diseño de experimentos.....	49
24. Normalidad de los residuales para fuga interna.	50
25. Efectos principales de diseño de los 5 factores analizados.....	51
26. Grafica de cubo con las condiciones óptimas de ensamble.	52
27. FPY como parte de las mejoras de B07.	54
28. Carta de control P calculada después del seguimiento de las acciones en B07.	55

Índice de tablas

Tabla	Página
1. Aplicaciones típicas de las distintas capacidades de filtraje. (SMC Neumática aplicada, 2011).....	12
2. Especificaciones de fuga del producto, filtro regulador manual.....	24
3. Metodología, fases y herramientas.....	34
4. Media y desviación estándar de PFY octubre a diciembre del 2014.	42
5. ANOVA de R&R cruzado para fuga interna.....	43
6. _ANOVA de R&R cruzado para fuga externa.....	44
7. Eficiencias mediante el algoritmo de Fedorov para número de corridas 9, propuestas. AlgDesign. R.....	45
8. Diseño de experimentos con respuestas, fuga interna y externa.	47
9. Análisis de la varianza para fuga interna.....	48
10. _Análisis de la varianza para fuga externa.....	50
11. Acciones tomadas para reducir la variación	53

1. INTRODUCCIÓN

La baja calidad de un producto, manifestada como defectos de fabricación y baja confiabilidad en su rendimiento, afecta la productividad global de la empresa y su rentabilidad final (Orlandoni, 2012).

La calidad se refiere a ciertos atributos mensurables de un producto, servicio o proceso, para los que se ha establecido un cierto estándar. Un producto o servicio es de calidad cuando satisface las necesidades de los usuarios en cuanto a seguridad, fiabilidad y servicio (Juran and Godfrey, 2001)

El sector industrial en el siglo XXI, como un nuevo paradigma de las empresas de producción presenta la personalización masiva de los productos, es decir, ofrecer a los clientes una gran cantidad de opciones en su portafolio de productos a elegir (Backstrand, 2009). El aumento de este número de variantes para adecuarlos a las necesidad del cliente, con lleva al aumento de la complejidad de los procesos de producción, y en específico en procesos de ensamble, en los cuáles el factor humano es una variante más.

Esto implica generalmente problemas de calidad en la producción, ya que las fallas en ensamblajes son errores más probables de ocurrir (Baudin, 2002). Este es uno de los principales desafíos para las industrias, junto con cortos ciclos de vida de productos y el aumento de los volúmenes de producción (Backstrand, 2009).

Sin embargo, los clientes en la actualidad esperan en las nuevas generaciones de productos funcionalidad cada vez mayores, (Sander and Brombacher, 2000) en su investigación sobre flujos información en nuevos productos mencionan que la calidad y la fiabilidad no sólo son una función del producto, sino también de la organización para realizarlo. A pesar de esto muy pocas empresas son capaces de traducir esto en sus procesos de negocio.

Los requerimientos de calidad y productividad aplicados a un proceso de fabricación en una industria implican no sólo la generación de un producto capaz de generar beneficios económicos dejando de lado las pérdidas o minimización de las mismas. Es necesario identificar y conocer el comportamiento que tienen las variables de un proceso, así como la comprensión de los indicadores de producción para determinar un grado favorable de productividad que con lleve a una empresa a un alto rendimiento, para brindar a sus clientes un producto con una calidad y precio competitivo.

En el estado actual de las industrias de alto consumo o venta, puede observarse un alto grado de presión. Esta presión es el resultado de un mercado competitivo en el que hay un conflicto entre los cuatro impulsores de negocio: funcionalidad, calidad, tiempo y rentabilidad (Sander and Brombacher, 2000).

La visión actual de los negocios considera que el objetivo principal de las empresas es generar valor. Para lograr la supervivencia de la empresa este valor debe repartirse equilibradamente entre los clientes, los propietarios y los trabajadores (Baudin, 2007). Y para que esto sea posible es necesaria la implementación de estrategias de reducción de pérdidas y mejora continua en los procesos y productos.

Estadísticamente, en las organizaciones sin " gestión de mejora Continua" el volumen de la ineficiencia puede estar entre un 15 y 25 % de sus ventas. Las que si la hacen, oscila entre 4 y 6%. Un rápido cálculo nos hará descubrir la magnitud de la respectiva "Mina de Oro" y el efecto que tiene sobre los resultados y la competitividad (García et al., 2003).

La mayoría de fallas, errores e ineficiencias que son considerados desperdicios en muchos procesos productivos son desconocidos, considerados insignificantes siendo ocultados por las altas ventas, considerados normales o ignorados con frecuencia.

En el presente proyecto de investigación se presenta un caso práctico de mejora en calidad y productividad en una célula de ensamble de filtros reguladores miniatura en sus diferentes variantes. La eficiencia de B07, es decir, la célula antes mencionada, tuvo una disminución en sus métricos de producción como; FPY (piezas buenas a la primera), OEE (eficiencia global del equipo), eficiencia y cumplimiento al programa. Esto, debido a problemas de fugas en la prueba final del producto, provocando así retrabajos.

Mediante la metodología de PDCA en conjunto con estadística aplicada, se demostró que es posible medir y diferenciar aspectos estadísticamente significativos en los valores de fuga de los filtros reguladores miniatura, en los cuáles se demostró la forma en que afectan ciertos componentes críticos directamente a ciertas fallas, así también, métodos de ensamble de los mismos.

Probando la hipótesis de la tesis, los datos sugieren que la base de datos de fugas, el diseño óptimo de experimentos realizado, así como los controles implementados previos y en el proceso, podrían servir como base para el análisis de otros productos con problemas de fugas en la planta.

Las acciones derivadas del proyecto reflejaron un aumento en el FPY de 17.4 como promedio trimestral comparando los meses de octubre a diciembre del 2014 y de abril a junio del 2015. Así como una serie de diversas actividades como efecto en cadena de la investigación, generando oportunidad de crecimiento en células de producciones ligadas y cercanas a B07, a partir de las acciones de mejora continúa.

1.1 Hipótesis.

Es posible medir y diferenciar aspectos estadísticamente significativos en valores de fuga en filtros reguladores miniatura mediante un diseño óptimo de experimentos para conocer la interacción entre la variación de los componentes, y métodos de ensamble de los mismos.

1.2 Objetivos.

1.2.1 Objetivo general

Aumentar por medio del control de las características críticas de los filtros reguladores miniatura el FPY a un 90% a junio del 2015.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaboración de una base datos de fuga interna y externa a base de pruebas y análisis de componentes.
- Elaborar un diseño óptimo de experimentos para diferenciar la correlación entre componentes y métodos de ensamble.
- Establecer una metodología de solución de problemas o modelo analíticos en base a los factores críticos identificados para el personal de producción.
- Acciones de mejora y control de proceso en base a características críticas en el ensamble de los filtros reguladores.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Aplicación neumática

La tecnología de la neumática se refiere al estudio del comportamiento y aplicación del aire comprimido. Aun cuando la ciencia del aire era conocida por el hombre desde hace siglos, no se aplicaba mucho en la industria antes del inicio de la Segunda Guerra Mundial. Durante la guerra, muchas industrias en todos los países occidentales desarrollados empezaron a cambiar para emplear cada vez más equipo y maquinarias automáticas. Muchos de éstos eran accionados y retroajustados con dispositivos y accesorios accionados neumáticamente, con fines de fabricación y otras actividades, para satisfacer la repentina necesidad de una mayor producción de artículos bélicos con la tremenda escasez de mano de obra técnica calificada (Majumdar, 1997). Esta fue la época en que se inició el concepto actual de automatización, incitando al hombre a usar aire comprimido en las plantas de producción.

Actualmente en el área industrial existe un aumento significativo en lo que es la automatización, la mayoría de los avances en el área industrial van de la mano de la neumática, el corazón de las fabricas son los sistemas neumáticos ya que estos ayudan a manipular elementos y realizar procesos utilizando menos personal, tiempo y recursos de la empresa (Ortiz Arroyo, 2014). Las herramientas y accesorios accionados por aire comprimido son una imagen común en cada una de las industrias, y en todas ellas, no solo en los países tecnológicamente avanzados, sino incluso en aquellos en donde las actividades industriales se encuentran todavía en su etapa inicial (Majumdar, 1997).

El aire comprimido como fuente de energía está siendo muy utilizado por la industria en general. Representa un costo de inversión alto pero sus ventajas respecto de otras fuentes de energía la hace altamente rentable a futuro (Leiva, 2007).

Las características y beneficios de estos sistemas neumáticos son notables, como se mencionan a continuación:

- Amplia disponibilidad del aire
- Compresibilidad del aire
- Facilidad para transportar el aire en recipientes a presión, contenedores y tubos largos.
- Características del medio de ser a prueba de incendio
- Construcción sencilla de los elementos neumáticos y facilidad en su manejo
- Alto grado de facilidad de control de la presión, velocidad y fuerza.
- Posibilidad de un fácil, pero razonablemente confiable, control a distancia
- Mantenimiento más fácil
- Características del medio de ser a prueba de explosión
- Costo comparativamente más bajo en relación con otros sistemas

Una buena distribución del aire comprimido en las instalaciones neumáticas, puede lograr ahorrar muchos costos, mediante un adecuado diseño. En la actualidad, ya no se concibe una moderna explotación industrial sin el aire comprimido.

Los proyectos de ahorro de energía han demostrado que existe un buen potencial de ahorro, dado que la gran mayoría de las industrias poseen equipos, redes, tuberías, y aditamentos que no han sido concebidos con criterio ahorrador. Normalmente el ahorro de energía factible de lograr es de un 20% pero para empresas que no han realizado programas de ahorro de energía el ahorro puede ser mucho mayor (AGUERRA, 2015).

Para muchas instalaciones esto equivale a miles de dólares potenciales de ahorro económico, dependiendo de sus costumbres de uso y de las instalaciones y equipos. Un sistema de aire comprimido correctamente operado,

puede generar ahorro de energía, requiere menor mantenimiento, disminuye los tiempos muertos, aumenta el rendimiento del procesamiento de la producción, y mejora la calidad del producto.

Para ello dichas instalaciones deben incluir un compresor, depósito acumulador del aire a presión (comprimido), depósito de condensación con llave de purgado, depósito auxiliar (en caso de instalaciones de gran consumo), así como unidades de mantenimiento como lo son: filtros, manómetros, reguladores y lubricadores (Jiménez, 2003).

Los sistemas neumáticos pueden ser estructurados tal como se muestra en la figura 1.

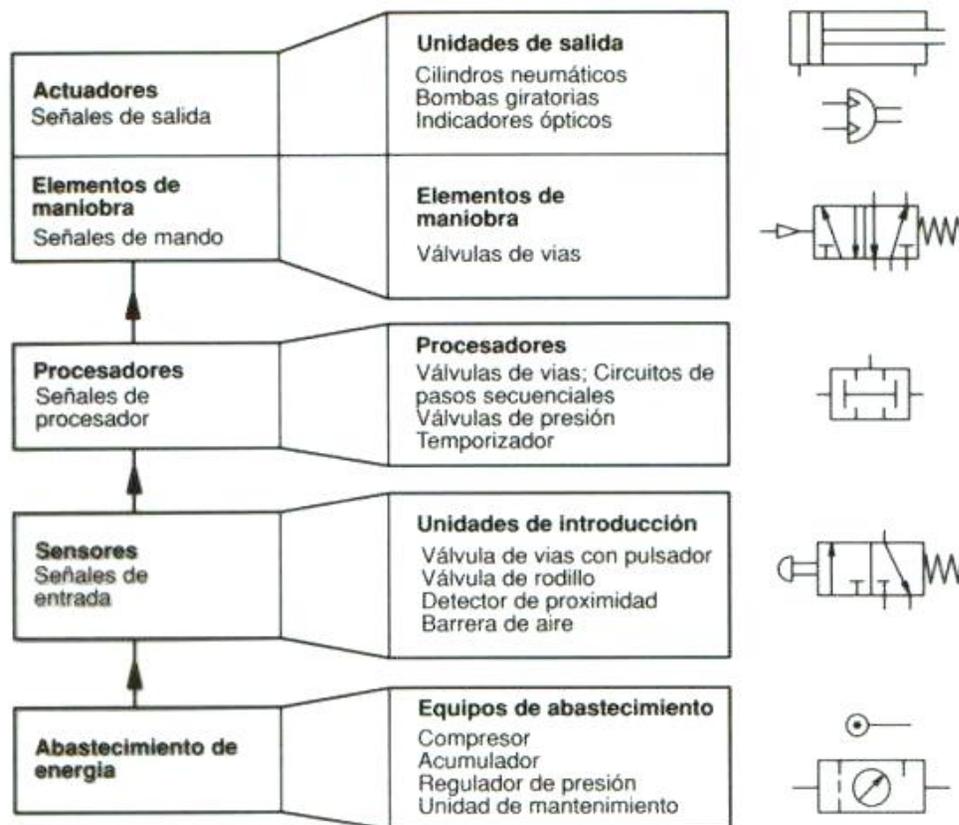


Figura 1. Estructura general de los sistemas neumáticos.

2.1.1 Sistema de tratamiento de aire comprimido

Las instalaciones industriales están provistas de elementos de almacenamiento, distribución y tratamiento. Como se puede observar en la figura 2, un circuito de aire comprimido para el tratamiento del mismo, tiene la siguiente estructura, el aire comprimido generado por el compresor pasa por un separador que retiene la mayor parte del agua en suspensión para acumularlo posteriormente en el depósito y así poder pasarlo a la red de distribución.

Las impurezas que arrastra el aire son motivo de averías que en ciertos casos pueden llegar a dañar gravemente los componentes del sistema neumático y el separador, que se encuentra justo después del compresor, se encarga de filtrar ese aire (Majumdar, 1997).

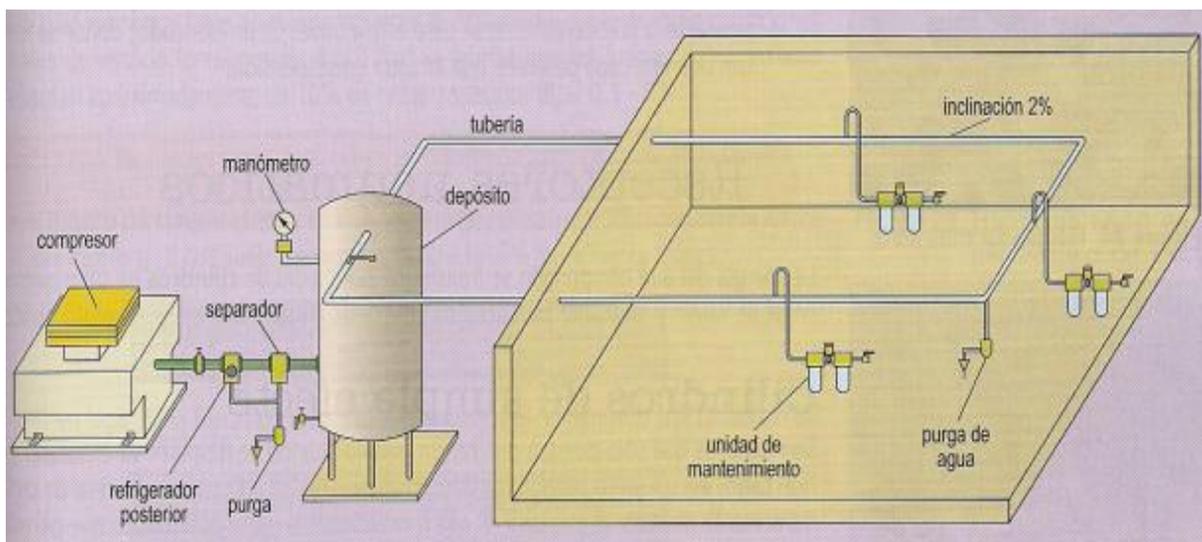


Figura 2. Sistema de acondicionamiento de aire comprimido.

Una vez acumulado pasa a una red de distribución, esta está compuesta de diversos elementos que permiten un correcto mantenimiento. Esto ha de permitir conducir el aire comprimido para que se produzcan las menores pérdidas posibles hasta los puntos de consumo.

La red de distribución siempre debe ser cerrada, para que la presión de servicio sea más estable y con una pendiente o desnivel para conseguir la acumulación del agua condensada en el punto más bajo.

La durabilidad y seguridad de funcionamiento de una Instalación neumática dependen en buena forma del acondicionamiento del aire comprimido

- La suciedad del aire comprimido (óxidos, polvo, etc.).
- Las partículas líquidas contenidas en el aire, causan un gran deterioro en las instalaciones neumáticas y en todos sus componentes, provocando desgastes exagerados y prematuros en superficies deslizantes, ejes, vástagos, juntas, etc., reduciendo la duración de los distintos elementos de la instalación.
- Las conexiones y desconexiones del compresor o compresores, generan oscilaciones en la presión, que impiden un funcionamiento estable de la instalación, de los actuadores, etc.

