

Diseño de herramientas para validación simultánea de hermeticidad en procesos de soldadura de amortiguadores automotrices

Design for simultaneous validation of airtightness in welding processes of automotive shock absorbers

Rodolfo Rivera Barbosa^{a*}, José Luis Bravo Nájera^a, Jorge Guadalupe Acevedo Muñoz^a, Miguel Angel Gutierrez Muro^a
Antonio Esparza Garduño^a, Alfredo Chavez Luna^b

^aCiateq, AC. Sede Aguascalientes/Máquinas Especiales. Circuito Aguascalientes Norte 135, Parque Industrial del Valle de Aguascalientes, C.P. 20358, San Francisco de los Romo, Aguascalientes.

^bCiateq, AC. Sede El Marqués, Querétaro/Manufactura Virtual. Av. Manantiales 20, C.P. 76246. Parque Industrial Bernardo Quintana

*rrivera@ciateq.mx

Resumen

El propósito de este artículo es presentar los resultados de la evolución del diseño de herramientas que tienen la función de sellar en ciertas zonas en el tubo de amortiguador y a través de un equipo que mediante diferencial de presión valida la ausencia de fugas que pudieran ser provocadas por los procesos de soldadura al momento de integrar elementos a dicho tubo.

La particularidad de este diseño radica en que la herramienta permite realizar dos pruebas de validación de hermeticidad en paralelo, con esto se logra optimizar los tiempos de proceso; se identificaron las condiciones requeridas en tubos de amortiguador para poder aislar las zonas de riesgo con la restricción de que las herramientas pudiera ser usadas en la máquina probadora que originalmente realiza pruebas de manera individual. Mediante pruebas se validó satisfactoriamente su funcionamiento y con esto evitar el procesamiento en serie para la realización de ambas pruebas.

Abstract

The purpose of this article is to present the results of the evolution of the design of tools that have the function of sealing in certain areas in the buffer tube and through an equipment that by means of pressure differential validates the absence of leaks that could be caused by the welding processes at the moment of integrating elements to the buffer tube.

The particularity of this design lies in the fact that the tool allows performing two hermeticity validation tests in parallel, thus optimizing the process times; the conditions required in buffer tubes were identified in order to isolate the risk areas with the restriction that the tools could be used in the testing machine that originally performs tests individually. By means of tests, their operation was satisfactorily validated, thus avoiding serial processing for the performance of both tests.

Palabras clave:

Prueba de fuga, sellos de poliuretano, doble chequeo de hermeticidad, fuga por soldadura

Keywords:

Leak test, polyurethane seals, double tightness check, welding leak

Introducción

El diseño que aquí se expone surge al identificar los beneficios en tiempo y costo que ofrece la realización simultánea de dos pruebas de hermeticidad que requieren una nueva familia de componentes automotrices (tubos de amortiguador) que su diseño incorpora un nuevo componente mediante uniones soldadas.

Como indica [1], la única manera en que una empresa puede aumentar y hacer crecer sus ganancias es incrementando la productividad y menciona como la principal herramienta el estudio del trabajo; [2] considera que la productividad es el grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar objetivos predeterminados; esto nos indica que la productividad aumentará si los recursos empleados reflejan un mayor rendimiento.

En la referencia [3] se identifica la productividad como un elemento clave en la supervivencia de las empresas. Primero

por el impacto en la rentabilidad, dado que el aumento de los márgenes de productividad suele traducirse en un aumento de la ganancia; y segundo, porque también tiene que ver con el manejo de los recursos de la organización, tales como insumos materiales, energía, capital humano y trabajo; En [4] de manera similar conceptualiza la ineficiencia como la incapacidad de poder cumplir una tarea de una manera óptima, es decir, utilizando la menor cantidad de recursos posibles.

Antecedentes

La falta de hermeticidad es factor crítico para el correcto funcionamiento de struts y amortiguadores; durante la fabricación de estos componentes automotrices se realizan procesos que pueden provocar esta potencial falla, los procesos de soldadura influyen en gran medida debido a la incorrecta aplicación y la porosidad generada; [5] destaca que la porosidad es el defecto más común en todos los procesos de soldadura de metales.

Acorde a [6] la porosidad se genera por la presencia del gas en el cordón de soldadura; en el proceso de soldadura por arco metálico con gas, el flujo inadecuado del gas de protección, las variaciones de voltaje y fluctuaciones en la velocidad de alimentación del alambre son variables que maximizan el problema.

Por lo anterior, es de suma importancia realizar pruebas de validación de hermeticidad en los componentes, para esto en el sector industrial es común el uso de equipos comerciales que mediante el método de presión relativa es posible identificar la existencia de fugas en componentes, para esto se presuriza con aire y el sensor detecta cualquier variación después de una fase de equilibrio, este método se utiliza cuando son volúmenes pequeños, en la siguiente imagen se muestra de manera esquemática la configuración de la prueba.

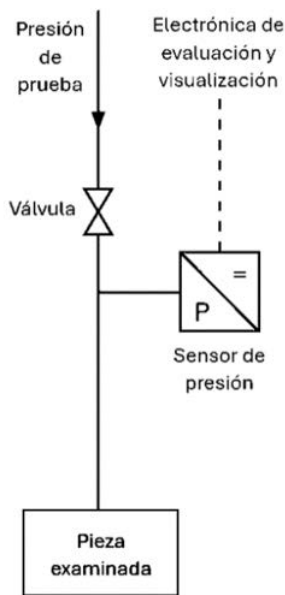


Figura 1 – Modo de prueba en equipos de presión relativa

Las tasas de fuga medidas para cualquier sistema se determinan observando una tasa de aumento de presión en el sistema; las fugas reales que permiten la intrusión de gases externos en el sistema y las fugas virtuales debidas a la desorción de los gases adsorbidos en las superficies internas del sistema [7].

La referencia [8] indica que la presión de contacto es el criterio principal para el rendimiento del sellado de las juntas tóricas con dureza de 15 a 75 Shore A; por lo cual la selección de la junta y la dimensión de la ranura son clave para el sellado requerido.

Metodología

Previo a este desarrollo, la máquina utilizada para validar la hermeticidad solamente realizaba validaciones individuales, esto debido a que a los tubos de amortiguador solamente requerían la validación en la cámara interior del tubo, la nueva familia de componentes incorporan un nuevo elemento (plato) que se une al tubo de amortiguador mediante dos soldaduras en su circunferencia, esto provoca una nueva posibili-

dad de fuga entre el diámetro exterior del tubo y el diámetro interior del plato, lo cual es crítico para el buen funcionamiento del amortiguador.

De no realizarse la prueba de manera simultánea, obliga a duplicar el tiempo ciclo de procesamiento que actualmente es de 16 s, además de los costos que implica colocar una estación de prueba de fuga adicional para mantener el tiempo ciclo del proceso.

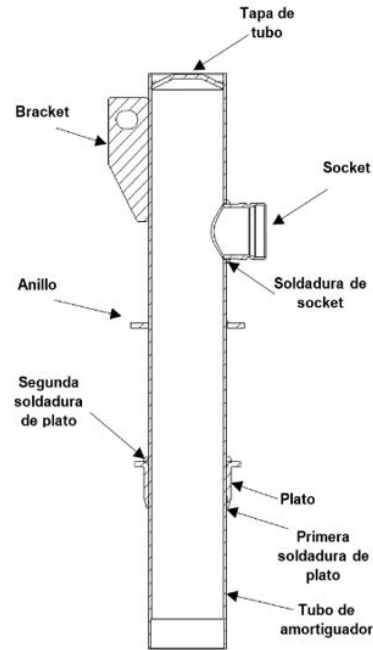


Figura 2 - Geometría característica de la familia de componentes que requieren doble prueba de fuga.

Materiales y métodos

Para este desarrollo se utilizó una metodología práctica de diseño en ingeniería para la conceptualización y diseño, desarrollada por [9]; cuenta con tres fases,

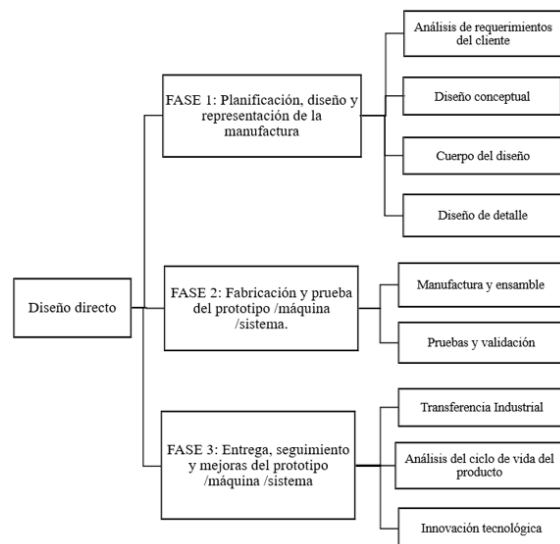


Figura 3 – Metodología de diseño directo.

Resultados

Fase 1: Planificación, diseño y representación de la manufactura

Análisis de Requerimientos del cliente

Como indica la metodología de diseño, se procedió a realizar un análisis de requerimientos, donde se identificaron los siguientes:

1. Carga y descarga manual
2. Adaptar herramientas a estación de prueba actual
3. Considerar equipos JW Froelich MPS200
4. Prueba simultanea de ambos puntos de prueba
5. Tiempo de ciclo: 16 s
6. Modelos a procesar: 3 modelos
7. Comunicación PROFINET y PROFIBUS
8. Considerar los espacios para conservar el grabado con los mismos sistemas
9. Validar posiciones mediante IV-HG300CA

Diseño conceptual

En la Figura 4 se muestra el concepto inicial donde mediante el cual es posible verificar la hermeticidad de los nuevos modelos de componentes en la máquina de prueba existente, y con esto identificar los cambios requeridos para lograr esta actualización.