En comparación con el sistema hidráulico, el sistema neumático tiene mejores ventajas de operación, pero hasta ahora no puede reemplazar a aquél, por lo que se refiere al requisito de potencia y de exactitud de las operaciones.

II.1.1.1 Tratamiento de aire

El aire atmosférico lleva polvo y humedad. Tras la compresión, la humedad se condensa en el post-enfriador y en el depósito, pero siempre queda algo. Además, finas partículas de aceite carbonizado, cascarillas de la tubería y otras materias extrañas como por ejemplo material de sellado desgastado forman sustancias gomosas. Todo esto puede producir efectos nocivos al equipo neumático, incrementando el desgaste de las juntas y de los componentes, la deformación de las juntas y la corrosión y atasco de las válvulas (Salvador, 1988).

El aire que es succionado por el compresor regularmente no se encuentra en las condiciones óptimas debido a diversos tipos de contaminantes de la atmósfera. Es más, el aire que se alimenta al sistema desde el compresor se contamina todavía más, en virtud de la generación de contaminantes corriente abajo. Así también, la presión del aire rara vez permanece estable debido a la posibilidad de fluctuaciones en la línea. Por ello, para poder suministrar aire comprimido limpio, puro y sin contaminación, es necesario filtrarlo. (Majumdar, 1997). Es así, que en el tratamiento de aire comprimido en sistemas neumáticos, es esencial el uso de filtros reguladores, que retienen las partículas sólidas y las gotas de humedad contenidas en el aire (Ortiz Arroyo, 2014).

II.1.1.2 Filtraje de aire

El elemento filtrante elimina las partículas más finas de polvo, de cascarilla, del óxido y de aceite carbonizadas al fluir el aire hacia la salida. El elemento filtrante estándar elimina todas las partículas contaminantes de hasta 5 micras. Este elemento puede retirarse fácilmente, lavarse y reutilizarse un cierto número de veces antes de que sea necesario sustituirlo debido a una caída de presión excesiva. Un filtro estándar consta de un separador de agua y filtro combinados. Si el aire no ha sido deshidratado anteriormente, se recogerá una cantidad considerable de agua y el filtro retendrá impurezas sólidas como partículas de polvo y óxido.

La separación del agua se produce principalmente por una rotación rápida del aire, provocada por un deflector en la entrada. Las partículas más pesadas de suciedad, agua y aceite son expulsadas al impactar contra el vaso del filtro antes de depositarse en el fondo. Entonces, el líquido puede ser purgado por un drenaje de purga manual o automática. La placa separadora crea una zona de calma debajo del torbellino de aire, impidiendo que el líquido separado vuelva a entrar a la corriente de aire. Como se muestra en la figura 3, existen 2 tipos de

filtros separadores y estos se diferencian en base a la purga que estos contengan es decir, de accionamiento manual o de purga automática

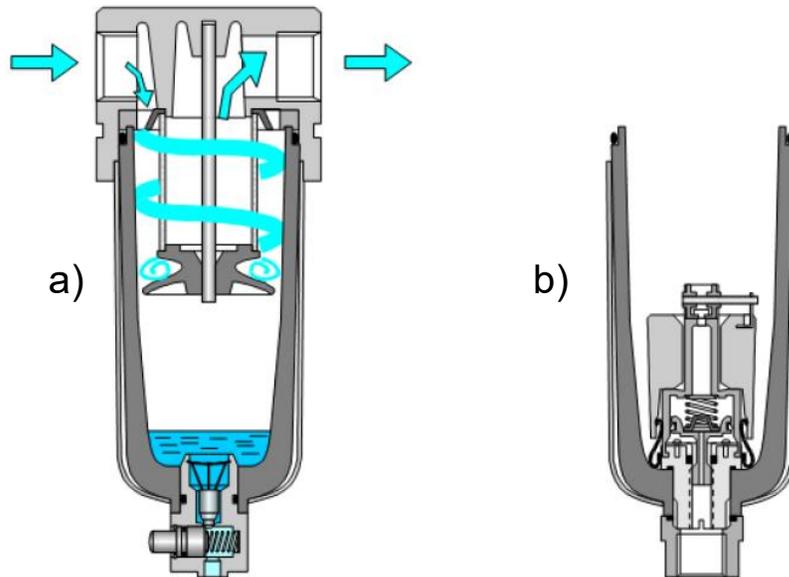


Figura 3. a) Típico filtro separador y b) purga automática opcional.

El elemento filtrante elimina las partículas más finas del polvo, de cascarilla, de óxido y de aceite carbonizado al fluir el aire hacia la salida. El elemento puede retirarse fácilmente, lavarse y reutilizarse un cierto número de veces antes de que sea necesario sustituirlo debido a una caída de presión excesiva. El vaso se fabrica normalmente de policarbonato. Cuando el mismo éste expuesto a calor y chispas es recomendable utilizar un vaso metálico (McAllister et al., 2013).

El tamaño del filtro que se requiere para una aplicación específica depende de dos factores:

- El caudal máximo de aire comprimido utilizado por el equipo neumático.
- La caída de presión máxima aceptable para la aplicación.

Por ello, los fabricantes suministran que la utilización del filtro estándar para la aplicación puede no resultar muy eficaz para bajas velocidades de flujo (SMC Neumática aplicada, 2011).

Tabla 1. Aplicaciones típicas de las distintas capacidades de filtraje. (SMC Neumática aplicada, 2011)

No.	Eliminación de...	Aplicación	Ejemplos típicos
1	Partículas de polvo >5 μ , aceite líquido >99%, humedad saturada <96%	Donde es aceptable algo de aceite, humedad e impurezas sólidas.	Aire para soplado y aparatos simples de sujeción e impulso.
2	Partículas de polvo >0.3 μ Niebla de aceite >99.9% humedad saturada. 99%	Donde predomina la eliminación de polvo y aceite, pero se tolera algo de condensación	Equipo industrial. Controles e impulsores neumáticos, juntas metálicas, herramientas y motores neumáticos.
3	Humedad a punto de rocío atmosférico de -17°C; lo demás como en (1).	Donde es necesario aire totalmente seco, pero se aceptan trazas de polvo fino y aceite.	Similar a (1), pero sigue siendo aire seco. Se agrega pintado de pulverización.
4	Partículas de polvo >0.3 μ Niebla de aceite >99.9%, humedad hasta un punto de rocío atmosférico de -17°C.	Donde no son aceptables humedad, polvo fino ni vapor de aceite.	Control del proceso, equipo de medición, pintado de alta calidad enfriado en moldes y marices de inyección.
5	Partículas de polvo >0.01 μ Niebla de aceite >99.9999%, humedad como en (4)	Donde se requiere aire puro, prácticamente libre de cualquier impureza.	Equipos neumáticos de medición de alta precisión, pintado electrostático, limpieza y secado de conjuntos electrónicos.
6	Igual que el grado No.5 pero se desea una formación visual del grado de saturación del filtraje.		
7	Como en el (5) con eliminación adicional de olores	Donde se requiere aire absolutamente puro y además eliminación de olores.	Envasado de medicinas y alimentos, vitivinicultura, transporte neumático, aire respirable.
8	Todas las impurezas como en (6) pero con un punto de rocío atmosférico de <-30°C	Donde debe evitarse el menor riesgo de condensación durante expansión y a baja temperatura.	Secado de componentes electrónicos, almacenamiento de medicamentos, equipo de medición de uso marino, transporte neumático de materiales en polvo.

Como se puede observar en la tabla 1, las aplicaciones típicas de las distintas capacidades de filtraje, la derivación 1 y 2, proporcionan el aire directamente del depósito. Las derivaciones 3-6 utilizan el aire acondicionado por

un secador de tipo refrigerado. La derivación 8 incorpora un secador adicional de absorción.

Los filtros estándar de las sub-derivaciones 1 y 2, provistos de purgas automáticas, eliminan el agua de condensación; la sub-derivación 2 es de mayor pureza debido al filtro micrónico.

Las sub-derivaciones 3-6 utilizan aire seco refrigerado, por lo tanto, la derivación 3 no requiere purga automática, la derivación 4 no necesita filtraje previo y las derivaciones 5-6 proporcionan un nivel de pureza del aire utilizando un filtro micrónico y un filtro sub-micrónico, mientras que la humedad ha sido eliminada por un secador de aire refrigerado.

La sub-derivación 7 incorpora un filtro para la eliminación de olores. Un secador de adsorción elimina todo riesgo de condensación a temperaturas más bajas en la sub-derivación 8 (SMC Neumática aplicada, 2011).

II.1.1.3 Regulación de presión

La regulación de la presión es necesaria porque a presiones por encima del nivel óptimo, se produce un desgaste rápido con un bajo incremento mínimo o nulo de efectividad. Cuando la presión del aire es demasiado baja, resulta antieconómica puesto que tiene como consecuencia un rendimiento escaso. Los reguladores de presión estándar pueden tener un émbolo o diafragma para equilibrar la presión de salida contra la fuerza regulable de un resorte, tal como aparece en la figura 4.

La presión de salida se predispone regulando el tornillo que carga el resorte de regulación para mantener abierta la válvula principal, permitiendo que fluya desde el orificio de entrada de presión P_1 , al orificio de salida P_2 . Cuando el circuito conectado con la salida se encuentra la presión preestablecida, actúa sobre el diafragma creando una fuerza elevadora contra la carga del resorte.

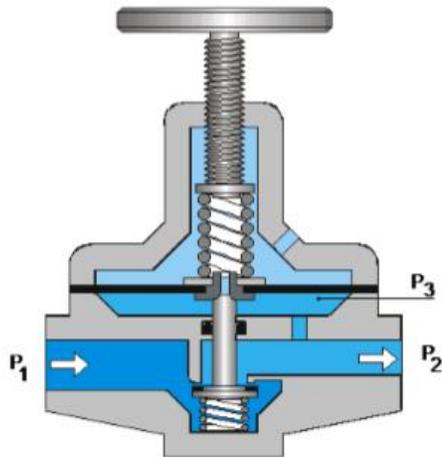


Figura 4. Principio del regulador a presión.

Si desciende el nivel de consumo, P_2 aumenta ligeramente, lo que hace aumentar la fuerza sobre el diafragma contra la fuerza del resorte; el diafragma se eleva entonces hasta que la fuerza del resorte sea nuevamente igualada. El caudal de aire que pasa por la válvula se reduce hasta que se equilibre el nivel de consumo y se mantenga la presión de salida.

Si el nivel de consumo aumenta, P_2 disminuye ligeramente, lo que hace disminuir la fuerza del diafragma contra la del resorte; el diafragma y la válvula descienden hasta que la fuerza del resorte iguale nuevamente, lo que hace aumentar el caudal de aire por la válvula hasta que se equilibra el nivel de consumo. Esto puede ser descrito gráficamente en la figura 5, que es una gráfica útil para el cálculo de presión y caudal que se requiere tomando en cuando las pérdidas de los mismos.

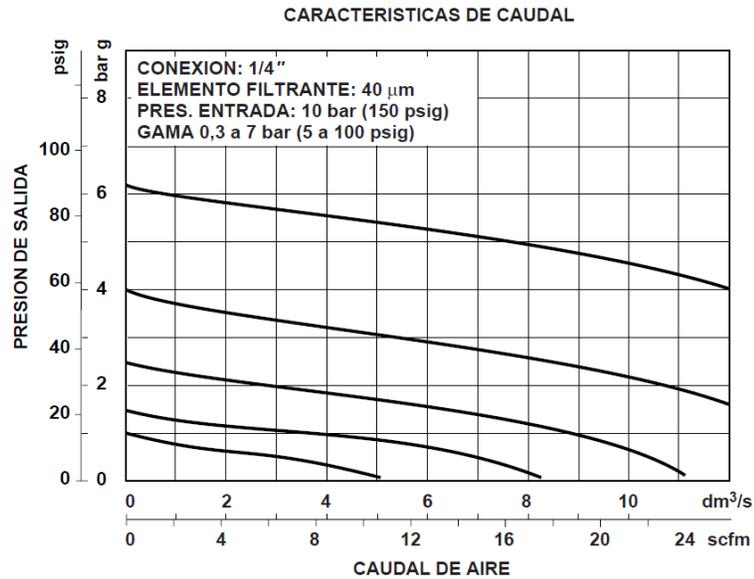


Figura 5. Gráfica de consumo de caudal.

Sin consumo de aire de la válvula está cerrada. Si la presión de salida sube por encima del valor regulado debido a:

- Una nueva regulación del regulador a una presión de salida más baja.
- Un impulso contrario externo desde el actuador.

El diafragma se eleva para abrir el asiento de alivio de forma que la presión en exceso puede ser evacuada por el orificio de escape en la cápsula del cuerpo del regulador.

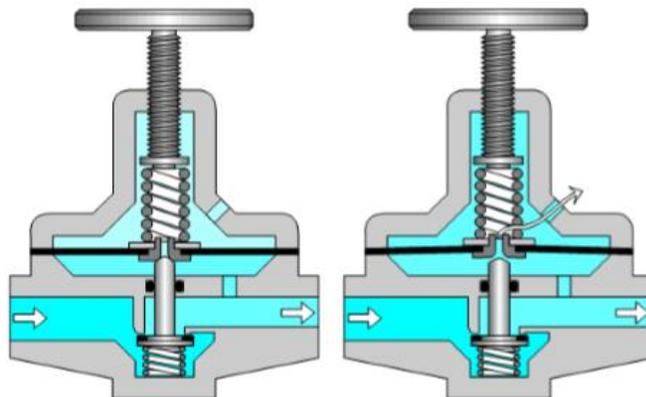


Figura 6. Función de descarga de reguladores de presión estándar.

Con caudales unitarios muy elevados, la válvula se queda completamente abierta. Por lo tanto el resorte se estira y se quedan más débil que el equilibrio entre P_2 en el área del diafragma y el resorte se produce un nivel más bajo. Este problema se puede solucionar creando una tercera cámara con una conexión al canal de salida. En este mismo canal la velocidad del caudal es elevada. La presión estática es baja (Bernoulli). Puesto que P_3 se encuentra ahora a una presión estática más baja, el equilibrio contra el resorte debilitado a caudales unitarios elevados queda compensado.

Queda aún un inconveniente en el regulador de la figura 5: Si la presión de salida P_1 aumenta, una fuerza mayor está actuando sobre la parte inferior de la válvula, tratando de cerrarla. Esto significa que un aumento de la presión entrada hace disminuir la presión de salir y viceversa. (SMC Neumática aplicada, 2011) Esto se puede obviar por medio de una válvula cuyas áreas de superficies sean iguales para la presión entrada y salida en ambos sentidos. Así lo demuestra el regulador de la figura 6.

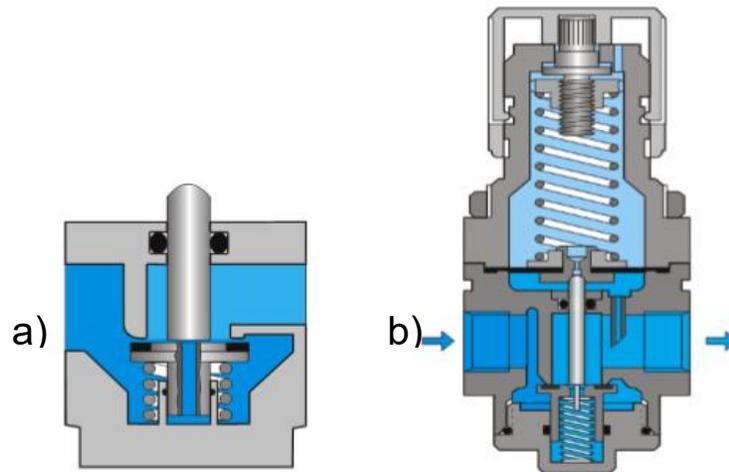


Figura 7. Reguladores de presión de caudal compensado y completamente compensado.

2.1.2 Filtros reguladores.

El filtraje del aire y la regulación de la presión se combinan en un solo filtro-regulador que proporciona a una unidad compacta, como se observa en la figura 8. Los filtros reguladores son dispositivos neumáticos que conjuntas las dos diferentes fases, combinando las funciones de un filtro convencional, añadiendo los beneficios de un regulador (SMC Neumática aplicada, 2011).