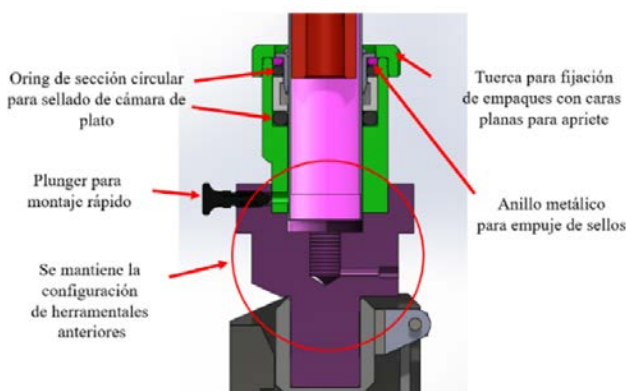


Figura 4 – Concepto inicial de herramienta para prueba simultánea de fuga.

Mediante la conceptualización se lograron identificar nuevos requerimientos como actualización de la máquina:

- Rediseño de porta herramientas (cople poste) para poder procesar los componentes que requieren chequeo doble o simultaneo y chequeo simple.
- Diseño de nuevos pisadores superiores y contras laterales
- Selección de nuevo actuador y modificación del circuito neumático para manejar dos diferentes fuerzas (para chequeo doble y chequeo simple)

Dentro de la misma etapa conceptual, se procedió a prototipar el concepto de la herramienta, esto para conocer la viabilidad de la prueba simultanea; a través la aplicación de la fuerza ejercida por un elemento hidráulico generar los sellos de las cámaras y validar mediante los equipos de prueba de fuga, esto se puede visualizar en la Figura 5.



Figura 5 – Prueba experimental de prototipo para validación de funcionamiento de sellos

Durante las pruebas se observó que los sellos de sección cuadrada ofrecen ventajas sobre los de sección circular, estos últimos requieren mayor desplazamiento del tubo para lograr un sello efectivo, esto es crítico ya que la cámara que se requiere formar está limitada en espacio, además de quedar menos expuestos al daño cuando se alimenta el tubo.

La viabilidad de generar de las cámaras de presión quedó probada desde el prototipo, pero es necesario conocer la viabilidad hacer pruebas simultáneas, ya que existen casos en los que ambas cámaras estén interconectadas, para esto hizo uso de una válvula unida a la salida de ambos equipos de prueba de fuga (Froehlich serie 200); inicialmente se realizaron con presiones iguales y posteriormente con presiones diferentes en cada cámara, esto se puede apreciar en la siguiente tabla:

Tabla 1 – Pruebas para validación de prueba simultánea.

No.	Presión cámara 01	Presión cámara 02	Resultados
1	P1= 1.650 c/f (min:1.2, max:2.0)	P2= 1.650 c/f (min:1.2, max:2.0)	Falsos positivos
2	P1= 1.650 c/f (min:1.2, max:2.0)	P2= 1.650 s/f (min:1.2, max:2.0)	Correctos
3	P1= 1.650 s/f (min:1.2, max:2.0)	P2= 1.650 c/f (min:1.2, max:2.0)	Correctos
4	P1= 1.750 s/f (min:1.2, max:2.0)	P2= 1.650 c/f (min:1.2, max:2.0)	Falsos positivos
5	P1= 1.750 c/f (min:1.7, max:1.8)	P2= 1.650 c/f (min:1.6, max:1.7)	Correctos
6	P1= 1.750 c/f (min:1.7, max:1.8)	P2= 1.650 s/f (min:1.6, max:1.7)	Correctos
7	P1= 1.750 s/f (min:1.7, max:1.8)	P2= 1.650 c/f (min:1.6, max:1.7)	Correctos

Donde: s/f: sin fuga, |c/f: con fuga

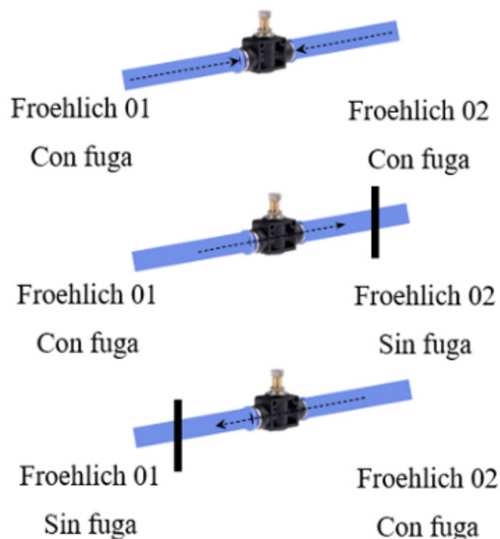


Figura 6 – Modo de simulación de fuga entre cámaras de presión

Las condiciones de fuga se realizaron directamente a la salida de cada equipo de prueba de fuga (Froehlich serie 200), en los cuales de manera manual se realizaba el corte o el paso del fluido, como se indica en la figura 6.