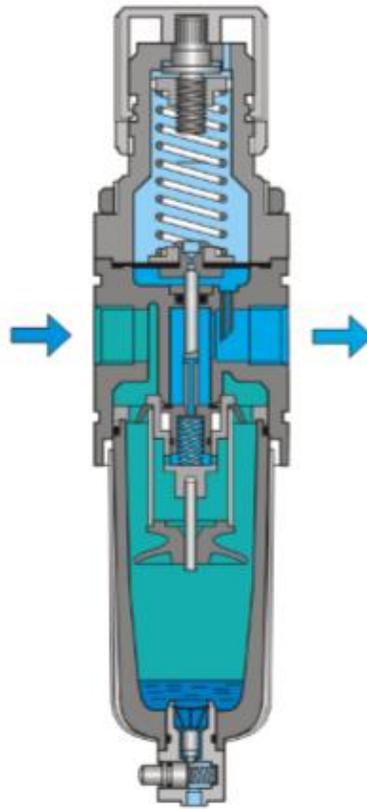


Figura 8. Filtro regulador estándar con drenado manual.

Los filtros reguladores son compactos y más eficaces cuando el espacio constituye una limitación, estos pueden variar los elementos del filtro y también ser modificando internamente con diversos resortes, esto con el objetivo de requisitos específicos de filtración y regulación de aire. (Jiménez, 2003).

La función primordial de estos dispositivos es dar las condiciones óptimas al flujo (aire comprimido) para aplicarse a algún proceso o sistema industrial; y básicamente se genera por la utilización de diversos elementos que permiten diferentes bases. Es decir, un uso eficaz y eficiente de las herramientas, los equipos y las máquinas en casi todos los sectores: el aire puro.

2.2.3 Pérdidas de energía en sistemas neumáticos por fugas

Uno de los aspectos más descuidados en los sistemas de aire comprimido son las fugas de aire, inclusive se puede llegar a pensar que son irrelevantes. Si bien son inevitables, debe tomarse en cuenta que en el diseño de una instalación, el valor recomendado es del orden del 10% como máximo sobre la demanda calculada, en algunos casos a causa del descuido pueden llegar a ser tan grandes como el 50% lo que implica un gran desperdicio de energía (CNEE, 2010).

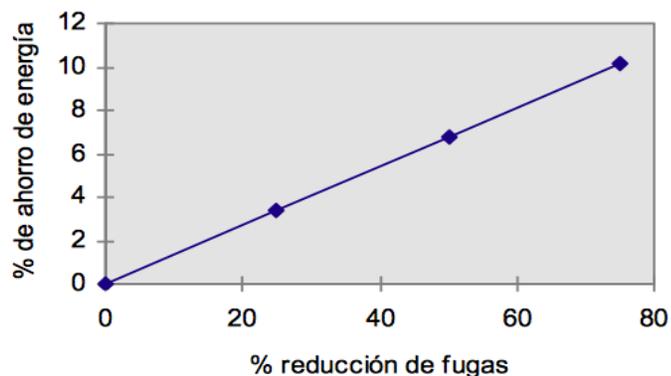


Figura 9. Comportamiento del ahorro del porcentaje de disminución de fugas.

El objetivo de un sistema de distribución es transportar el aire comprimido, desde el compresor, almacenarlo en un tanque y de ahí llevarlo hasta la herramienta o cualquier otro equipo neumático; con una pérdida de carga limitada. Sin un buen sistema de distribución el compresor debe entregar un mayor

volumen de aire, compensando mediante caídas de presión las variaciones geométricas de la red.

Para los sistemas de aire comprimido, los cálculos deben establecer la reducción de la tasa volumétrica en CFM de la medida de la eficacia y evaluar la forma en que los impactos de reducción del consumo de energía de la planta compresora en base a la curva de rendimiento del sistema. Este proceso implica la cuantificación de la reducción de CFM para cada uso final considerado, por un total de los impactos globales sobre los requisitos de salida del compresor, y el cálculo de los ahorros de energía asociados a las operaciones del compresor y del sistema de tratamiento de aire (D'Antonio et al., 2005).

Entre algunas mejoras que pueden desarrollarse se encuentran: Corrección de fuga, ajustes de la presión de succión y descarga, limpieza de filtros y tuberías, control por estrangulamiento en la succión, reducción de pérdidas en el sistema de distribución de aire comprimido.

En ocasiones la operación de alguno de los compresores se debe a incrementos breves en la demanda de aire de la planta, lo cual indica que ese compresor únicamente está operando para suplir picos de carga que genera la planta y son de baja duración en tiempo, lo que crea una demanda artificial. Operando el compresor en forma semejante a la figura 10. El sistema de control de aire acerca a los usuarios de aire comprimido a estabilizar la presión del aire en los puntos de uso, controlar distribución, administrar las fugas y mejorar la secuencia de uso de los compresores, mientras máxima el rendimiento de uso los compresores, mientras maximiza el rendimiento de los equipos neumáticos (CNEE, 2010).

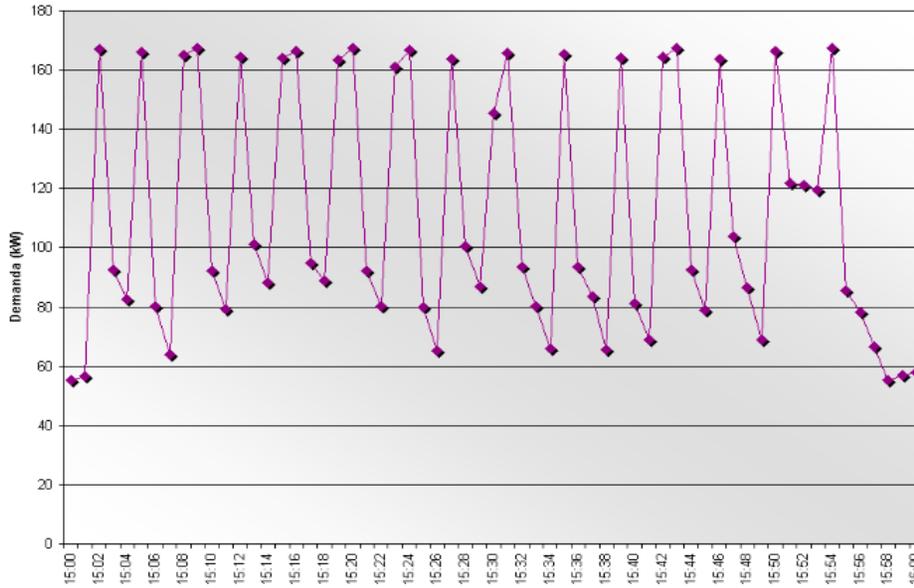


Figura 10. Comportamiento del compresor de aire.

2.4 Fabricación de filtros reguladores miniatura.

Desde el año de 1927, Carl A. Norgren, como se muestra en la figura 1, ha diseñado el primer prototipo neumático que fue el lubricador estándar que es un dispositivo de lubricación de líneas de aire comprimido con funcionamiento automático y ese fue el inicio de su compañía, como fundador de Norgren en Estados Unidos.

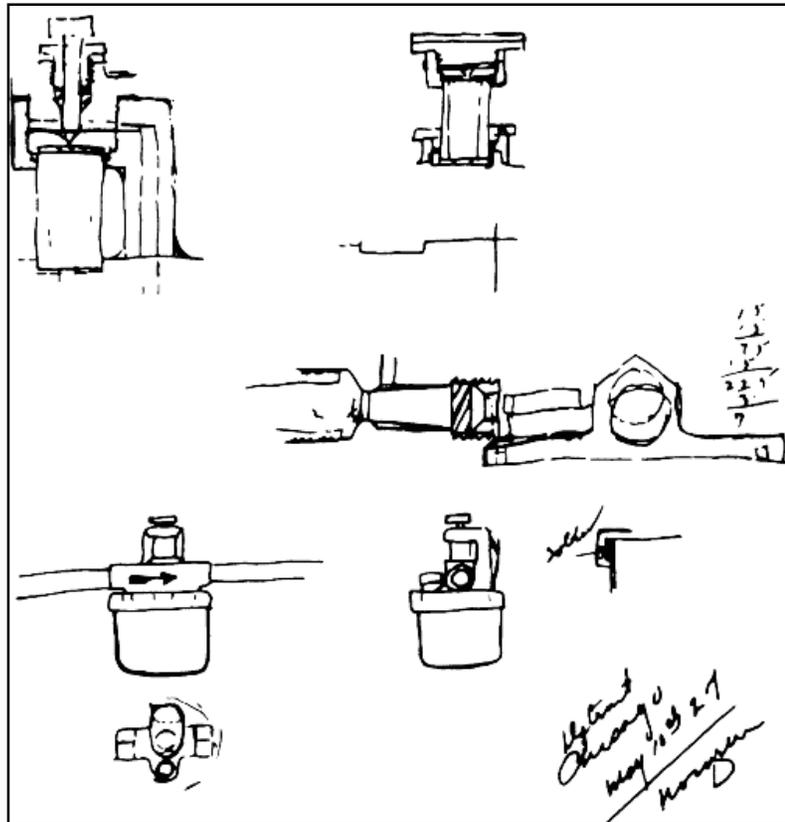


Figura 11. Lubricador estándar diseñado por Carl Norgren, 1920.

Hoy en día, IMI PE (Precision Engineering) se ha centrado en proporcionar innovación tecnológica desde su inicio a principios del siglo 20, habiendo crecido orgánicamente como a través de una adquisición estratégica y es ahora parte del negocio global IMI que lleva a través del espíritu de innovación, la creación de una ventaja de ingeniería en el siglo 21. IMI PE, es una empresa líder mundial de productos neumáticos de alto rendimiento de movimiento y soluciones de control de fluidos:

- 22 plantas de fabricación en todo el mundo
- Ventas y servicio de red en 75 países
- La capacidad de la cadena de suministro
- Experiencia en el sector que abarca la automatización industrial , ciencias de la vida , energía, ferrocarril, vehículos industriales , alimentos y bebidas

Dentro de una unidad de negocio de productos industriales de IMI Precision engineering, se encuentra B07, una célula de ensamble de 194 números de parte diferentes, siendo estos una gamas de variantes de filtros reguladores para aire comprimido. Cuyas especificaciones de cada producto y/o modelo pueden ser especificadas por el cliente o hacer una selección entre el portafolio de productos de esta unidad. Entre las principales características de esta línea de productos para el mantenimiento de aire comprimido, se encuentran el tipo de drenado, material del vaso, especificaciones de filtrado, así como características especiales adecuadas a las necesidades que se requieran del producto.

2.4.1 Proceso de ensamble de filtros reguladores.

El proceso de ensamble de filtros reguladores es un proceso de ensamble manual por parte de las operadoras en el cual intervienen un poka-yoke (Equipo a prueba de error) para la identificación de los puertos, 3 torquímetros calibrados a las diferentes presiones de torque requeridos para cada ensamble, así como 4 nidos para la sujeción del ensamble.

Para el ensamble de cualquier modelo, es necesario 13 componentes por medio de la siguiente secuencia:

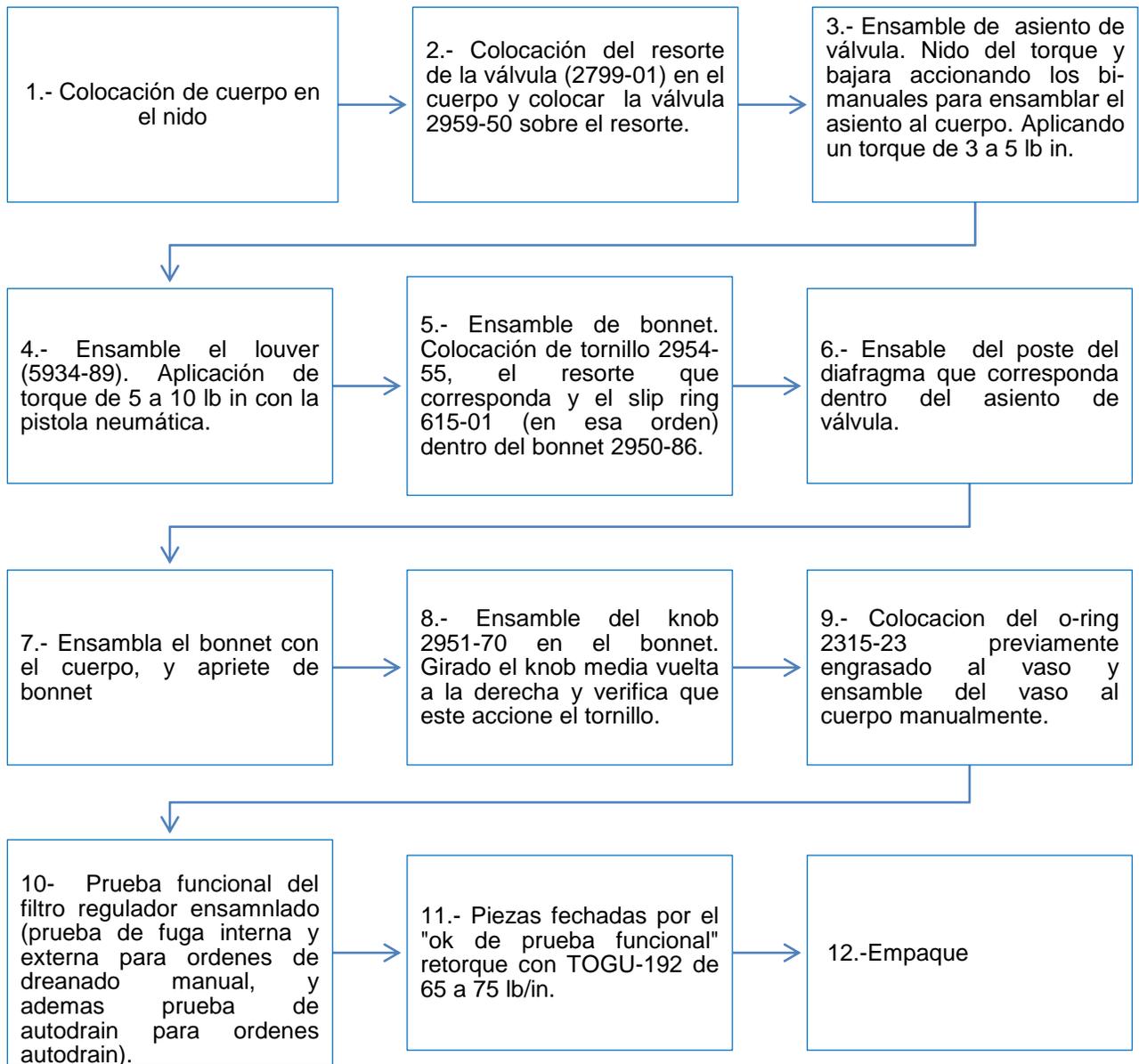


Figura 12. Diagrama del proceso de ensamble de filtros reguladores en B07.

En la prueba funcional del tester (operación 10), se le aplican realizan al producto: “filtros reguladores con drenado manual”, dos pruebas funcionales, es decir, cada una de las piezas pasan por una prueba mediante un flujometro una prueba funcional de fuga interna y externa.

La prueba funcional de estos filtros reguladores es importante pues es el objetivo es la regulación de aire, ya que en el uso del cliente, este producto será el encargado de asegurarse que el flujo suministrado sea el adecuado para un sistema de aire comprimido. Por ello, la necesidad primordial de que este producto cuente con especificaciones menores a las señaladas por su diseño, que son las siguientes que se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Especificaciones de fuga del producto, filtro regulador manual

Tipo de prueba	Rango menor a:
Fuga interna	4 sccm
Fuga externa	8 sccm

La industria de la prueba de fugas en los EE.UU. ha estandarizado las tasas de fuga en unidades de "SCC / m" o "SCC / s" (atm cc / s) - centímetros cúbicos estándar por minuto o segundo.

Estas unidades de medición se refieren al volumen de fuga del producto en términos de condiciones estándar. La razón de que las unidades estándar se utilizan en la ciencia, para eliminar la ambigüedad en informar de los resultados y la definición de las especificaciones.

Por ello, el establecimiento de las unidades de fuga para el producto, unidad como: "SCC / m" o "SCC / s", como las unidades estándar para medir las tasas de fuga, pero que significa; centímetros cúbicos estándar por minuto y define el volumen de aire a una presión y temperatura estándar.

2.5 Métrico FPY (First Pass Yield).

Lo que no se puede medir...no se puede gestionar, y por la tanto no se puede mejorar. Lord Kelvin formalizó la necesidad de medir un hecho científico para poder progresar en su conocimiento.(Sokovi et al., 2009).

La metodología Seis Sigma denomina FPY (First Pass Yield, es decir la fracción de elementos fabricados “bien a la primera sin ningún defecto”). FPY es un métrico o indicador en el sector industrial importante para medir el desempeño de calidad y producción. Existen muchas ventajas sobre el mismo pues, es una buena medida de eficacia de un proceso, para el monitoreo del rendimiento y la eliminación de desperdicios dentro del mismo. Muchos otros métricos de productividad y eficiencia, no tienen en cuenta el costo de un retrabajo dentro del mismo, y en muchas empresas el retrabajo puede ser una parte importante del tiempo y el valor agregado a la producción final.