Mediante las pruebas fue posible identificar que al tener presiones iguales es posible correr pruebas secuenciales, no simultáneas, para lograr la simultaneidad se requieren presiones distintas para cada prueba y evitar traslape en los rangos mínimos y máximos.

Cuerpo del diseño

La máquina para prueba de fugas requiere de un set de herramientas que generen cámaras de presión las cuales mediante un equipo comercial para pruebas de fuga bajo el principio de diferencia de presión se realice la validación de hermeticidad.

Tomando en cuenta lo aprendido durante la etapa de prototipado, fue posible completar el diseño de los herramientas y validar los movimientos mediante el software, en la Figura 7 se pueden observar todos los elementos requeridos para realizar la prueba simultánea se muestran los principales elementos requeridos para dichas pruebas.

El herramental para chequeo doble es el elemento clave que permite generar dos cámaras de presión que a partir de la misma fuerza de empuje se logró una prueba simultánea, en la Figura 8 se muestran los componentes principales del herramental mencionado.

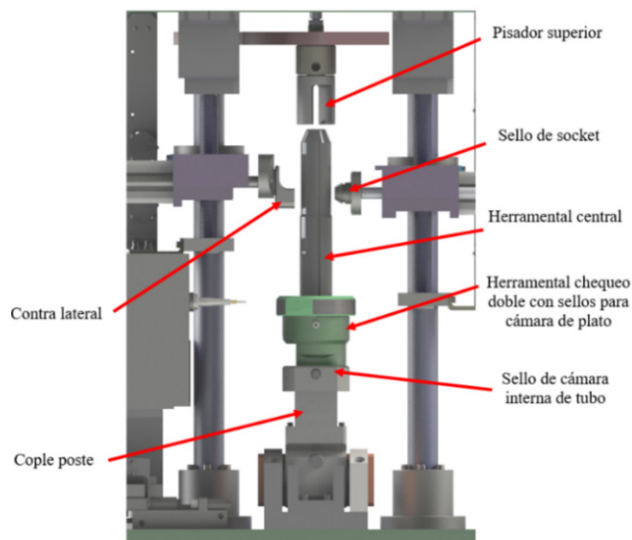


Figura 7 – Principales elementos para la realización de la prueba simultánea

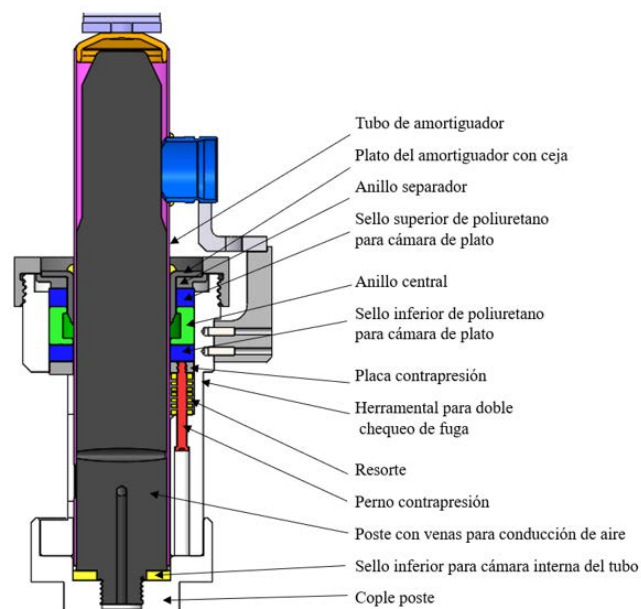


Figura 8 – Principales elementos del herramental para prueba de cámara de plato

El funcionamiento se basa en la secuencia de compresión de los sellos que generan las cámaras de presión, esto se puede observar en la Figura 8.

Para lograr el funcionamiento correcto de los tres sellos mediante la aplicación de la misma fuerza, se requiere determinar las medidas exactas de los elementos del herramental para prueba de fuga simultánea, para esto se realizaron diversos análisis de elementos finitos mediante el software ANSYS Workbench, en los cuales se consideraron diferentes materiales, entre ellos el poliuretano 60 shore A para los sellos, esto debido a las experiencias que se tuvieron durante la etapa de prototipado.