El rendimiento de bien a la primera, también puede ser un métrico de éxito para las actividades de mejora continua dentro de las organizaciones, puesto que las iniciativas de mejora continua se centran a menudo en las iniciativas de reducción de desperdicios e ineficiencias, , que regularmente pueden ser escondidas de un análisis si no se mide primero FPY. Por estas razones, y muchos otros, primero rendimiento pase se incluye a menudo como el primer término de la fórmula de la efectividad total del equipo o disponibilidad de máquina, Overall Equipment Effectiveness” (OEE) .

Y la forma del cálculo para este métrico es la siguiente:

$$FPY = \frac{\text{Numero de productos terminados sin retrabajos}}{\text{Total de productos que entran en el proceso (retrabajos) + scrap}}$$

Sin embargo, existen varios retos del FPY respecto a una medida de productividad y lo más obvio es que no toma en cuenta el tiempo de inactividad, el cumplimiento al programa de producción, o a la capacidad de un proceso dado,

que es lo que regularmente o la mayoría de las empresas miden en conjunto en sus métricos o indicadores de fabricación, como parte de una métrica compuesta como OEE. Todas las empresas quieren reducir el retrabajo y desperdicios, pero si el proceso global no está dando el rendimiento deseado de los activos o no está ligada a la demanda del cliente, todas esas ganancias de eliminación de residuos no tendrían ningún sentido.

2.6 Fundamentos estadísticos.

2.6.1 Diseño óptimo de experimentos

En la industria, la experimentación suele utilizarse básicamente en dos áreas: el diseño y la mejora de procesos y productos. La experimentación proporciona en estos casos la descripción aproximada de cómo se comportan los procesos y/o productos, restringida a una región de interés. La mejora de los procesos es generalmente el objetivo hasta que este alcanza el nivel deseado (Czitrom, 1999).

Pero, la mayoría de los problemas industriales, están condicionadas por el tiempo y el presupuesto, lo que supone una limitación importante a la hora de experimentar. Por eso todas las empresas deberían intentar responder antes de realizar sus experimentos la siguiente pregunta, ¿Cómo puedo obtener de los experimentos la mayor información posible y de la manera más eficiente?

La estrategia de un diseño óptimo de experimentos, mediante el uso de herramientas como D-optimal, o eficiencia para la generación de un diseño óptimo consiste en; utilizando el conocimiento previo sobre el proceso en cuestión, modificar las variables involucradas y conducir las pruebas bajo condiciones en las cuales se esperan los mejores resultados.

El número de repeticiones y corridas de este tipo de diseños son mejor, y se procura obtener la mayor cantidad de resultados para inferir de ellos una mejora eficiencia del proceso involucrado. Como afirma Deming (Deming, W.E., 1982); “no hay conocimiento que pueda contribuir tanto a mejorar la calidad, la productividad y la competitividad como el de los métodos estadísticos”.

El modelo general que se utiliza para el diseño experimental es:

$$Y = X\beta + \sum_{i=1}^b Z_i \gamma_i + \epsilon,$$

En donde: Y es un vector con N observaciones, X es una matriz de N x k, Z_i , ($i = 1 \dots b$) son matrices $N \times m_i$. Los vectores γ_i , ($i = 1 \dots b$) y los vectores N y ϵ , son aleatorios e independientes el uno del otro con varianzas $\sigma_i^2 I_{m_i}$ y $\sigma_\epsilon^2 I$, respectivamente.

Por lo general hay dos objetivos de interés en un experimento de superficie de respuesta: la estimación de parámetros, y la predicción. Aunque los propios parámetros son de interés, el hecho de que el modelo es una aproximación, los hace menos interesante que en otras formas de experimentación, donde los factores representan atributos importantes.

Para la mayoría de los diseños de superficie de respuesta, las sumas de cuadrados de ANOVA no serán independientes, pero todavía proporcionar pruebas de coeficiente de riesgo para las fuentes individuales, y mirando cómo es una práctica mejor que tratar de interpretar los términos individuales.

2.6.2 Evaluación de un sistema de medición.

La evaluación de los sistemas de medición consiste en determinar la capacidad y estabilidad de los sistemas de medición por medio de estudios de estabilidad, repetibilidad, reproducibilidad, linealidad y exactitud. Un sistema de medición (GAGE) es la colección de operaciones, procedimientos, instrumentos de medición y otro equipo, software y personal definido para asignar un número o la característica que está siendo medida (Escalante, 2003).

II.6.2.1 Propiedades estadísticas de los sistemas de medición.

Todos los sistemas de medición deben poseer las siguientes propiedades estadísticas:

- Estar en control estadístico (estabilidad estadística).
- Su variabilidad debe ser pequeña comparada con las especificaciones y con la variación del proceso.
- Los incrementos de medida no deben ser mayores a 1/10 de lo menor entre las especificaciones y la variación del proceso (discriminación o resolución).
- Poco sesgo (Escalante, 2003).

La evaluación de los sistemas de medición se efectúa a través de estudios de repetibilidad, reproducibilidad, exactitud, estabilidad y linealidad. Los usos de la evaluación son:

- Aceptar equipo nuevo/ comparar dos equipos entre sí.
- Evaluar un calibrador sospechoso.
- Antes de implantar gráficas de control.
- Cuando disminuya la variación del proceso.
- De manera continua de acuerdo a la frecuencia de mediciones recomendadas en los estudios (Escalante, 2003).

II.6.2.2 Evaluación de la repetibilidad y la reproducibilidad (R&R).

- Repetibilidad (precisión).

Es la variación en las mediciones hechas por un solo operador en la misma pieza y con el mismo instrumento de medición. Esta variación debe ser pequeña con respecto a las especificaciones y a la variación del proceso. Causas posibles de problemas de repetibilidad pueden ser: suciedad, fricción, desajuste, desgaste (Escalante, 2003).

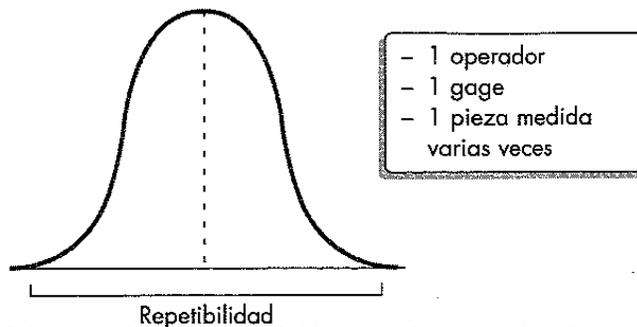


Figura 13. Definición gráfica de repetibilidad. (Referencia: Escalante, 2003).

- Reproducibilidad.

Es la variación entre las medias de las mediciones hechas por varios operarios con las mismas piezas y con el mismo instrumento de medición (figura 14) (Escalante, 2003).

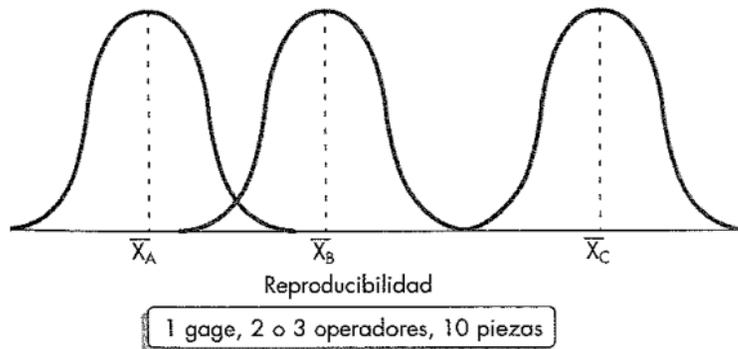


Figura 14. Definición gráfica de reproducibilidad. (Referencia: Escalante, 2003).

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se define la plataforma principal de investigación, como fue fundamentada, así como los pasos necesarios para entender el enfoque y estrategia del mismo para el cumplimiento de los objetivos.

3.1 Tipo y diseño de la investigación.

En el presente proyecto de investigación se utilizó el tipo de investigación experimental por la naturaleza de los objetivos y de las variables pues se manipularon variables independientes, ejerciendo control sobre estas. El objetivo se centró en controlar el fenómeno a estudiar, empleando razonamiento hipotético-deductivo. Se emplearon muestras representativas, diseño experimental como estrategia de control (Sampieri et al., 1998).

Y para el análisis de los datos e información, se requirió una investigación cuantitativa tradicional, con una recolección y análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas previamente, confiando en la medición numérica, mediante el frecuente uso de la estadística para establecer patrones de comportamiento de una población (Personne and Matinlassi, 2014).

Por el grado de abstracción este proyecto es de investigación aplicada, ya que el principal objetivo fue resolver un problema práctico, con un margen de generación muy limitado.

Por el tiempo en que se realizó el proyecto de investigación es catalogado como diacrónico, el estudio tuvo duración de 11 meses con el objetivo de verificar los cambios que pudiesen efectuarse en las variables y llevar un registro de las fallas, así como datos históricos y registros operaciones e indicadores de desempeño, es decir, una investigación longitudinal y transversalmente mutuamente.

3.2 Condiciones del experimento.

3.2.1 Lugar donde se realizó el estudio.

El presente proyecto se llevó a cabo en una célula de ensamble industrial, dentro del área de productos industriales en IMI PE (Precision Engineering). La empresa se localiza en Av. La Montaña #120, en el Parque Industrial Querétaro.

El sector industrial o unidad de negocio para productos industriales en IMI PE, tiene un alto volumen y demanda constante dentro de las órdenes de producción. Dentro de esta, se encuentra B07. B07 es una célula de ensamble de filtros reguladores manuales y automáticos con una demanda constante y diversa de modelos según las variaciones de los puertos, material de vaso, según las necesidades específicas de los clientes, todos con un giro de carga de aire comprimido.

3.2.2 Recursos materiales y humanos

Principalmente, para la realización de este proyecto se requirió de la colaboración de un equipo multidisciplinario en las diferentes etapas; como el ingeniero de calidad y procesos, supervisores de producción, planeador de materiales, así como la participación constante de las operadoras de producción de la misma área.

Así como la aprobación del proyecto y supervisión del jefe de ingeniería de procesos, gerente de unidad de negocio y gerente de producción.

Para el proyecto se requirió un análisis de piezas de diferentes modelos para el análisis de las fallas, una recolección de componentes para los diferentes análisis de sistemas de medición y pruebas destructivas para algunas piezas y componentes para dimensionamiento.

3.2.3 Técnicas empleadas.

En los últimos años ha habido un crecimiento sustancial en el número de industrias que emplean métodos de gestión de proyectos (Chaffey, 1997). Técnicas y procedimientos de gestión de proyectos difieren de un proyecto a otro, dependiendo a la naturaleza del mismo, la complejidad y el costo (Bates et al., 1999).

Es bien aceptado que la secuencia general del proyecto pueda dividirse en etapas que, en conjunto, constituyen lo que se conoce como el "ciclo de vida del proyecto" (Healy, 1997). El ciclo de vida del proyecto ayuda a la gestión de la secuencia de las tareas necesarias para completar el proyecto y también en la identificación de las actividades.

La metodología modular del proyecto está basada en el ciclo de PDCA, también conocido como ciclo de Deming en honor a su creador, Edwards Deming, que constituye la columna vertebral de todos los procesos de mejora continua. Por sus siglas en inglés; Plan, Do, Check, Act (PDCA), las 4 etapas de comprenden planear, hacer, Verificar y Actuar, así como se muestra en la figura 15

PDCA es una estrategia utilizada para lograr avance en mejoras de seguridad, la calidad, la entrega, costo, y otros objetivos de negocio críticos (Sokovi et al., 2009). Así también como menciona (Kumar, 2014), es una lista de verificación de las cuatro etapas que se deben seguir para obtener de un "problema enfrentado" a "problema resuelto".

El proyecto desarrollado se basó en el ciclo de Deming, pues es un proceso metodológico aplicable a cualquier campo de actividad asegurando una mejora en las actividades, teniendo en cuenta que esta mejora no tendrá un fin en específico, ya que formará parte de un círculo hacia la mejora continua como gestor de las actividades que se requieran para que el objetivo se alcance y sea

sostenible a lo largo de la vida del producto. Así también gestionando la importancia de la planeación, dando lugar a una acción eficaz con el menor costo de pérdidas económicas ya que el lugar de estudio y de experimentación debe resguardar los intereses de la empresa.

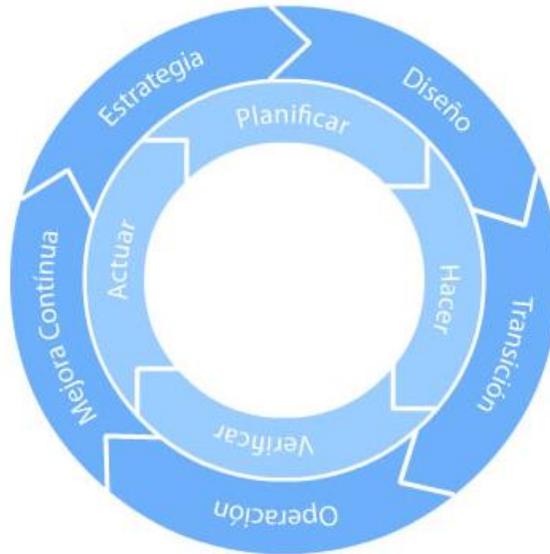


Figura 15. Ciclo de Deming, PDCA.

Así también, en cada una de las etapas del proyecto se definieron. Por lo cual las actividades del proyecto se coordinaron en base a la siguiente tabla como esquema de trabajo:

Tabla 3. Metodología, fases y herramientas.

PDCA	DIAGRAMA DE FLUJO	FASE	HERRAMIENTAS
PLANEAR (P)	1	Definición del proyecto y objetivos.	<ul style="list-style-type: none"> Lluvia de ideas
	2	Revisión bibliográfica	-----
	3	Análisis de la situación actual	<ul style="list-style-type: none"> Gráficos de control Histogramas
	4	Análisis del sistema de medición	<ul style="list-style-type: none"> R&R Estudio bias
	5	Trabajo de campo/célula de producción	-----
	6	Trabajo en laboratorio (pruebas de ingeniería)	<ul style="list-style-type: none"> Manual de pruebas neumáticas
HACER (D)	7	Diseño de experimentos	<ul style="list-style-type: none"> DOE
	8	Procesamiento de la información (Análisis estadístico)	<ul style="list-style-type: none"> Anova
	9		<ul style="list-style-type: none"> Gráficos de correlación
VERIFICAR (C)		Implementación de soluciones	-----
		Verificar los resultados	<ul style="list-style-type: none"> Hoja de verificación
ACTUAR (A)	10	Estandarizar	<ul style="list-style-type: none"> Instructivos
	11	Documentar	-----

3.2.3.1 Instrumentos y sistema de medición

Dentro del proyecto de investigación se requiere el uso de equipos de medición de flujo para la realización del diseño de experimentos, así como para corroborar el correcto funcionamiento del equipo de prueba en B07.

El equipo de prueba de fuga de aire de filtros reguladores miniatura consiste en un cosmos “air leak tester” como se observa en la figura 15. Este es un detector de fugas automático, no sólo detecta fugas por el cambio de minutos de presión diferencial, si no realiza una secuencia programable que acepta o rechaza el producto.

Dentro de la secuencia del equipo distingue los dos diferentes tipo de drenado de los filtros reguladores, y esta cambia agregando a los de tipo automático una prueba en la cual se evalúa la capacidad del producto para distinguir entre variaciones de presión y drenar.



Figura 16. Cosmo de prueba de fugas de aire en B07.

La secuencia consiste en realizar una prueba a 30psi sin ejercer carga sobre el resorte, y el equipo realiza la primera medición en la cual tendrá que aceptar o rechazar el producto. Si paso dicha prueba, el cosmo iguala las presiones P_1 y P_2 para poder realizar la siguiente medición en el cuál también ejercerá un juicio de aceptar o rechazar.

Como se mencionó en el capítulo 2, en un proceso de fabricación masiva en el cuál se tienen estándares de calidad definidos para un producto es necesario cuente con las condiciones óptimas en su funcionamiento es necesario evaluar la reproducibilidad y repetitividad del mismo y esto se evaluará mediante un R&R cruzado, con tres operadores y 2 repeticiones, con la participación del ingeniero de procesos y dos operadores de producción para brindarle al estudio las condiciones más cercanas a las cuales se prueba el producto.

Cabe mencionar que este análisis del sistema de medición será evaluado para dos respuesta, es decir, la respuesta del cosmos para fuga interna y externa, pues se realiza mediante diferentes canales, variando los valores de calibración.

3.2.3.2 Pruebas de laboratorio

Para estudiar el tipo de fallas de algunos componentes o procesos de ensamble en los filtros reguladores, en IMI PE se cuenta con un laboratorio de ingeniería equipado para todas las pruebas requeridas por su producto, es decir, las pruebas funcionales de fugas y de ciclos para el aseguramiento del producto en base a garantías y tiempo de vida.

- Prueba de fuga interna: Con una presión de 30 psi se ingresa un flujo de aire a un filtro regulador sin carga ejercida en el resorte, se verifica mediante un flujómetro el flujo que en el mismo.
- Prueba de fuga externa: Con una presión de 30psi y todos los puertos del filtro regulador cerrados, ejerciendo toda la carga sobre el resorte, se verifica mediante un flujómetro el flujo en el mismo.

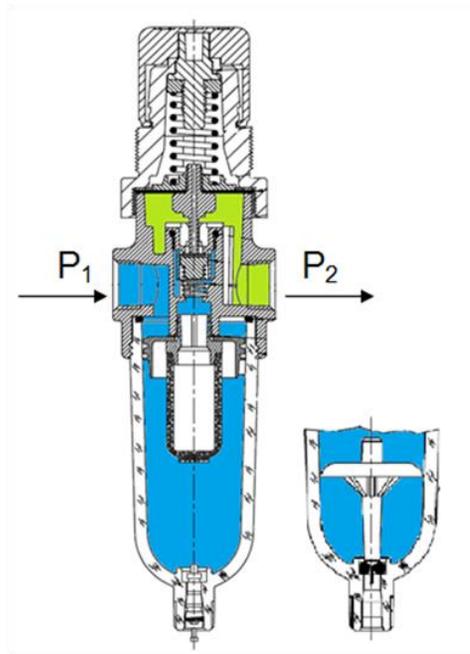


Figura 17. Filtro regulador manual y automático.

Como se muestra en la figura 16, se aprecia en verde las zonas críticas a evaluarse en el laboratorio para análisis para una fuga de aire interna y en azul, las áreas que se evalúan para fugas externas.

3.2.3.3 Diseño de experimentos

Para estudiar el efecto de los componentes y procesos en las fallas interna o externa se realizó un diseño de experimentos, teniendo en cuenta que se analizaran dos respuestas, el valor de la fuga leída en el cosmos en sccm.

Los factores establecidos en el diseño de experimentos fueron variables detectas en los estudios de laboratorios realizados, en los cuáles se detectaron variaciones en los componentes, inconsistencias en los métodos de ensambles y variaciones en el mismo.

Para verificar que exista una significancia significativa solo entre los factores que se evaluaron, se realizó una certificación de los componentes que se

encuentren fuera del modelo, para no generar ruido al mismo. Los dos diseños de experimentos a evaluarse son los siguientes:

- X1= Fuga interna.
 - X1.1= Condición de la válvula 2959-50.
 - X1.2= Método de ensamble de la válvula del vaso manual.
 - X1.3= Método de ensamble del asiento de válvula.
- X2= Fuga externa.
 - X2.1= Método de prueba ($P_1=P_2$).
 - X2.2= Condición del poste del diafragma.

Por lo tanto, el diseño de experimentos propuesto para la reducción de fallas de fuga interna/externa dentro de los parámetros ya mencionados, fue de 5 factores, 2 niveles para cada factor, como se muestra en la figura 18, el diagrama de parámetros del diseño.

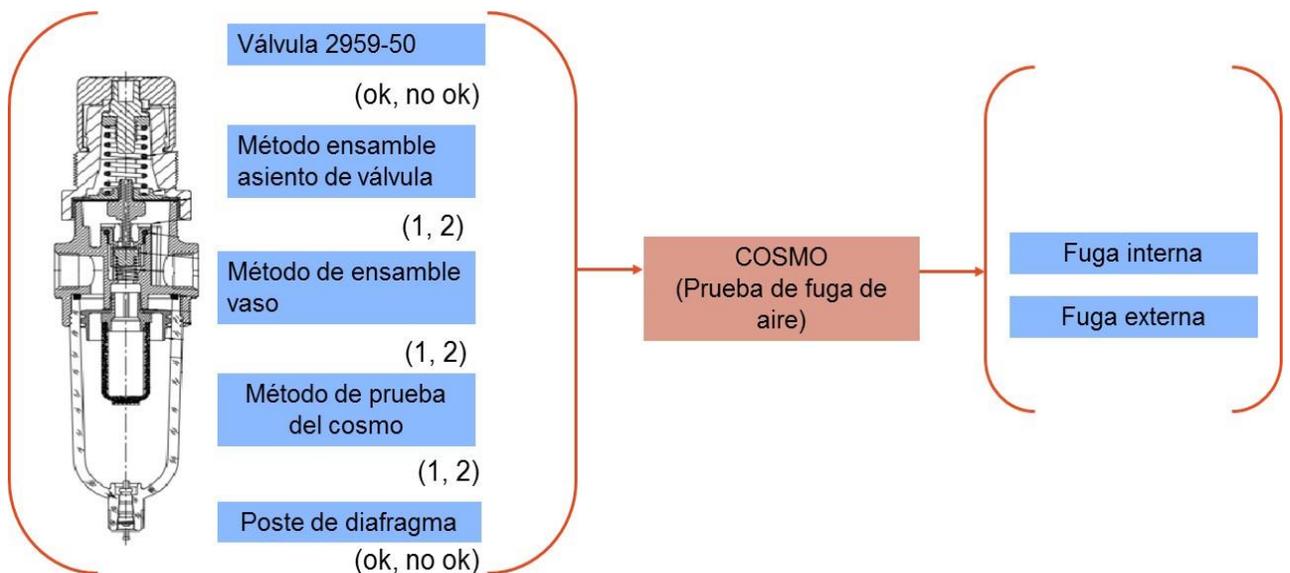


Figura 18. Diagrama de parámetros del DOE 1 de fuga interna.

3.2.3.4 Variables

Las variables a controlar en el diseño de experimentos como se explica en las figuras 19, todas de 2 niveles se refieren a la calidad en los componentes y procesos y sub-procesos en el proceso de ensamble de los filtros reguladores miniatura y cabe mencionar que se consideraron las siguientes preguntas dentro de la experimentación del proyecto:

De acuerdo con Western Electric (1956), es necesario considerar que:

- a) Aunque se aprecie una relación fuerte, ésta no necesariamente indica relación de causa y efecto entre esas variables. La relación causa-efecto se obtiene del conocimiento del proceso.
- b) Si no se aprecia una relación significativa, puede deberse a que realmente no exista correlación, o a que la cantidad y/o el rango de los datos sea insuficiente.

Para explicar el origen de las variables elegidas en base a la base de datos creada para verificar el origen de las fallas en B07, como se muestra en la tabla 4, que explica a la razón de fuga interna y/o externa en base a estudio en el laboratorio de ingeniería.

Para variables que se refieren a la calidad en componentes se certificó material 100%, así como se usó material en estado dañado para el segundo nivel del mismo.

En el caso de métodos de ensamble se evaluaron dos tipos para cada variable, verificando que el método de ensamble sean los correctos evaluados.

Tabla 4. Descripción de las variables de los diseños de experimentos 1 y 2.

Fuga interna			
Variable	Característica crítica	Descripción	Falla potencial
Válvula 2959-50		La válvula 2959-50 se encuentra en una zona de sello entre dos componentes y la falta de material, relieves, marcas es una condición crítica al ensamble.	Fuga por la parte superior del filtro regulador.
Método de ensamble del asiento de válvula		Propuesta de un método de ensamble que asegure un posicionamiento de los componentes.	Fuga no visible interna no visible en el filtro regulador externamente.
Método de ensamble del vaso		Propuesta de mejora del ensamble de "válvula manual" en el vaso para no dañar las cuerdas del vaso.	Fuga alta en el drenado del vaso del vaso manual.
Fuga externa			
Variable	Característica crítica	Descripción	Falla potencial
Método de prueba del cosmo		Mejora en secuencia de prueba del cosmo en base al diseño del producto.	El valor de fugas externas es más alto.
Poste del diafragma		El estado y/o superficie del poste es crítico para sellar con la válvula 2959-50.	Fuga por el puerto de alivio en la parte superior del filtro regulador.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Planear (P)

Esta fase comprendió la formación del equipo de trabajo, la definición de los objetivos en base al análisis del problema, así como el cronograma de actividades con responsables que fue la guía base del proyecto y la forma en cómo el proyecto impacto a la empresa. El proyecto integro un equipo de trabajo con personal de 4 áreas dentro de IMI PE; producción, ingeniería, calidad y mejora continua.

En el periodo de análisis de productividad de B07, la tendencia de FPY presento inestabilidad en sus métricos, afectando también consecutivamente el OEE y eficiencia del mismo. El FPY ha tenido picos en su tendencia, y los fallos reportados del periodo se reportaron retrabajos de diversos componentes, problemas de calidad y variación en diferentes métodos de ensamble. En la figura 20 se observa un histograma de FPY diarios, graficados de octubre a diciembre del 2014, en el cuál podemos observar la tendencia central de los datos localizados entre 70% y 80%. En el mes de octubre el PPY fue de 72.7%, noviembre 76% y el mes de diciembre con un 69.8% de promedio mensual.

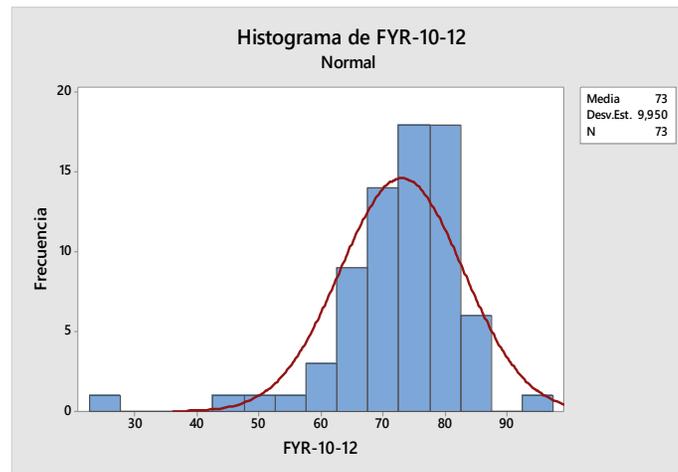


Figura 19. Histograma del desempeño de FTY en B07 de octubre a diciembre del 2014.

Se observa un proceso descentrado o un sesgo a la izquierda con mucha variabilidad. Teniendo en cuenta que aun cumpliendo con las especificaciones del producto, si el proceso no está centrado, la calidad producida no es la adecuada, ya que entre más se aleje del optimo se tendrá una mayor mala calidad (Gutiérrez Pulido, Humberto. Vara Salazar, 2004). Por ello, es necesario realizar ajustes o cambios para centrar dicho proceso.

Tabla 5. Media y desviación estándar de PFY octubre a diciembre del 2014.

Mes	Desviación estándar	Media
Octubre	11.0	72.7
Noviembre	5.5	76.0
Diciembre	11.9	69.8

Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la variación en el proceso (Escalante and Vázquez, 2006). La desviación estándar mide estadísticamente la diferencia entre el FPY y promedio de FPY calculado. La tabla 5 muestra, la desviación estándar y la media de los meses tomados para analizar la situación actual de B07, la media está muy por debajo del promedio objetivo del promedio que es del 90%.

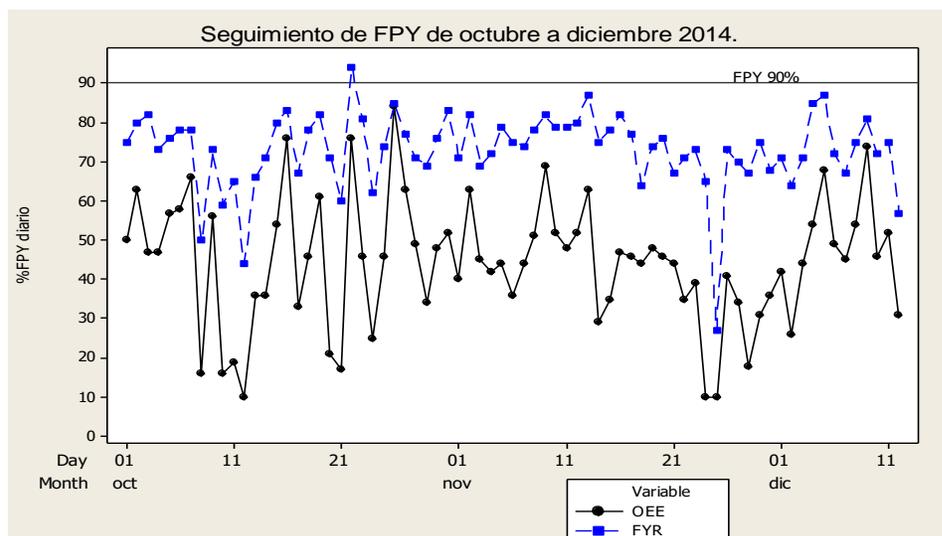


Figura 20. Seguimiento de FPY de octubre a diciembre del 2014.

Y como se muestra en la figura 21, la tendencia en este periodo comprendido, teniendo marcada en la misma el nivel de FPY objetivo, se alcanzó en una ocasión en los tres meses analizados.

Como parte del proyecto y de las pruebas posteriores es indispensable primero conocer la certeza e incertidumbre que tienen los equipos con respecto a la precisión y linealidad. Para ello, se realizó un estudio de bias al torquímetro usado en un ensamble del producto, y al flujometro usado como prueba final de los filtros reguladores.

El estudio R&R fue del tipo cruzado pues se deseaba estimar la variación total del proceso es causada por el sistema de medición, y no directamente por el operador o las piezas pues no se considera un factor clave en el ensamble de filtros reguladores.

Como se puede observar en la tabla 6, es el anova del sistema de medición de fuga interna, y se puede observar que las piezas son significativas con un valor $P < 0.00 < 0.05$, y los datos muestran que los operadores no son significativos en dicho análisis. Y para el caso de fuga externa igualmente sólo se consideran significativas la variación entre las piezas como muestra en la tabla 7.

Tabla 6. ANOVA de R&R cruzado para fuga interna.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Partes	9	25.8291	2.86990	111.396	0.000
Operadores	2	0.0308	0.01540	0.670	0.524
Partes*Oper	18	0.4137	0.02299	0.838	0.647
Repetitividad	30	0.8229	0.02743		
Total	59	27.0965			

Tabla 7. ANOVA de R&R cruzado para fuga externa.

Fuente	DF	SS	MS	F	P
Partes	9	14.6790	1.63100	65.5182	0.000
Operadores	2	1.1707	0.0836	3.4288	0.055
Partes*Ope	18	0.4481	0.02489	0.4249	0.975
Repetitividad	30	1.7577	0.05859		
Total	59	17.0555			

En donde: DF: grados de libertad, SS: suma de cuadrados, MS: cuadrados medios, F: f de Fisher y P es el P-value o valor P.

La contribución de los índices P/T Y VE/Var T el cociente de cada componente de varianza con respecto a la varianza total, este índice provee una interpretación en la escala de varianzas y debe ser de 10% para considerarse aceptable (Gutiérrez Pulido, Humberto. Vara Salazar, 2004). De acuerdo a este criterio:

$$n_c (\text{interna}) = \sqrt{2} \left(\frac{\sigma_{\text{parte}}}{\sigma_{\text{R\&r}}} \right) = \sqrt{2} \left(\frac{0.6884}{0.1605} \right) = 6.06$$

El % de contribución de fuga interna es de 6.06, por lo que el instrumento de medición para medir el flujo de las piezas en fuga interna se considera con que tiene una resolución adecuada.

$$n_c (\text{externa}) = \sqrt{2} \left(\frac{\sigma_{\text{parte}}}{\sigma_{\text{R\&r}}} \right) = \sqrt{2} \left(\frac{0.0479}{0.2641} \right) = 0.2564$$

Y en el caso de fuga externa el % de contribución es de 0.2564, que también se considera un % de contribución aceptable para la resolución esperada.

4.2 Hacer (D)

En el desarrollo de la experimentación, se seleccionaron las respuestas de este mismo diseño, y se separaron cada una de las respuesta para su análisis, cada una respuesta independiente de la otra, dadas por el mismo proceso.

Los diseños de experimentos y variables involucrados detallados en el capítulo 3. El análisis de información de estos diseños de experimentos será en base a las siguientes respuestas:

- X1= Fuga interna en sccm. X2= Fuga externa en sccm.