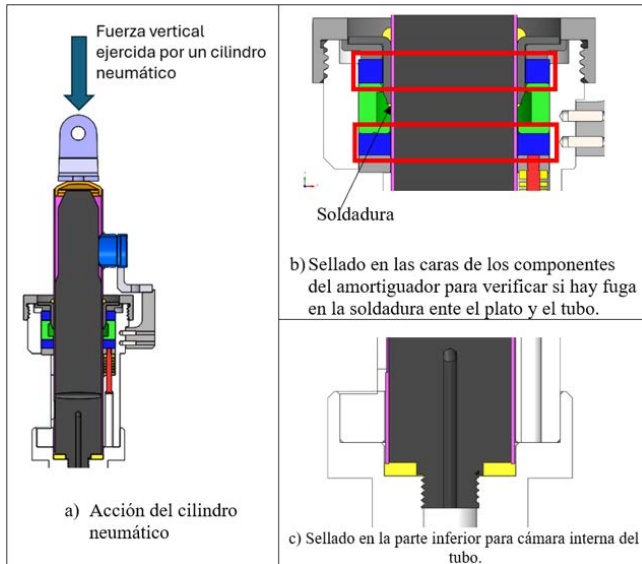


Figura 9 – Secuencia de compresión de sellos

En este artículo se muestran los resultados obtenidos para el poliuretano 60 shore A, en los cuales se valida la compactación y el cierre de ambas cámaras con la fuerza disponible del actuador.

En las Figuras 9 y 10 se muestran las deformaciones obtenidas:

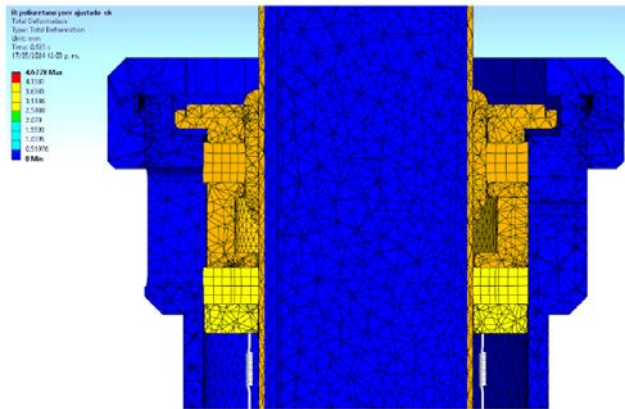


Figura 10 – Deformación de sellos cámara de plato

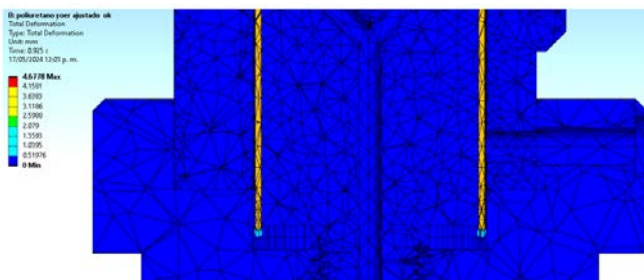


Figura 11 – Deformación de sello cámara de tubo

En la Figura 11 se observa la aplicación de la fuerza que genera el desplazamiento del tubo, lo que provoca que el plato compacte los sellos superior e inferior de cámara de plato, comprimir los resortes y con esto el extremo inferior del tubo

compacta el sello de cámara interna de tubo y lograr generar ambas cámaras para ser procesado mediante los equipos de prueba de fuga acorde a las condiciones que se obtuvieron en el diseño de experimentos mostrados en la tabla 1.

El método de validación de la hermeticidad simple, es decir de la cámara interna de tubo se debe considerar colocar el tubo de amortiguador en el herramental central, activar el sello de socket seguido de la contra lateral y accionar el pisador superior para ejercer una presión en un extremo del componente con una fuerza que logra una deformación determinada del sello de cámara interna de tubo, presurizar dicha cámara alimentando un volumen de fluido a través del interior del tubo mediante las venas del herramental central y mantener la presión del fluido para validar la hermeticidad del componente y liberar la presión.