Utilizando el paquete de diseño de experimentos en R, “Alg Design”, proponiendo los factores ya mencionados, el diseño de experimentos propuesto por el software, se analizaron como se muestra en la tabla 8, el valor de eficiencia para cada una de las corridas propuestas con el objetivo de minimizar los efectos indeseables resultantes en el modelo. Por lo cual seleccionaremos la corrida con un diseño de experimentos con una eficiencia mayor (0 a 1), para eliminar esas correlaciones que afectan la respuesta en un diseño.

Tabla 8. Eficiencias mediante el algoritmo de Fedorov para número de corridas propuestas. AlgDesign. R.

Corridas	Eficiencia
6	0.5194092
8	1
10	0.7175476
12	0.7405502
14	0.880547
18	0.8463467
20	1
24	1
26	0.8940525
28	0.800285
31	0.6943475

El método de programación para ello, se muestra en el apéndice 3, en el cuál se propuso una corrida de 32 factores mediante el algoritmo de Fedorov, para el diseño ya creado: Como se puede observar en el modelo, el valor de D es 0.997 muy cerca de la unidad, haciendo de este un valor de casi una unidad de eficiencia. Como se muestra en la figura 20, la gráfica de la eficiencia de cada uno de las corridas propuestas en AlgDesign, las corridas con mayor eficiencia son las 26,28 y 15 corridas.

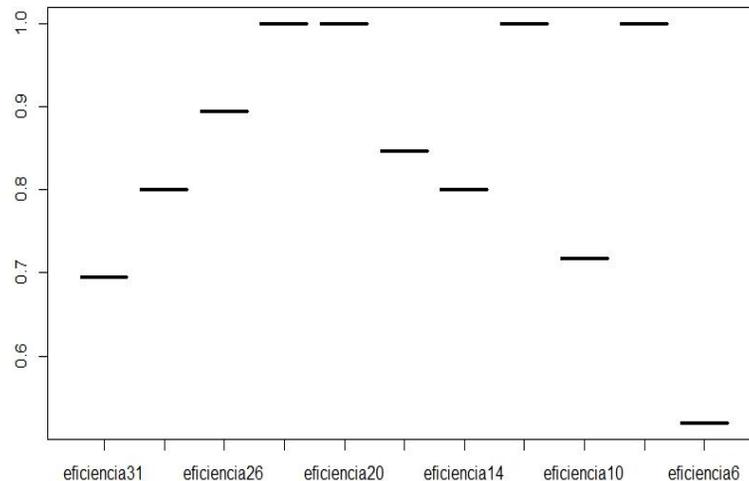


Figura 21. Boxplot de eficiencias para cada una de las corridas propuestas. Alg Design R.

Como se puede observar en la figura 20, la eficiencia de cada una de las corridas y la tendencia de las mismas en el aumento y disminución de las corridas, y con un 0.89400525. Con un d-optimal del 0.994 de eficiencia con 26 corridas, en base a la optimización del algoritmo de Fedorov, se eligió el modelo de 26 corridas.

Los resultados de esas 26 corridas se puede observar en la tabla 9. Cabe mencionar que algunas de las respuestas para fuga externa, no es imposible predecir su respuesta pues el cosmos, dentro de la secuencia del equipo, realiza la primer prueba funcional de fuga interna, y si esta excede 4 sccm, ya no es

posible realizar la siguiente prueba, por cual se agregó una repetición para tener más información acerca de fuga externa.

Tabla 9. Diseño de experimentos con respuestas, fuga interna y externa.

Corrida	prueba	valvula	poste	metvaso	metasi	FI	FE
1	-1	-1	-1	-1	-1	0,38	0,76
2	1	-1	-1	-1	-1	2,29	5,35
3	1	1	-1	-1	-1	38,7	
4	-1	-1	1	-1	-1	11,13	
5	1	-1	1	-1	-1	0,38	1,01
6	-1	1	1	-1	-1	26,6	
7	1	1	1	-1	-1	0,41	0,74
8	-1	-1	-1	1	-1	0,39	0,81
9	-1	1	-1	1	-1	38,7	
10	1	1	-1	1	-1	0,41	1,07
11	-1	-1	1	1	-1	0,37	0,76
12	1	-1	1	1	-1	0,34	86,3
13	-1	1	1	1	-1	36,2	
14	1	1	1	1	-1	38,7	
15	1	-1	-1	-1	1	0,44	1,1
16	-1	1	-1	-1	1	31,8	
17	1	1	-1	-1	1	0,37	0,96
18	-1	-1	1	-1	1	0,45	0,83
19	1	-1	1	-1	1	0,39	0,88
20	-1	1	1	-1	1	0,59	
21	-1	-1	-1	1	1	0,39	86,3
22	1	-1	-1	1	1	0,45	1,06
23	-1	1	-1	1	1	0,35	0,94
24	1	-1	1	1	1	0,38	1,09
25	-1	1	1	1	1	0,77	0,73
26	1	1	1	1	1	0,34	1,06

Observando la figura 22, el análisis de la varianza teniendo como respuesta el valor de fuga interna; la significancia de los coeficientes, se observa que los coeficientes de la válvula y el método de asiento son los que más están afectando al total.

```

Call:
lm(formula = FI ~ prueba + valvula + poste + metasi + metvaso,
    data = tabla1)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-19.5619  -9.4578  -0.1876   6.9454  20.7097

Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)   8.5651     2.5015   3.424  0.00269 **
prueba       -1.9535     2.5015  -0.781  0.44399
valvula       7.4385     2.5015   2.974  0.00751 **
poste        -0.9908     2.5015  -0.396  0.69625
metasi       -5.5051     2.5015  -2.201  0.03967 *
metvaso      -0.5740     2.5015  -0.229  0.82084
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 12.69 on 20 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4243, Adjusted R-squared:  0.2803
F-statistic: 2.948 on 5 and 20 DF,  p-value: 0.03749

```

Figura 22. Análisis de datos de fuga interna en minitab.

También observamos que hay dos factores significativos dentro del modelo de respuesta para fuga interna, la válvula y el método de ensamble de asiento como se observa en la tabla 10. R cuadrada y R ajustada, son bajas que indica la información de los factores no explica todo el modelo, pero realizando iteraciones al mismo modelo descartando factores no significativos como el poste o el método de ensamble del vaso, no mejoro en gran medida R cuadrada, se considerara aceptable 0.4243, ajustada 0.2803.

Tabla 10. Análisis de la varianza para fuga interna.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Prueba	1	98.13	98.13	0.61	0.444
Válvula	1	1422.80	1422.80	8.84	0.008
Poste	1	25.24	25.24	0.16	0.696
Met vaso	1	8.47	8.47	0.05	0.821
Met asiento	1	779.29	779.29	4.84	0.040
Error	20	3218.19	160.91		
Total	25	5589.66			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
12,6850	42,43%	28,03%	2,41%		

El valor de poder de la prueba de cada uno de los factores significativos, es 1 y 0.99 respectivamente, por lo que los datos sugieren en relación a la información proporcionada por el anova de una vía que es un buen modelo, y la probabilidad de cometer el error del tipo 2 es casi nula.

En la figura 23 se observa la significancia de los dos valores significativos y de las distintas combinaciones analizadas en el modelo.

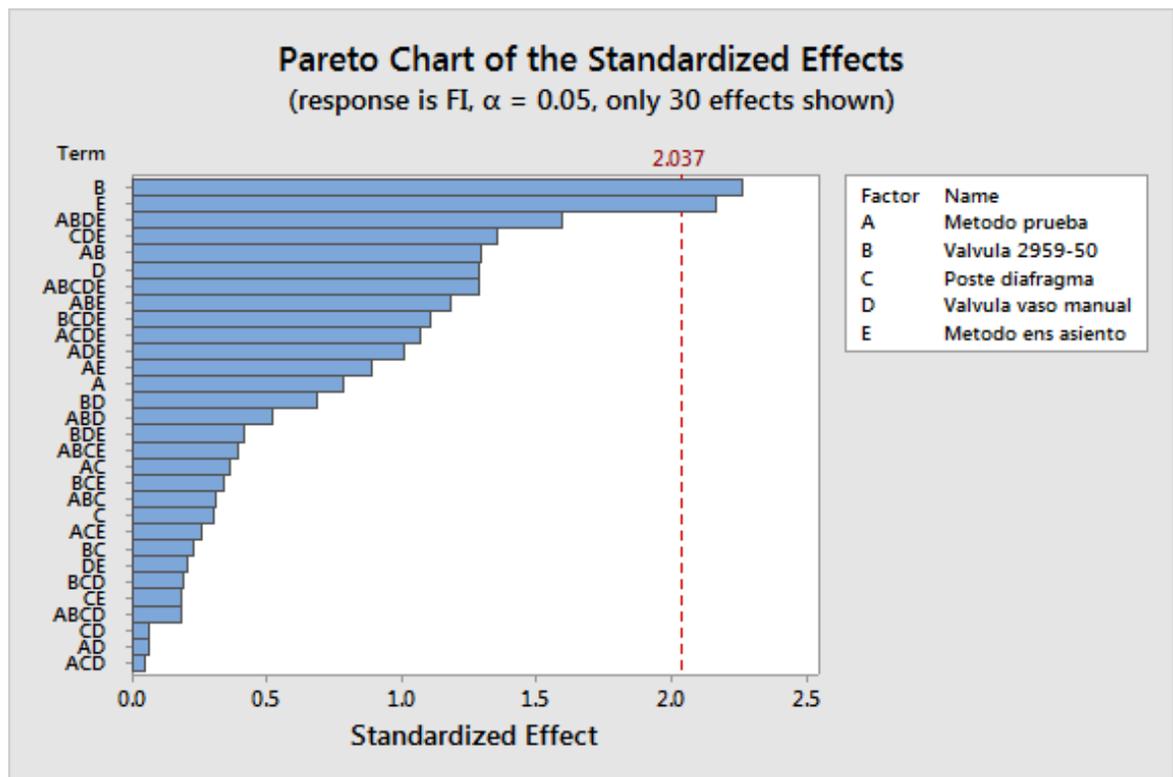


Figura 23. Gráfica de efectos del diseño de experimentos.

Los residuales se ajustan a una tendencia de normal en la mayoría de sus puntos graficados, Como se observa en la figura 24.

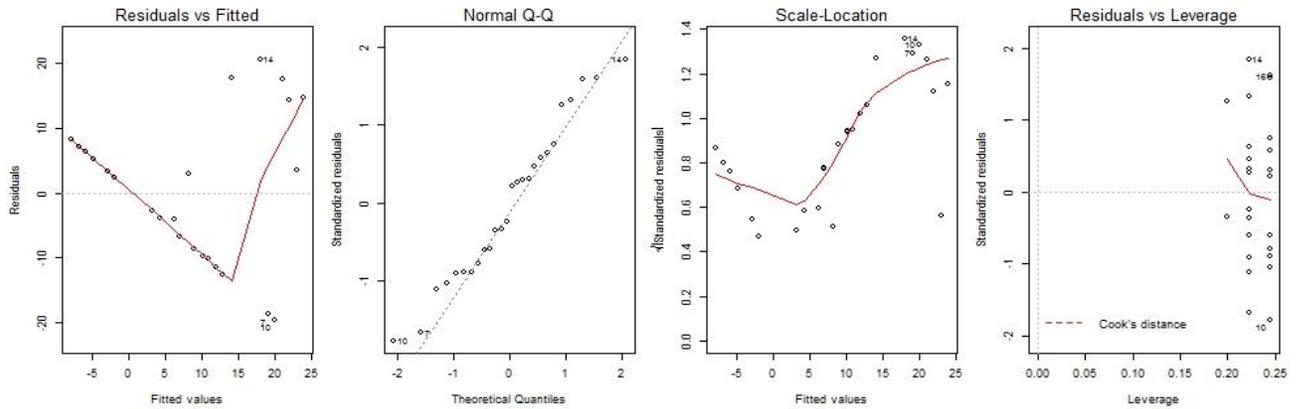


Figura 24. Normalidad de los residuales para fuga interna.

Con el mismo diseño de experimentos pero ahora realizando un análisis de respuesta de fuga interna como se muestra en la tabla

Tabla 11. Análisis de la varianza para fuga externa.

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Prueba	1	30.5	30.46	0.04	0.854
Válvula	1	1200.6	1200.57	1.39	0.262
Poste	1	3.3	3.29	0.00	0.952
Met vaso	1	1616.3	1616.34	1.87	0.197
Met asiento	1	15.0	16.99	0.02	0.898
Error	12	10391.2	865.93		
Total	17	12894.3			
S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)		
29,4267	19,41%	0,00%	0,00%		

Para el modelo de fuga externa no existen factores significativos que nos ayude a elegir factores significativos. Se asocia a que los componentes están relacionados con la fuga interna de las piezas, y con los valores no pude medir el

cosmos para la realización de la prueba. Así también a la falta de algunas repeticiones que no fueron evaluados para medir el valor de fuga externa.

Como se puede observar en la figura 24, no se encuentra sesgo significativo entre los factores analizados, aunque de cada factor, sus niveles si causan una diferencia significativa. Los más significativos que se ven afectados por sus niveles son el método de ensamble nuevo y actual y una válvula ok y no ok, como niveles.

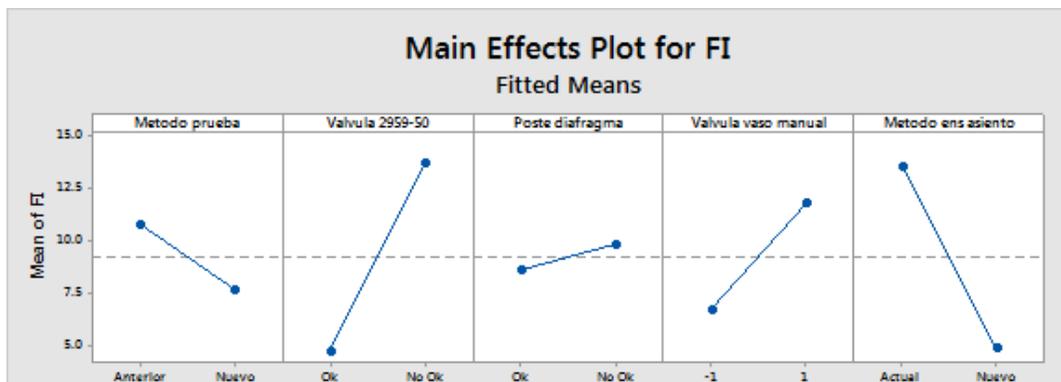


Figura 25. Efectos principales de diseño de los 5 factores analizados.

4.3 Verificar (C)

Se realizó una corrida de confirmación con los valores identificados como significativos en los modelos analizados, teniendo como variables optimas o mejor combinación de variables como se muestra en la figura 26, la gráfica de cubo con un promedio de 0.38 sccm.

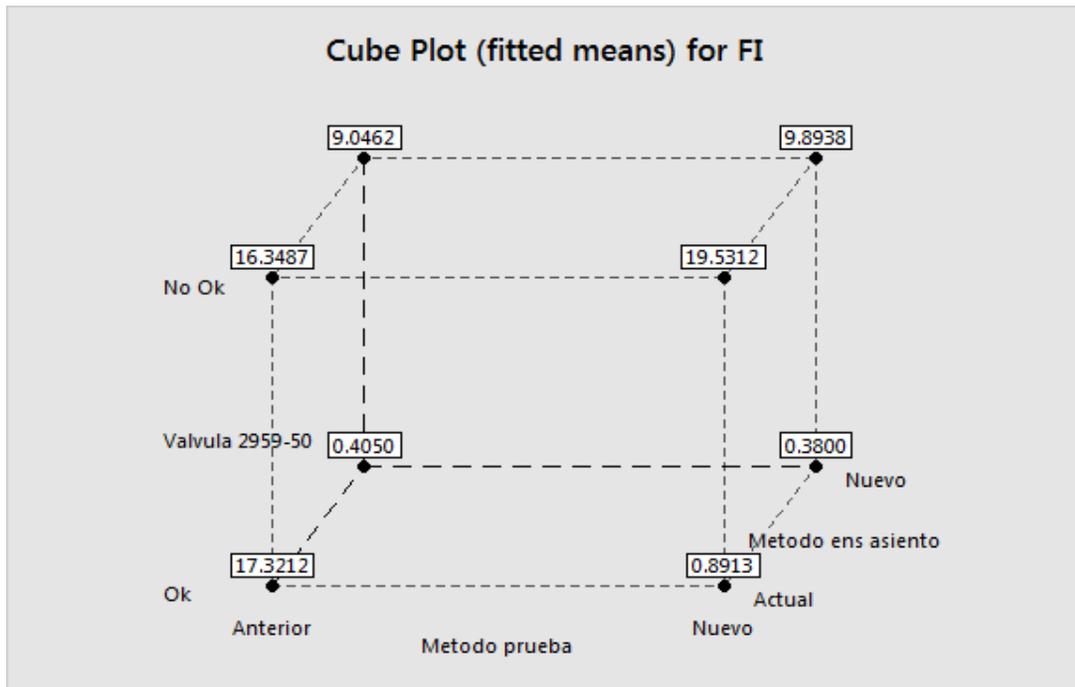


Figura 26. Grafica de cubo con las condiciones óptimas de ensamble.

La corrida de confirmación de 30 piezas teniendo como principales factores y óptimos obtuvo un FPY del 100%, obteniendo como variables críticas u óptimas las variables son:

- El método de ensamble nuevo (Factor significativo)
- Válvula “ok”
- Poste de diafragma “ok” (Aunque no se observe una diferencia muy significativa)
- Método de ensamble de válvula manual nuevo.
- Método de ensamble de asiento de válvula nuevo. (Factor significativo)

4.4 Actuar (A)

Teniendo establecidas y corroboradas las variables críticas en el ensamble de filtros reguladores miniatura, se involucró al equipo correspondiente de trabajo

para elegir la solución más viable para el control de los mismos dirigida a eliminar la causa raíz del problema.

Teniendo en cuenta, que la solución para garantizar cada variable cuenta con los criterios de costo, factibilidad, impacto sobre causa y efecto secundario.

Tabla 12. Acciones tomadas para reducir la variación

	Causa	Descripción
1	Dispositivo de medición dañados o inadecuados	1.- Se incluyen aspectos críticos del cosmo al mantenimiento preventivo semanal del área de mantenimiento 2.- Se realizó una recalibración de los equipos en base a pruebas de laboratorio. 3.- Se ajustó cosmos y secuencias en base a método de prueba de diseño
2	Falta de capacitación y desconocimiento de la operación.	1.- Se capacito al personal operativo sobre el producto y sus aplicaciones prácticas. 2.- Se brindó capacitación sobre zonas críticas en los componentes y contaminación de los mismos. 3.- Se les brindo nuevo herramental para los nuevos métodos de ensamble. 4.- Se realizó una instrucción y ayudas visuales del trabajo y retrabajo de la operación.
3	Falta de seguimiento	1.- Se elaboró un registro de las fallas del producto, así como todas las acciones que se realizaron para cada falla para uso de lecciones aprendidas.
4.	Calidad en componentes	1.- Se realizó un muestrario de defectos de la válvula 2959-50, para ser enviado al proveedor, para su inspección. 2.- Se fijaron estándares de calidad para no aceptar componentes en mal estado por parte del personal operativo y pasar directamente a materiales no conformes.

Las acciones tomadas tuvieron un seguimiento por parte de los supervisores de producción, así como parte del equipo de trabajo a través de revisiones aleatorias de las áreas de ingeniería, calidad y producción.

En el mes de mayo del 2015, las acciones realizadas para la eliminación de la variación en los componentes críticos como se muestra en la figura 26, permitieron a B07 alcanzar un FPY del 92.08% mensual y el aumento fue progresivo en el mes de junio.

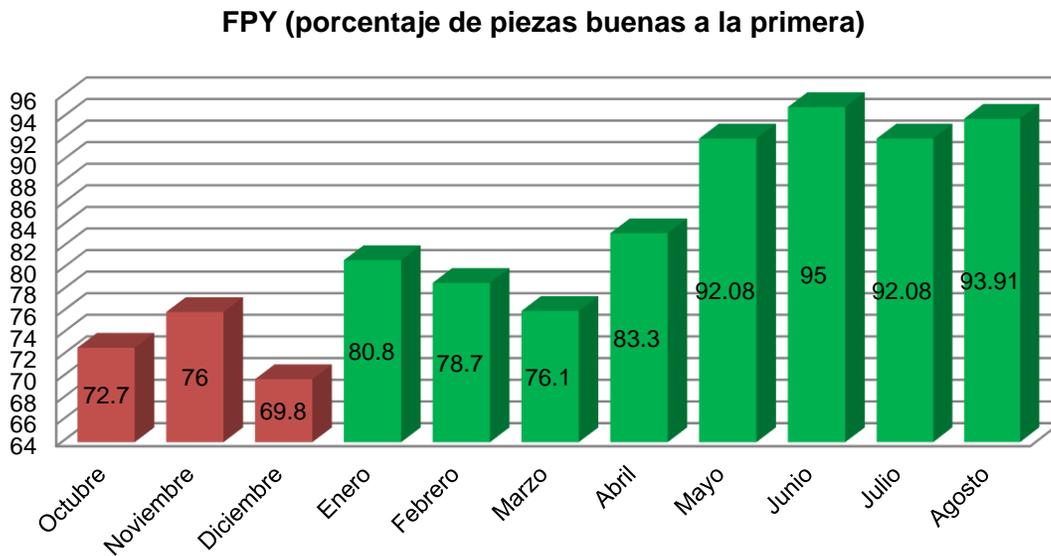


Figura 27. FPY como parte de las mejoras de B07.

Teniendo en cuenta los cambios al proceso, se revaluaron los límites de control central y superior de B07 identificados en la carta de control, con el fin de aumentar el grado de certeza y monitoreo del proceso, con un mes de evaluación del porcentaje de defectos, el valor central de proceso redujo 14% a 7%.

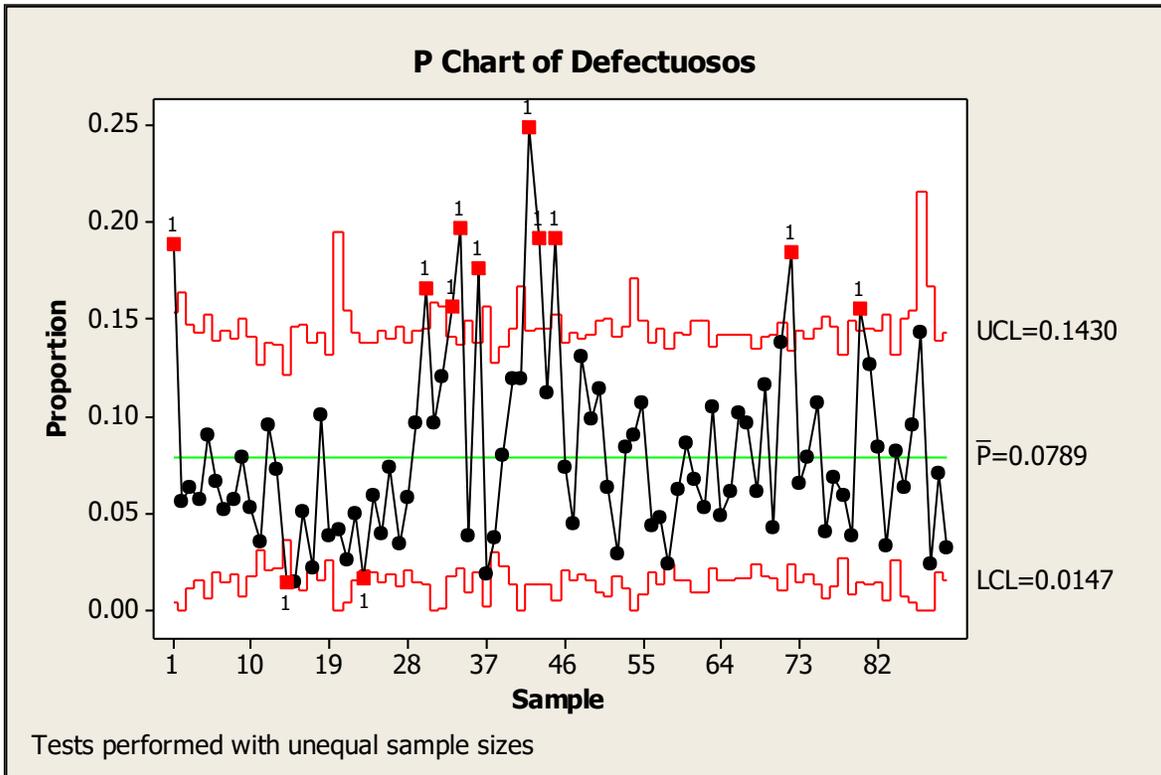


Figura 28. Carta de control P calculada después del seguimiento de las acciones en B07.

El límite superior de control redujo de 24% de defectuosos permisibles a 14%, para el seguimiento y control de los defectos.

Con el desarrollo de esta aplicación, PDCA fue adecuado para el proceso como una estrategia de mejoramiento de la calidad y productividad, en el ámbito de los procesos de ensamble de filtros reguladores miniatura.

5. CONCLUSIONES

Como resultado de este proyecto se puede concluir la importancia de contar con una metodología robusta que lleve al proyecto de ingeniería de calidad a un proceso de pasos sistematizados que permitan el completo desarrollo del mismo pues el análisis del proceso en el estado actual, sistema de medición, experimentación y control del proceso fueron primordiales para el éxito del mismo.

En la etapa de planeación se determinó la incertidumbre que tiene el equipo de medición de la prueba final. El cosmo fue uno de los principales factores de variación en el proyecto, y el cuál requirió ajustes previos. Para la prueba de fuga interna el valor de variación total entre piezas es de 94.85%, dejando solo 5.14% de variación en el sistema de medición con una clasificación del proceso de 6, que muestra un sistema aceptable al distinguir las variaciones entre piezas. Para fuga externa la variación de partes es de 84.64% y en el sistema de medición de 15.36%, teniendo una clasificación de 3, que es medianamente aceptable para distinguir la variación entre partes con base a (AIAG, 2002). Y para el seguimiento y control de las variaciones en el sistema de medición en las pruebas finales se establecieron planes de mantenimiento, control de cambios en la secuencia y un plan de calibración por parte del área de metrología.

En el diseño óptimo de experimentos realizo con un d-optimal del 0.994 de eficiencia con 26 corridas para 5 factores y 2 niveles, en base a la optimización del algoritmo de Fedorov, concluyendo lo siguiente: en el análisis de fuga interna se obtuvieron 2 factores significativos que son la válvula 2959-50 y el método de ensamble de la válvula y el sientto de válvula. En el análisis de la varianza se obtuvo un R^2 de 40.13% y un R ajustada de 34.93%, los datos sugieren que los datos no explican en su totalidad el modelo y existen fuentes de variación o de error en el mismo.

Para el caso de fuga externa, los datos no sugieren factores significativos para ninguno de los factores evaluados, esto, se asocia con la falta de algunas combinaciones que no fueron medidas por motivo del paro de la secuencia en el cosmos cuando la pieza presenta fuga interna, por lo cual, el modelo cuenta con un R^2 de 19.41% es decir, que existe mucha variación que no explica el modelo y los factores del mismo.

Se concluye con la información presentada, que los datos sugieren en base a la hipótesis planteada que no se rechaza la hipótesis nula, ya que el proceso de prueba de los filtros reguladores miniatura si permite distinguir las variaciones entre componentes y métodos de ensamble pudiendo diferenciar estadísticamente factores significativos en sus valores de fuga. Los datos sugieren dentro de los modelos analizados que la mejor condición para ensamblar los filtros reguladores miniatura son el método ensamble del vaso, el control de la válvula 2959-50 con el proveedor, el poste del diafragma, y los métodos de ensamble de la válvula manual en el vaso y el sientto de válvula en el cuerpo.

Se obtuvo una significancia significativa en el caso de los factores críticos ya mencionados en el ensamble por medio de una optimización del diseño de experimentos, mediante el algoritmo de Fedorov, disminuyendo en gran medida el número de repeticiones y corridas del diseño completo fraccionado, teniendo significancia estadística en sus variables.

Mediante la validación del mismo, es decir, una comprobación de los parámetros ideales de proceso de logro un FPY del 100%, es decir, cero defectos, teniendo en cuenta la certificación del material en las condiciones propuestas. Por lo tanto, se concluye como resultado de este proyecto en base a la situación actual de fallas de los filtros reguladores cuáles son las características críticas para el mismo. Una vez establecidas las características críticas y realizadas el plan de acción del mismo, se pudo garantizar que la manufactura de los filtros reguladores pudiera ser repetible y reproducible en las condiciones de

operación óptimas con un nivel de calidad igual y muy por debajo del límite inferior de control.

El estudio realizado en B07, refleja condiciones críticas u óptimas en el caso de piezas con filtros reguladores miniatura para un equipo de pruebas “air leak tester” en específico, teniendo como base un historial de pruebas analizadas en un periodo comprendido de 3 meses, obteniendo resultados satisfactorios en base a los propuestos, sin embargo se sugiere la disminución de la variación en equipos de prueba, así como la ejecución de un diseño de experimentos en específico para fuga externa para obtener mayor correlación operacional de componentes críticos en esta falla en particular. Los datos sugieren que aún existe variabilidad en el modelo analizado y es pertinente, realizar otro estudio para determinar otras posibles variables que se encuentran dentro del proceso, y le generan ruido al modelo.

Existe viabilidad mediante la metodología usada, replicar el proceso de análisis de fallas, así como los controles y procesos implementados, para funcionar como base en el análisis de otros productos similares con problemas de fugas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGUERRA. 2015. Informe mensual de energía eléctrica en Argentina.
2. AIAG, A. 2002. Measurement systems analysis (MSA). Ref. Manual, At. Ind. Action Gr. Third Edit.
3. Backstrand, G. 2009. Information flow and product quality in human based assembly. Loughbrgh. Univ. Institutional Repos.:39.
4. Bates, M., J. Sturges, and B. Hutchinson. 1999. Project Management Techniques and Procedures: A comparison of construction contracting and aircraft manufacture. ... , 1st Conf. CIB TG.
5. Baudin, M. 2002. Lean assembly: the nuts and bolts of making assembly operations flow. New York Product. Press.
6. Baudin, M. 2007. Working with Machines: The Nuts and Bolts of Lean Operations with Jidoka. Productivity Press.
7. Chaffey, N. 1997. Get your organisation fit for project delivery—build a projects culture. Proj. Oct.
8. CNEE. 2010. Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica. In: Agorro de Energía Eléctrica en sistemas de aire comprimido. p. 1–18.
9. Czitrom, V. 1999. One-factor-at-a-time versus designed experiments. Am. Stat.
10. D'Antonio, M., G. Epstein, S. Moray, and C. Schmidt. 2005. Compressed air load reduction approaches and innovations.
11. Escalante, E., and E. Vázquez. 2006. Análisis y mejoramiento de la calidad.
12. García, M., C. Quispe, and L. Ráez. 2003. Mejora continua de la calidad en los procesos. Ind. Data 6:089–094.
13. Gutiérrez Pulido, Humberto. Vara Salazar, R. 2004. Control estadístico de calidad y seis sigma/. Humberto Gutiérrez pulido, coautor Román de la Vara Salazar.
14. Healy, P. 1997. Project Management: Getting the job done on time and in budget.
15. Jiménez, S. de las H. 2003. Instalaciones neumáticas.

16. Juran, J. M., and A. B. Godfrey. 2001. Manual de calidad.
17. Kumar, A. 2014. Implementation of continuous improvement process in injection moulding industry. *Internacional J. Res. Eng. Appl. Sci.* 4.
18. Leiva, G. S. 2007. Diseño e instalación de la red de aire comprimido y rediseño de taller de mecánica y servicios SA.
19. Majumdar, S. R. 1997. *Sistemas neumáticos. Principios y mantenimiento.* McGraw Hill.
20. McAllister, P., J. Dyche, and R. Graves. 2013. Investigation and actions after an internal air compressor filter fire. *Process Saf. Prog.*
21. Orlandoni, G. 2012. Gestión de la Calidad: Control Estadístico y Seis Sigma. *Telos Rev. Estud. Interdiscip. en Ciencias Sociales* 14.
22. Personne, R., and V. Matinlassi. 2014. Part assurance in a mixed-model assembly line: A case study at Scania Engine Assembly in Södertälje.
23. Salvador, A. 1988. *Introducción a la Neumática.* 1ra edición.
24. Sampieri, R., C. Collado, P. Lucio, and M. Pérez. 1998. *Metodología de la investigación.*
25. Sander, P. C., and A. C. Brombacher. 2000. Analysis of quality information flows in the product creation process of high-volume consumer products. c:37–52.
26. SMC Neumática aplicada. 2011. México.
27. Sokovi, M., J. Jovanovi, and A. Vujovi. 2009. Basic Quality Tools in Continuous Improvement Process. *Strojniški Vestn. - J. Mech. Eng.* 55(2009)5, StartPage-EndPage UDC 658.5 55:1–9.