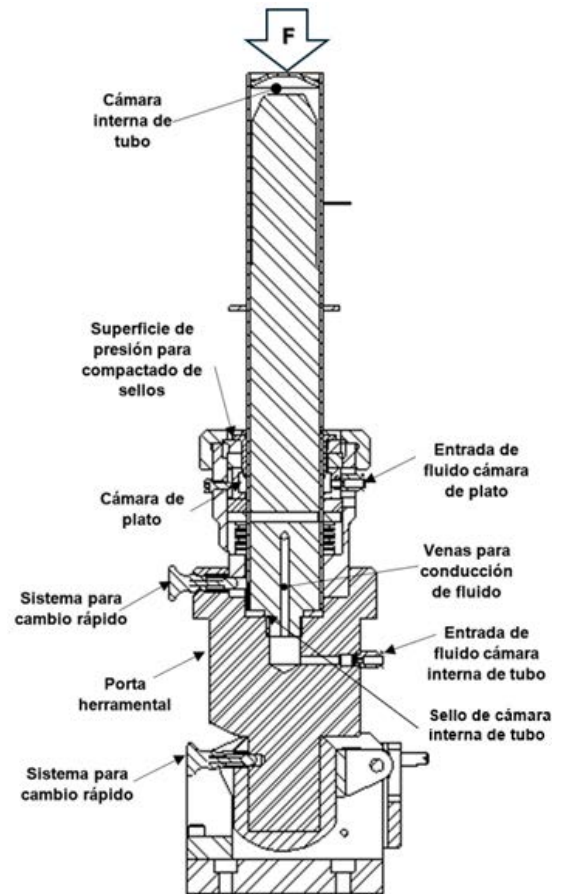


Figura 12 – Esquema general de prueba simultánea

Para la validación de hermeticidad doble o simultánea, de la misma forma se coloca el tubo de amortiguador en el herramental central de modo que el cuerpo de tubo pase libremente a través de los sellos para cámara de plato hasta hacer contacto la ceja del plato con el herramental de chequeo doble y quedar en una posición para validación, al ejercer fuerza el pisador superior se deforman los sellos para cámara de plato y con esto generar las condiciones de prueba de la primer cámara, al seguir avanzando el tubo debido a la compresión de los resortes se alcanza el sello de cámara interna de tubo,

esto de manera secuencial y así formar las dos cámaras de presión (cámara de plato y cámara interna de tubo) mediante el mismo accionamiento.

Hecho esto se suministra el fluido de validación hacia la cámara de presión interna a una presión determinada y se mantiene a una primera presión de validación por un periodo determinado; en caso de que la primera presión no muestre variaciones fuera de límites prestablecidos, se valida que la cámara interna del tubo presenta condiciones herméticas de funcionamiento.

Para la validación de la cámara externa (cámara de plato) se suministra el fluido a una presión determinada y se mantiene a una segunda presión de validación por un periodo determinado, en donde la segunda presión de validación es distinta a la primera presión de validación que se encuentra en la cámara interna del tubo, en caso de que la segunda presión no muestre variaciones fuera de límites prestablecidos, se valida que la unión del plato presenta condiciones herméticas de funcionamiento; el suministro del fluido presurizado en las cámaras de presión se realiza de manera simultánea, sin embargo, esto no limita que la presurización de cada una de las cámaras de presión se realice una después de la otra.

En caso de que la primera presión en la cámara de interna del tubo registra una disminución, se identifica una falta de hermeticidad; en caso de que la segunda presión en la cámara del plato disminuye de límites prestablecidos, se tiene que la unión del plato presenta fuga.

En caso de que la presión máxima que se ha definido para una de las cámaras supera el límite prestablecido para la prueba de validación de hermeticidad, se determina que existe una fuga entre la cámara de presión interna, hacia la cámara de presión externa ya que, por dicha fuga, las presiones en ambas cámaras de presión tienden a equilibrarse. Esta situación se presenta debido a porosidades en la pared del tubo de amortiguador.

En caso que las presiones en las cámaras de presión sea constante en los límites determinados de validación pero el volumen de fluido suministrado a una de las cámaras de presión se incrementa, indica la existencia de fuga entre ambas cámaras de presión que se combina con una fuga presente en alguna de ellas hacia el exterior, es decir, por una fuga entre la unión del casquillo inferior hacia o desde el interior del tubo de amortiguador, combinada con una fuga en la unión ya sea de la tapa del tubo con el cuerpo del mismo o por una fuga en la unión del conector de suministro de fluido.

Diseño de detalle

Como parte de la secuencia de la metodología, posterior al cuerpo del diseño, la ingeniería de detalle consiste en la ge-

neración de todos los planos de ensamble y maquinado que componen los herramientas y los cambios requeridos en la máquina, estos de enlistan en la tabla siguiente:

Tabla 2 – Planos requeridos para cada set de herramientas

Modelo	Ensamble	Descripción de plano
WL Frontal Herramental (PASM29014-7-01210-E)	Herramental para doble chequeo de fuga	PASM29014-7-01211-M
	Anillo central para doble chequeo de fuga	PASM29014-7-01213-M
	Anillo separador	PASM29014-7-01216-M
	Tuerca para sujeción de o-rings	PASM29014-7-01212-M
	Tornillo Anti-giro	PASM29014-7-01215-M
	Sello superior	PASM29014-7-01217-M
	Sello inferior	PASM29014-7-01218-M
WS Frontal Herramental (PASM29014-7-01230-E)	Herramental para doble chequeo de fuga	PASM29014-7-01241-M
	Anillo central para doble chequeo de fuga	PASM29014-7-01213-M
	Anillo separador	PASM29014-7-01234-M
	Tuerca para sujeción de o-rings	PASM29014-7-01232-M
	Tornillo Anti-giro	PASM29014-7-01235-M
	Sello superior	PASM29014-7-01217-M
	Sello inferior	PASM29014-7-01218-M

En la Figura 13 se muestra un plano típico de ensamble

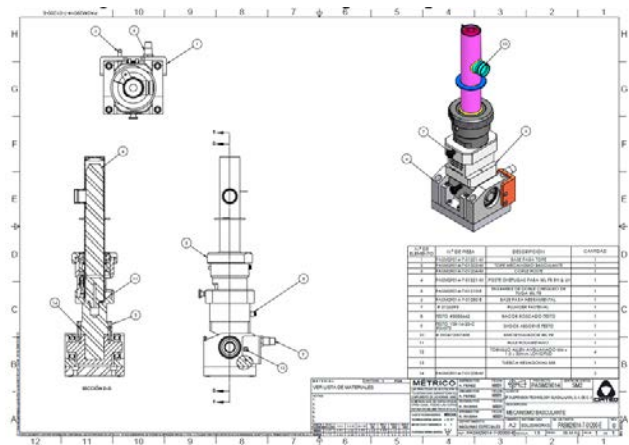


Figura 13 – Plano típico de ensamble

La etapa de diseño de detalle incluye también los listados maestros de planos, partes comerciales y de tornillería, además de los diagramas eléctricos y neumáticos.

Debido a la actualización de la máquina, se procesan componentes para prueba simple y doble ó simultánea, esta última requiere de mayor fuerza y un arreglo al circuito neumático que mediante un nuevo cilindro, un regulador de presión y un arreglo de dos válvulas 5/2 para tener la posibilidad de manejar dos presiones, como se muestra en la Figura 14:

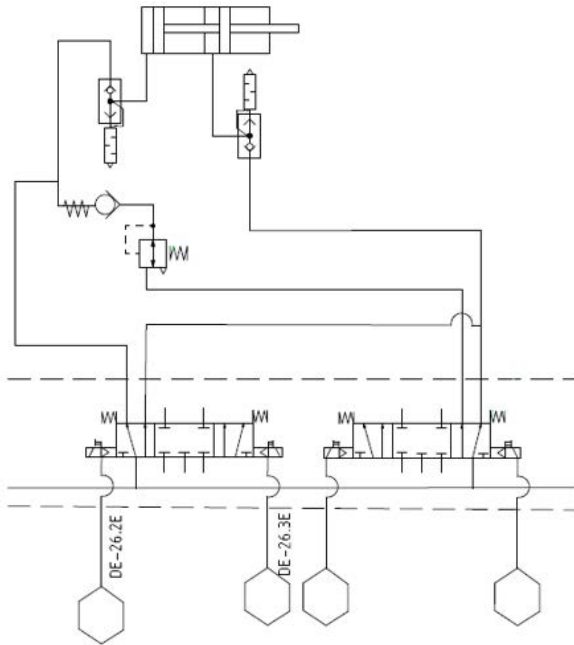


Figura 14 – Diagrama neumático para doble presión

Fase 2: Fabricación y prueba del prototipo

Manufacturas y ensamble

En la Figura siguiente se muestran las evidencias de los procesos de manufactura y ensamble



Figura 15 – Herramientales manufacturados

Se realizaron pruebas para la validación de su funcionamiento, considerando los siguientes parámetros mostrados en la tabla 3.

Pruebas y validación

Tabla 3 – Parámetros de pruebas.

Parámetro	Cámara de presión interior de tubo (bar)	Cámara de presión de plato (bar)
Presión límite superior	1.8	1.65
Presión límite inferior	1.7	1.5
Fuga límite superior	2.5	2.5
Fuga límite superior	0	0

Durante la etapa de pruebas se usaron piezas con hermeticidad y fuga validada, lo cual se corroboró de manera simultánea con el diseño de herramientas mostrado en presente artículo, siendo satisfactorios los resultados, en ellos se puede apreciar una correlación entre la presión y la fuga, esto se observa en la Figura 16.

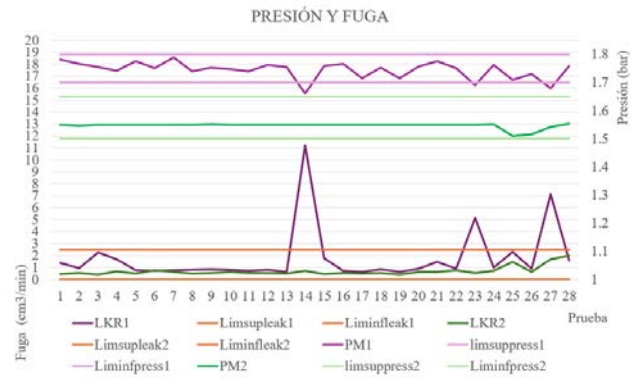


Figura 16 – Gráfico de resultados de pruebas

Fase 3: Entrega, seguimiento y mejoras del prototipo

Transferencia Industrial

Enseguida se muestran imágenes de la estación de prueba de fuga doble y el detalle de las herramientas durante el proceso de entrega en planta



Figura 17 – Estación de prueba de fuga doble

El diseño de la estación y de las herramientas se encuentran actualmente con la patente en trámite folio: MX/E/2021/086675.