GLOSARIO DE TERMINOS

- ANOVA** Análisis de Varianza (Analysis of Variance)
- AMEF** Análisis de modo y efecto de falla (Failure Mode and Effect Analysis)
- CTQ** Necesidades del cliente (Critical to Quality)
- CFM** Pies cúbicos por minuto (Cubic feet per minute).
- DOE** Diseño de Experimentos (Design of Experiments)
- FPY** Piezas buenas a la primera (First Pass Yield)
- GL** Grados de libertad
- KPI** Indicadores claves de proceso (Key Process Indicators)
- MSA** Análisis del sistema de medición (measurement systems analysis)
- OEE** Eficiencia global del equipo (Overall Equipment Effectiveness).
- P** Valor P (P value)
- R&R** Repetibilidad y Reproducibilidad (Repeatability and Reproducibility)
- SCCM** Estándar cúbico de centímetros por minuto (standard cubic centimeters per minute)
- SS** Suma de cuadrados
- TQM** Sistema de gestión total de la calidad
- VOC** Voz del cliente (Voice Of Customer)

APÉNDICE

Apendice A. Gage R&R cruzado para fuga interna. Minitab 17.

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	25.8291	2.86990	111.396	0.000
Operators	2	0.0308	0.01540	0.598	0.554
Repeatability	48	1.2366	0.02576		
Total	59	27.0965			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.025763	5.15
Repeatability	0.025763	5.15
Reproducibility	0.000000	0.00
Operators	0.000000	0.00
Part-To-Part	0.474023	94.85
Total Variation	0.499786	100.00

Process tolerance = 4

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.160509	0.96305	22.70	24.08
Repeatability	0.160509	0.96305	22.70	24.08
Reproducibility	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Operators	0.000000	0.00000	0.00	0.00
Part-To-Part	0.688493	4.13096	97.39	103.27
Total Variation	0.706955	4.24173	100.00	106.04

Number of Distinct Categories = 6

Probabilities of Misclassification

Joint Probability

Part is bad and is accepted 0.022
 Part is good and is rejected 0.028

Conditional Probability

False Accept 0.116
 False Reject 0.034

Apendice B. Gage R&R cruzado para fuga externa. Minitab 17.

Two-Way ANOVA Table Without Interaction

Source	DF	SS	MS	F	P
Parts	9	14.6790	1.63100	35.4929	0.000
Operators	2	0.1707	0.08536	1.8574	0.167
Repeatability	48	2.2057	0.04595		
Total	59	17.0555			

Gage R&R

Source	VarComp	%Contribution (of VarComp)
Total Gage R&R	0.047923	15.36
Repeatability	0.045953	14.72
Reproducibility	0.001970	0.63
Operators	0.001970	0.63
Part-To-Part	0.264175	84.64
Total Variation	0.312098	100.00

Process tolerance = 3

Source	StdDev (SD)	Study Var (6 * SD)	%Study Var (%SV)	%Tolerance (SV/Toler)
Total Gage R&R	0.218913	1.31348	39.19	43.78
Repeatability	0.214366	1.28620	38.37	42.87
Reproducibility	0.044386	0.26632	7.95	8.88
Operators	0.044386	0.26632	7.95	8.88
Part-To-Part	0.513980	3.08388	92.00	102.80
Total Variation	0.558657	3.35194	100.00	111.73

Number of Distinct Categories = 3

Probabilities of Misclassification

Joint Probability

Part is bad and is accepted 0.040
 Part is good and is rejected 0.059

Conditional Probability

False Accept 0.180
 False Reject 0.076

Apéndice C. Script en R del diseño óptimo de experimentos.

```
#Diseño Optimo de experimentos para vasos de plastico
#Claudia Velazquez

#Cargar librería
library(AlgDesign)

#Creando un diseño para 5 factores y 2 niveles
#prueba, valvula, diafragma, metodo de aisento, metodo de vaso.
#Diseño de 5 factores y 2 niveles
dat<-
gen.factorial(2,5,varNames=c("prueba","valvula","diafragma","metasiento","metvaso"))

#Optimizando y calculando la eficiencia
Optimo1<-optFederov(~.,dat,31)
eficiencia31<-(with (Optimo1, D*A*Ge*Dea))

Optimo2<-optFederov(~.,dat,28)
eficiencia28<-(with (Optimo2, D*A*Ge*Dea))

Optimo3<-optFederov(~.,dat,26)
eficiencia26<-(with (Optimo3, D*A*Ge*Dea))

Optimo3<-optFederov(~.,dat,26)
eficiencia26<-(with (Optimo3, D*A*Ge*Dea))

Optimo4<-optFederov(~.,dat,24)
eficiencia24<-(with (Optimo4, D*A*Ge*Dea))

Optimo5<-optFederov(~.,dat,20)
eficiencia20<-(with (Optimo5, D*A*Ge*Dea))

Optimo6<-optFederov(~.,dat,18)
eficiencia18<-(with (Optimo6, D*A*Ge*Dea))

Optimo7<-optFederov(~.,dat,14)
eficiencia14<-(with (Optimo7, D*A*Ge*Dea))

Optimo8<-optFederov(~.,dat,12)
eficiencia12<-(with (Optimo8, D*A*Ge*Dea))

Optimo9<-optFederov(~.,dat,10)
```

```

eficiencial0<-(with (Optimo9, D*A*Ge*Dea))

Optimo10<-optFederov(~.,dat,8)
eficiencia8<-(with (Optimo10, D*A*Ge*Dea))

Optimo11<-optFederov(~.,dat,6)
eficiencia6<-(with (Optimo11, D*A*Ge*Dea))

eficiencias <-
data.frame(eficiencia31,eficiencia28,eficiencia26,eficiencia24,eficiencia20,eficiencia18,ef
iciencia14,eficiencia12,eficiencia10,eficiencia8,eficiencia6)
View(eficiencias)

#Elección de diseño optimo de experimentos en base a eficiencias
boxplot(eficiencia)
#En la gráfica se observa la tendencia de la eficiencia para cada uno de los números
#de corridas, y con un 0.89400525, se elegira el modelo de 26 corridas

#Diseño optimo de 26 corridas
print (DOE <- optFederov(~.,dat,26))
tabladoe <- data.frame(DOE$design)
View(tabladoe)

#Agregando la respuesta al diseño de experimentos de 26 corridas
tabla<-rango <- read.delim("clipboard")

#ANOVA analisis de respuestas (Las respuestas se separan como interna/externa)
View (tabla)
tabla1<-data.frame(tabla)

#Analizando modelo para fuga interna

Factores<-(lm(FI~prueba+valvula+poste+metasi+metvaso,data=tabla1))
anova(Factores)
summary(Factores)

#graficando el efecto de las respuestas en los factores
par(mfrow=c(2,3))
termplot(Factores, partial=TRUE, smooth=panel.smooth)
par(mfrow=c(2,3))

#V E R I F I C A N D O E L M O D E L O

#1 Poder de la prueba (Para los dos factores significativos)
#Por lo cuál se calcularan anovas para cada uno de los factores significativos

```

```

anova(lm(FI~valvula,data=tabla1))

anova(lm(FI~metasi,data=tabla1))

#Poder de la prueba
power.anova.test(groups = 2, n = 12,
                 between.var = 1480, within.var = 171.24,
                 sig.level = 0.05, power = NULL)

power.anova.test(groups = 2, n = 12,
                 between.var = 763.27, within.var = 201.10,
                 sig.level = 0.05, power = NULL)

#El poder de la prueba en ambos es de 1, por cuál, muestra que la probabilidad de
cometer el error del tipo 2 es casi nula.

#2.- Residuales, (Hacemos 4 graficas en una)
x11(width=7, height=2, pointsize=10)
par(mfrow = c(1, 4), mar=c(5.1,4.1,2.1,1.1))
plot(Factores)
par(mfrow=c(1,1))
#observamos que los residuales si se ajustan a una tendencia normal en la mayoria
de sus puntos.

#3 Homogeneidad de las varianzas
bartlett.test(FI ~ valvula, data=tabla)
bartlett.test(FI ~ metasi, data=tabla)
plot(FI ~ valvula+metasi, data = tabla); #Se observa que los p-values no son
significativos por lo que suponemos homogeneidad de las varianzas.

#4 Significancia de los factores
#Como se puede observar en la tabla de anova, hay dos factores significativos
dentro del modelo de
#respuesta para fuga interna, la valvula y el metodo de ensamble de asiento.

#5.- La significancia de los coeficientes, se puede observar en la tabla de anova,
como los coeficientes de la valvula y el metodo de asiento son los que mas estan afectando
en el total.

#6 R cudrada y ajustada
summary(Factores)
#Multiple R-squared: 0.4243, Adjusted R-squared: 0.2803,

```

```

#Ensayando quitando factores no significativos como el metodo de ensamble del vaso
o el diafragma no aumenta la R cuadrada del modelo, por lo que lo consideraremos como
aceptable. No es ideal, pero es aceptable.
# F U G A      E X T E R N A
#Analizando modelo para fuga externa
Factores2<-(lm(FE~prueba+valvula+poste+metasi+metvaso,data=tabla))
View(tabla)
anova(Factores2)
summary(Factores2)
plot(Factores2)
#Para el modelo de fuga externa no existen factores significativos que nos ayude
a elegir factores significativos,
#Se asocia a que los componentes estan relacionandos con la fuga interna de las
piezas, y con los valores no pude medir el tester para la realizacion de la prueba. la
tendencia de los datos es normal

```

Apéndice D. Análisis de datos para fuga interna.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
prueba	1	98,13	98,13	0,61	0,444
valvula	1	1422,80	1422,80	8,84	0,008
poste	1	25,24	25,24	0,16	0,696
metvaso	1	8,47	8,47	0,05	0,821
metasi	1	779,29	779,29	4,84	0,040
Error	20	3218,19	160,91		
Total	25	5589,66			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,6850	42,43%	28,03%	2,41%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	8,57	2,50	3,42	0,003	
prueba					

Eliminando variables no significativas

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
prueba	1	94,54	94,54	0,62	0,442
valvula	1	1414,38	1414,38	9,21	0,006
poste	1	25,24	25,24	0,16	0,689
metasi	1	779,29	779,29	5,07	0,035
Error	21	3226,66	153,65		
Lack-of-Fit	11	1162,00	105,64	0,51	0,857
Pure Error	10	2064,66	206,47		
Total	25	5589,66			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,3956	42,27%	31,28%	11,23%

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
prueba	1	94,54	94,54	0,62	0,442
valvula	1	1414,38	1414,38	9,21	0,006
poste	1	25,24	25,24	0,16	0,689
metasi	1	779,29	779,29	5,07	0,035
Error	21	3226,66	153,65		
Lack-of-Fit	11	1162,00	105,64	0,51	0,857
Pure Error	10	2064,66	206,47		
Total	25	5589,66			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,3956	42,27%	31,28%	11,23%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
prueba	1	94,54	94,54	0,64	0,432
valvula	1	1414,38	1414,38	9,57	0,005
metasi	1	763,27	763,27	5,16	0,033
Error	22	3251,90	147,81		
Lack-of-Fit	4	883,43	220,86	1,68	0,199
Pure Error	18	2368,47	131,58		
Total	25	5589,66			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,1579	41,82%	33,89%	18,78%

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
valvula	1	1480,0	1480,0	10,17	0,004
metasi	1	763,3	763,3	5,25	0,031
Error	23	3346,4	145,5		
Lack-of-Fit	1	535,4	535,4	4,19	0,053
Pure Error	22	2811,1	127,8		
Total	25	5589,7			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12,0622	40,13%	34,93%	23,76%

Apéndice E. Análisis de datos para fuga externa.

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
prueba	1	30,5	30,46	0,04	0,854
valvula	1	1200,6	1200,57	1,39	0,262
poste	1	3,3	3,29	0,00	0,952
metvaso	1	1616,3	1616,34	1,87	0,197
metasi	1	15,0	14,99	0,02	0,898
Error	12	10391,2	865,93		
Total	17	12894,3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
29,4267	19,41%	0,00%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6,35	7,85	0,81	0,435	
prueba					
-1	-1,40	7,47	-0,19	0,854	1,10
valvula					
-1	8,94	7,59	1,18	0,262	1,07
poste					
-1	0,43	6,99	0,06	0,952	1,01
metvaso					
-1	-10,06	7,37	-1,37	0,197	1,11
metasi					
-1	0,93	7,09	0,13	0,898	1,03

Regression Equation

$$FE = 6,35 - 1,40 \text{ prueba}_{-1} + 1,40 \text{ prueba}_1 + 8,94 \text{ valvula}_{-1} - 8,94 \text{ valvula}_1 + 0,43 \text{ poste}_{-1} - 0,43 \text{ poste}_1 - 10,06 \text{ metvaso}_{-1} + 10,06 \text{ metvaso}_1 + 0,93 \text{ metasi}_{-1} - 0,93 \text{ metasi}_1$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	FE	Fit	Resid	Std Resid	
12	86,3	27,3	59,0	2,44	R
21	86,3	23,4	62,9	2,52	R

R Large residual

General Linear Model: FE versus valvula; poste; metvaso; metasi

Method

Factor coding (-1; 0; +1)
 Rows unused 8

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
valvula	Fixed	2	-1; 1
poste	Fixed	2	-1; 1
metvaso	Fixed	2	-1; 1
metasi	Fixed	2	-1; 1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
valvula	1	1171,2	1171,24	1,46	0,248
poste	1	1,4	1,36	0,00	0,968
metvaso	1	1617,4	1617,40	2,02	0,179
metasi	1	15,8	15,81	0,02	0,890
Error	13	10421,6	801,66		
Lack-of-Fit	8	3119,6	389,95	0,27	0,952
Pure Error	5	7302,1	1460,41		
Total	17	12894,3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
28,3137	19,18%	0,00%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6,76	7,24	0,93	0,368	
valvula					
-1	8,76	7,24	1,21	0,248	1,05
poste					
-1	0,27	6,67	0,04	0,968	1,00
metvaso					
-1	-9,69	6,82	-1,42	0,179	1,03
metasi					
-1	0,96	6,82	0,14	0,890	1,03

Regression Equation

$$FE = 6,76 + 8,76 \text{ valvula}_{-1} - 8,76 \text{ valvula}_1 + 0,27 \text{ poste}_{-1} - 0,27 \text{ poste}_1 - 9,69 \text{ metvaso}_{-1} + 9,69 \text{ metvaso}_1 + 0,96 \text{ metasi}_{-1} - 0,96 \text{ metasi}_1$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	FE	Fit	Resid	Std Resid	R
12	86,3	25,9	60,4	2,49	R
21	86,3	24,5	61,8	2,51	R

R Large residua

General Linear Model: FE versus valvula; poste; metvaso

Method
 Factor coding (-1; 0; +1)
 Rows unused 8

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
valvula	Fixed	2	-1; 1
poste	Fixed	2	-1; 1
metvaso	Fixed	2	-1; 1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
valvula	1	1236,9	1236,94	1,66	0,219
poste	1	1,4	1,36	0,00	0,967
metvaso	1	1602,4	1602,37	2,15	0,165
Error	14	10437,4	745,53		
Lack-of-Fit	4	706,8	176,70	0,18	0,943
Pure Error	10	9730,6	973,06		
Total	17	12894,3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
27,3044	19,05%	1,71%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6,62	6,91	0,96	0,355	
valvula					
-1	8,90	6,91	1,29	0,219	1,03
poste					
-1	0,27	6,44	0,04	0,967	1,00
metvaso					
-1	-9,61	6,56	-1,47	0,165	1,03

Regression Equation

$$FE = 6,62 + 8,90 \text{ valvula}_{-1} - 8,90 \text{ valvula}_1 + 0,27 \text{ poste}_{-1} - 0,27 \text{ poste}_1 - 9,61 \text{ metvaso}_{-1} + 9,61 \text{ metvaso}_1$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	FE	Fit	Resid	Std Resid	
12	86,3	24,9	61,4	2,51	R
21	86,3	25,4	60,9	2,49	R

R Large residual

General Linear Model: FE versus valvula; metvaso

Method

Factor coding (-1; 0; +1)
 Rows unused 8

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
valvula	Fixed	2	-1; 1
metvaso	Fixed	2	-1; 1

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
valvula	1	1236,9	1236,9	1,78	0,202
metvaso	1	1602,4	1602,4	2,30	0,150
Error	15	10438,8	695,9		
Lack-of-Fit	1	704,8	704,8	1,01	0,331
Pure Error	14	9734,0	695,3		
Total	17	12894,3			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
26,3803	19,04%	8,25%	0,00%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value	VIF
Constant	6,62	6,68	0,99	0,338	
valvula					
-1	8,90	6,68	1,33	0,202	1,03
metvaso					
-1	-9,61	6,34	-1,52	0,150	1,03

Regression Equation

$$FE = 6,62 + 8,90 \text{ valvula}_{-1} - 8,90 \text{ valvula}_{+1} - 9,61 \text{ metvaso}_{-1} + 9,61 \text{ metvaso}_{+1}$$

Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	FE	Fit	Resid	Std Resid	
12	86,3	25,1	61,2	2,50	R
21	86,3	25,1	61,2	2,50	R

R Large residual