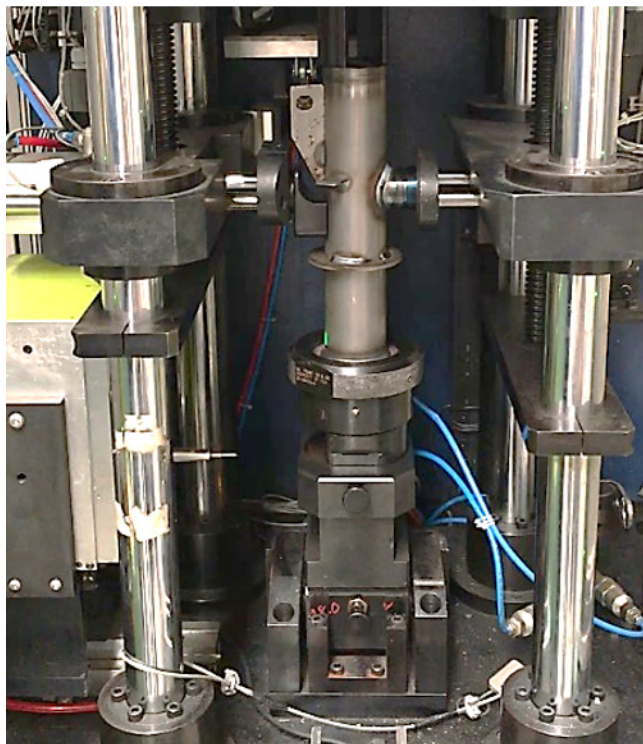


Figura 18 – Detalle de herramientas

Conclusión

El seguimiento de la metodología de diseño permite tener certeza del funcionamiento final a través de la fase 1 donde mediante la conceptualización, prototipado, simulaciones y análisis lograr el cumplimiento de los requisitos establecidos.

La optimización de tiempos de proceso y el aumento en la flexibilidad de la producción es un factor que puede ser decisivo en la rentabilidad del negocio.

Mediante el prototipado es posible definir la viabilidad del diseño y así asegurar el correcto funcionamiento de ambas cámaras de presión.

Los resultados muestran una congruencia en los datos de presión y fuga.

La sección transversal utilizada en los sellos para la cámara de plato es un factor clave para la durabilidad de su vida útil.

Referencias

- [1] Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2009). *Ingeniería industrial. Métodos, estándares y diseño del trabajo*. http://students.aiu.edu/submissions/profiles/resources/online-Book/a9p7r9_Metodos%20estandares%20y%20dise-no%20del%20trabajo.pdf
- [2] García Criollo, R. (2005). *Estudio del trabajo. Ingeniería de métodos y medición del trabajo*. https://faabenavides.files.wordpress.com/2011/03/estudio-del-trabajo_ingenierc3ada-de-mc3a9todos-roberto-garcc3ada-criollo-mcgraw_hill.pdf

- [3] Alvarado M. (2021). *La productividad*. <https://www.scribd.com/document/540437062/La-productividad>
- [4] Westreicher, G. (2022). *Ineficiencia*. <https://economipe-dia.com/definiciones/ineficiencia.html>
- [5] Ramirez, J E, Liu, S, & Han, B. *Effect of welding variables and solidification substructure on weld metal porosity*. United States. <https://doi.org/10.1007/BF02652328>
- [6] Mandal, N.R. (2017). *Welding Defects*. In: *Ship Construction and Welding*. Springer Series on Naval Architecture, Marine Engineering, Shipbuilding and Shipping, vol 2. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2955-4_19, PÁG. 286 Y 287
- [7] Sahni, E., Van Meervenne, B., Schneid, S., Dekner, M., Bedi, S., Tang, X., Hamilton, D. A., McGarvey, O., Frei, M., Zinfollino, N., Velez, E. V., Gosmer, M., & Hill, D. (2022). *Lyophilizer Leak Rate Testing – An Industry Survey and Best Practice Recommendation*. Journal of Pharmaceutical Sciences. <https://doi.org/10.1016/j.xphs.2022.06.025>
- [8] Scheller, J., & Baur, P. J. (2021). *Characterization of leakage, clamping force and retaining force of reusable sealing frame with elastomer O-ring for thin plasma polymeric coated thermoplastic polyester-ether films*. Vacuum, 192. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2021.110501>
- [9] López, E. J., Flores, M. A., Sandoval, G. L., Velázquez, B. L., Vázquez, J. J. D., & Velásquez, L. A. G. (2019). *Reverse Engineering and Straightforward Design as Tools to Improve the Teaching of Mechanical Engineering*. Industry Integrated Engineering and Computing Education, 93–118. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19139-9_7